

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з істотних проблем залізничного транспорту є збитковість пасажирських перевезень, незважаючи на збільшення за останні два роки обсягів перевезень. Аналогічна проблема має місце і у діяльності метрополітенів, яка ще посилюється зменшенням обсягів перевезень. Вирішення проблеми підвищення прибутковості шляхом жорсткості контролю проїзду в приміських поїздах, уведення системи турнікетів у великих містах є кардинальними. Враховуючи велику соціальну значимість пасажирських перевезень, стан рухомого складу та складність його оновлення, варто визнати актуальною проблему підвищення ефективності пасажирських перевезень за рахунок удосконалення використання рухомого складу, що є у наявності. Її вирішення лежить у напрямку поліпшення якості обслуговування пасажирів, удосконалювання перевізного процесу, використання різноманітних технологій перевезень, урахування зміни попиту, урахування впливу інших видів транспорту, тобто носить системний характер. Крім того, не завжди інші види транспорту є конкурентами, що погіршують економічні показники, наприклад, метрополітен.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Актуальність теми знаходить своє підтвердження в програмі «Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України» (м. Київ, 1998). Програмою передбачається «... реформування системи управління, впровадження системи комплексного транспортного обслуговування споживачів послуг залізничного транспорту, централізація управління перевезеннями ..., інформаційно-технологічне реформування галузі... ». Необхідність вирішення задач, поставлених у даній дисертаційній роботі, знаходить підтвердження в Законі України «Про концепцію Національної програми інформатизації» (м. Київ, 4 лютого 1998 р.).

Робота виконувалася в рамках державної бюджетної НДР «Розробка та дослідження алгоритмів оптимального керування електричною передачею локомотивів» (№ держреєстрації 0100U000821) у Харківській державній академії залізничного транспорту з 2000 по 2001 р.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка системного підходу до вирішення задачі підвищення економічної ефективності перевезень пасажирів залізничним транспортом на прикладі метрополітену. Поставлена мета визначила основні задачі:

- базуючись на аналізі існуючих методів планування та управління пасажирськими перевезеннями описати підходи до їх оптимізації;
- проаналізувати існуючі технічні рішення для удосконалювання і підвищення економічності пасажирських перевезень на метрополітені, міському і залізничному транспорті;
- розробити методику, що забезпечує максимально можливу надійність транспортних операцій в умовах толерантності їх роботи. Провести

аналіз залежності ступеня можливості розв'язання оптимізаційних задач від точності отриманої інформації;

- сформулювати умови оптимальності перевезень в залежності від складності в їх організації;
- розробити математичні моделі взаємодії метрополітену з іншими видами транспорту;
- сформулювати системне рішення задачі підвищення ефективності пасажирських перевезень на прикладі описаних моделей;
- довести працездатність запропонованого системного рішення.

Об'єктом дослідження є метрополітен як транспортна система.

Предметом дослідження є задача оптимізації пасажирських перевезень у метрополітені.

Методи дослідження. У роботі подано ряд математичних моделей, взаємне використання яких дозволило забезпечити вирішення оптимізаційної задачі керування пасажирськими перевезеннями в метрополітені. В основі запропонованого механізму знаходиться модель «проточної системи» або «проточного культиватора», за допомогою якої можливий опис транспортних процесів, що відбуваються усередині станції метрополітену. Для взаємозв'язку групи «проточних систем» запропонована математична модель Вольтерра типу «запит-задоволення», що забезпечує нормальне функціонування їх рівнобіжних і послідовних з'єднань. Уявлення діяльності метрополітену у вигляді одного з елементів транспортного комплексу призвело до необхідності використання моделі «конкурентних відношень».

Для опису роботи транспортної системи у толерантних просторах використано теорію множин. Розробка і реалізація комплексного моделювання транспортної системи здійснені за допомогою теорії алгоритмів, алгоритмічних мов, теорії можливостей, математичної статистики, диференціальних рівнянь. Для визначення характеристик роботи метрополітену використаний метод суцільного талонного обстеження.

Наукова новизна отриманих результатів:

- розроблено системний підхід до вирішення оптимізаційної задачі транспортних перевезень пасажирів залізничним транспортом на прикладі метрополітену з використанням комплексу взаємозв'язаних математичних моделей «проточного культиватора», «запит-задоволення» і «конкурентних відношень»;
- розроблено «алгоритм аналізу закономірностей», що забезпечує організацію пошуку й аналізу тенденцій у поведженні числових параметрів, які характеризують роботу транспортної системи, як функціональної;
- вперше сформульована та доведена теорема о можливості виконання задачі функціональною системою у залежності від рівня толерантності середовища.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій обумовлена коректністю постановки та вирішення задач, обґрунтованістю вибору математичного апарата, використанням при моделюванні реальних вихідних даних. Достовірність наукових положень підтверджується наявністю актів про впровадження основних результатів роботи.

Практичне значення отриманих результатів полягає в підвищенні прибутковості пасажирських перевезень шляхом сполучення різноманітних форм організації перевізного процесу при транспортних засобах, що не змінюються.

Результати наукових досліджень, зокрема, методика оптимізації перевізного процесу з використанням моделі «проточного культиватора», пошук і аналіз поводження транспортної системи з використанням «алгоритму аналізу закономірностей», були використані в рамках державної бюджетної НДР «Розробка та дослідження алгоритмів оптимального керування електричною передачею локомотивів» (№ держреєстрації 0100U000821) за заявкою Міністерства транспорту України. Результати також використовувалися при оперативному плануванні роботи служби прямування Харківського метрополітену, а також у навчальному процесі при підготовці груп кадрового резерву за навчальною програмою магістрів спеціальності «Керування процесами перевезень» в Інституті перепідготовки і підвищення кваліфікації кадрів Української державної академії залізничного транспорту.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методики, що забезпечує максимально можливу надійність транспортних операцій в умовах толерантності, виявленні залежності ступеня можливості розв'язання оптимізаційних задач від точності отриманої інформації. Сформульовано узагальнений підхід до вирішення оптимізаційних задач транспортних перевезень на прикладі метрополітену з використанням математичних моделей «проточного культиватора», «запит-задоволення» і «конкурентних відношень». Проведено чисельне моделювання з метою експериментального обґрунтування працездатності запропонованого математичного апарата на основі даних талонного обстеження Харківського метрополітену.

Апробація результатів дослідження. Основні наукові результати доповідались і обговорювались на 12-й, 14-й міжнародних школах-семінарах «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті» (1999-2002 р.); на 3-й, 4-й міжнародних конференціях «Вплив людського фактора на безпеку руху на залізничному транспорті» (1999-2001 р.); на науково-технічних конференціях Харківської державної академії залізничного транспорту; на наукових семінарах ХарДАЗТ та КУЕТТ.

Публікації. Результати досліджень відображені в 4-х науково-технічних статтях. Видання, у яких публікувались результати досліджень, входять у перелік ВАК України.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів та п'яти додатків. Повний обсяг роботи становить 212 сторінок, з них обсяг основного тексту 163 сторінки; 5 додатків, списку використаних джерел, 24 рисунків і 11 таблиць. Список використаних джерел містить 115 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі досліджень. Розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Відображена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Наведені відомості про апробацію та публікації результатів досліджень.

У першому розділі проведений аналіз існуючих підходів до вирішення оптимізаційних задач оперативного планування пасажирських перевезень, який показує, що відсутність гнучкості у доборі параметрів і вирішенні глобальної задачі оптимізації перевізного процесу. Вузким місцем наведених підходів є неможливість також адекватної реакції на нестандартні ситуації.

Непевність і висока динаміка інтенсивності попиту і географії пасажирських перевезень об'єктивно утрудняють прогнозування показаних факторів, у результаті чого розвиток транспортної системи, як правило, здійснюється фрагментарно, слідом за сформованим попитом. Очевидно, що в цих умовах першорядне значення одержують питання розробки ефективних методологій і адекватних засобів прогнозування розвитку транспортної ситуації на будь-якому рівні організації, комплексного проектування транспортної системи у взаємозв'язку із середовищем її дії.

Для того, щоб здійснювати математичне моделювання, необхідно володіти інформацією про варіанти (технічну реалізацію) підвищення ефективності перевізного процесу. Аналіз показав наявність таких варіантів для метрополітену:

- маршрутизація прямування (прямування без пересадок);
- зміна кількості вагонів у складі протягом доби (секціонування складів);
- неодноразове прибуття на одну станцію електропоїздів різних напрямків (асинхронне прибуття);
- зонне прямування поїздів (кільцювання);
- розосередження часу початку роботи підприємств, що знаходяться поруч із станцією метрополітену (часова розбіжність);
- проходження через станції (транзит);
- плаваюча тарифікація пасажирських перевезень.

В другому розділі вводиться поняття «толерантності», що дозволяє кількісно оцінити нерозрізненість і ступінь її зміни при розвитку транспортної системи, що спостерігається, а також установити залежність між толерантністю системи і середовищем. Система подається за зразком Г.І. Анохіна, як сукупність взаємопов'язаних елементів, діяльність яких направлена на отримання корисного для всіх кінцевого результату. Кінцевий результат є метою та системоутворюючим фактором. Декларується, що всякий процес або явище визначаються відповідною точністю виміру. У межах обраної одиниці масштабу, відхилення, що відбуваються, не можуть бути ураховані. Отже, масштаб виміру породжує непевність (розмитість) або толерантність. Термін «толерантність» еквівалентна поняттю «нерозрізненість».

Будь-яка функціональна діяльність може бути забезпечена тільки при визначеній взаємозумовленості і змінюваності її компоненти. Це і породжує відповідну толерантність. Проте значна толерантність призводить до рівнозначності. Отже, в організації будь-якої функціональної системи повинний існувати строго визначений діапазон толерантності. В умовах толерантності існує межа змін параметрів середовища, у яких має місце рівноважний стан діяльності транспортної системи з необхідною надійністю.

Через те, що функціонування метрополітену як транспортної системи здійснюється в толерантних просторах, особливої уваги заслуговує складність її організації. Складність, або рівень організації функціональної системи, визначається чисельністю параметрів. Отже, толерантність є показником пайової участі кожного параметра функціональної системи в забезпеченні її кінцевого результату. У такому уявленні зв'язок між толерантністю і складністю функціональної системи може бути сформульований у вигляді теореми.

Теорема

У толерантному просторі з установленим рівнем толерантності функціональна система має кінцеву складність організації. Вірне й обернене твердження: для визначеної складності організації функціональної системи толерантність простору системоутворюючих відношень обмежена.

Доказ теореми наведено в роботі.

Дана теорема дозволяє встановити дуже важливу умову: при визначеному рівні толерантності системоутворюючих відношень функціональна система не перестає бути спроможною (при даній своїй організації) виконувати поставлену задачу. Для того, щоб дії системи надалі були адекватні умовам середовища, що змінилися, варто змінити складність організації системи чи то збільшення, чи то зменшення.

Найбільший інтерес серед основних принципів теорії функціональних систем подає принцип мультипараметричності. Він констатує, що у формуванні кінцевого результату беруть участь усі параметри системи. Під параметром будемо розуміти характеристику елемента системи. Проте їхній внесок у результат розрізнений. Мультипараметричний характер формування кінцевого результату дозволяє уявити його у вигляді добутку степеневих одночленів, як це наведено у роботах В.М. Самсонкіна

де

- параметри функціональної системи, що формують кінцевий результат;

- ступінь впливу , у загальному випадку ;
кількість елементів системи (розмірність системоутворюючих відносин). ; G –

Кінцевий результат виступає в ролі критерію подоби всіляких статистичних відношень у варіації «пов'язаних» функціональних систем. Різноманітні стани окремих складових частин системи, що призводять до однакового кінцевого результату, визначають деякі еквіпотенціальні відношення, що виступають законом відбитка зв'язків між собою.

Характеристика практично кожного компонента, що визначає значення кінцевого результату, може змінюватися у визначеному діапазоні. При цьому його значення підпорядковані нормальному закону розподілу.

Варіація, або коливання значень, які визначають відношення параметрів, не може бути довільною при забезпеченні сталості кінцевого результату, що накладає вимога кратності частотних характеристик значень, що варіюються.

Таким чином, якщо уявити в якості функціональної системи метрополітен, то справедливе твердження про те, що транспортна система метрополітену існує в толерантних просторах. Отже, у залежності від толерантності простору транспортна система повинна мати визначену складність організації, щоб забезпечити адекватну реакцію на зміни, які відбуваються в середовищі. У теорії функціональних систем складність організації визначається, виходячи з властивості мультипараметричності. Тобто мультипараметричний характер формування кінцевого результату визначає складність організації транспортної системи.

У третьому розділі описується взаємодія різноманітних математичних моделей, використання яких дозволяє вирішити оптимізаційну задачу пасажирських перевезень з метою підвищення ефективності функціонування транспортної системи.

Заснована на дискретних елементах, функціональна система повинна мати визначену структурну надмірність. Подібна надмірність необхідна для забезпечення безупинної позмінної роботи її елементів. Якщо діяльність системи здійснюється в стаціонарному режимі, то відбувається послідовна зміна роботи дискретних елементів. Якщо інтенсивність процесу змінюється, то відбувається зміна структури вмикання дискретних елементів, що беруть участь у задоволенні запиту у формі організації адекватної відповідної реакції.

Будь-яка функціональна система, що знаходиться в динамічному відношенні із середовищем, може бути подана у вигляді «проточної системи» чи «проточного культиватора». Тобто, якщо існує потік із визначеними швидкістю і щільністю використання його компоненти, а також є система, через котру цей потік проходить і з визначеним коефіцієнтом економічності перетвориться в нові «елементи», то в цьому випадку такий процес можна описувати рівняннями «проточного культиватора». Інакше кажучи, для всякої проточної системи можна визначити оптимальний режим її експлуатації, що залежить від щільності потоку, коефіцієнта економічності і насиченості процесу.

Якщо метрополітен уявити як проточну систему, то для його оптимального функціонування потрібно конкретний режим транспортного потоку. Метрополітен, працюючи у визначеному режимі «запит-задоволення», породжує свій оптимальний режим «проточного культивування», а спільний попит пасажирів до транспортного забезпечення диктує режим роботи в цілому для пасажиропотоку.

Вибір моделі «проточного культиватора» для опису роботи метрополітену обумовлений можливістю узгодження щільності і насиченості потоку зі швидкістю й економічністю перевезення, що забезпечується взаємодією параметрів у системі

диференціальних рівнянь такого виду:

(1)

де

- коефіцієнт економічності роботи проточної системи;

- обсяг пасажиропотоку;

- обсяг пасажиропотоку, що витягається з протягом інтервал часу t ;

D - об'ємна швидкість транспортування потоку;

w - значення сумарного перевезення пасажирів;

x - отриманий корисний потік, доставлений із потоку, що транспортується, з деяким коефіцієнтом ;

- максимальне значення коефіцієнта ;

- коефіцієнт насиченості.

Приведемо систему (1) до безрозмірного вигляду. Для цього введемо відповідні безрозмірні змінні і параметри:

Тоді система (1) у безрозмірних розмірах прийме такий вигляд:

Продуктивність системи в моделі «проточного культиватора» виступає як критерій подоби у формі еквіпотенціального стану. Маючи визначені межі варіації, кожний із параметрів може змінювати цю варіацію, як у межах нормального стану, так і при переміщенні активного стану в межах прояву своєї максимальної активності. Максимальна продуктивність проточної системи визначається за формулою

Умова фізичної проточної системи, яка реалізується, полягає в тому, що питома швидкість потоку повинна бути менша і у межі, яка дорівнює максимально можливій швидкості засвоєння функціональною системою. Дійсно, у протилежному випадку швидкість вхідного потоку така, що функціональна система не встигає її опрацювати. Тобто швидкість опрацювання потоку у функціональній системі нижча, у зв'язку з цим вона не в змозі його переробити.

Важливим моментом є залежність продуктивності проточної системи від насичення її елементами транспортної системи. У цьому випадку степінь напруженості (відхилення) параметра при поповненні потенційних можливостей, при котрих можливо забезпечити максимальний ефект, повинна складати від нормального. Відповідні геометричні побудови подані на рис. 1. Таким чином, геометрична побудова точок меж продуктивності, при яких підтримуються оптимальні значення діяльності системи (норми), знаходиться в

точці

Рис. 1. Геометрична побудова меж продуктивності проточної системи

Звернемося до проблеми використання моделі «проточного культиватора» у транспортній системі метрополітену. Дана модель, по суті, забезпечує можливість об'єктивно оцінити характеристики функціональної системи протягом інтервалу часу з умовою того, що відома інформація про пасажиропотік, що надходить, а також про пасажиропотік на виході системи. Отже, «проточним культиватором» може бути подана і промодельована робота однієї станції метрополітену. При цьому обов'язково потрібно мати інформацію про пасажиропотік станції, що обновлюється, для чого можна скористатися, приміром, фотодатчиками на вході і виході станції.

Модель «проточного культиватора» дозволяє узгодити в часі основні параметри, що характеризують перевезення: економічність і швидкість перевезення із щільністю і насиченістю пасажиропотоку (1). Розглядаючи окрему ділянку шляху, що об'єднує в одному напрямку дві станції, ми, по суті, послідовно з'єднуємо два «проточних культиватори», а це дозволяє, у свою чергу, оцінити в якості функціональної проточної системи цілу ділянку шляху проходження складу (рис. 2). Тобто в даній ситуації можна оцінити вхідні і вихідні пасажиропотоки, а також узгодити параметри, що характеризують внутрішній стан фун

кціональної системи. У випадку проходження составу в оберненому напрямку може використовуватися рівнобіжне з'єднання «проточних культиваторів». Якщо аналогічно реалізувати послідовні і рівнобіжні з'єднання різноманітних «проточних культиваторів», можна одержати загальну картину взаємодії і функціонування транспортної системи метрополітену.

Тобто, використовуючи послідовні і рівнобіжні з'єднання «проточних культиваторів», у якості яких виступають станції метрополітену, ми можемо оцінювати оновлення пасажирів як усередині цих станцій, так і усередині всієї транспортної системи метрополітену в цілому.

Рис. 2. Послідовне з'єднання «проточних культиваторів» станцій метрополітену

Дві станції, що описуються за допомогою моделі «проточного культиватора» і сполучені паралельно або послідовно, по суті, працюють у режимі задоволення запитів пасажиропотоку. Тоді для узгодження їхньої роботи пропонується до використання модель Вольтерра, що називається моделлю типу «запит-задоволення». Дана модель відбиває характер безупинних перемінних процесів і знаходить застосування для опису взаємовідносин «пов'язаних» систем.

Розглянемо взаємовідносини двох «пов'язаних» функціональних систем. Нехай активна діяльність другої функціональної системи виявляється в прийомі інформації і її упорядкованої систематизації, що призводить до зміни стану. Цей процес може протікати до визначеної межі, із наближенням до якої відбувається обмеження його активності. Відновлення вихідного стану (звільнення каналу зв'язку) залежить від діяльності першої функціональної системи, що функціонує за рахунок активності другої системи. При побудові конкретного висновку й організації відповідної реакції виникає новий цикл оцінки ситуації: або її закріплення, або зміна з метою досягнення рівноважного стану.

Позначимо результат діяльності (потужність множини) першої системи через α , а другої - через β . Тобто в даному випадку α - це «запит», а β - «задовільник». Тоді модель взаємовідносин двох пов'язаних функціональних систем описується за допомогою системи рівнянь:

(2)

де α - коефіцієнт виходу з активного стану елементів α ;

β - коефіцієнт ефективності перетворення взаємообумовлених зв'язків у системі β ;

- коефіцієнт ефективності перетворення стану при роботі елементів другої системи;
- коефіцієнт ефективності перетворень взаємообумовлених відношень i .

Збираючи інформацію про перевезення протягом доби, можна використовувати різноманітні математичні методи й алгоритми для визначення тенденції i , відповідно, планування роботи транспортної системи. У роботі приведений «алгоритм аналізу закономірностей», використання якого забезпечить пошук закономірностей у поведженні основних параметрів, що характеризують роботу «проточного культиватора». Використання алгоритму протягом доби, тижнів, місяців і т.д. забезпечує прогнозування роботи всієї транспортної системи метрополітену.

Таким чином, ставиться задача подальшого прогнозування роботи станції метрополітену завдяки аналізу поведження параметрів «проточного культиватора». Для цих цілей розроблений алгоритм аналізу закономірностей, суть якого полягає в наступному. Нехай ϵ коливання числових значень або, назвемо їх інакше, коливання сигналу. Потім для коректної роботи алгоритму необхідно встановити нульову зону або, іншими словами, поріг чутливості (рис. 3). У даному випадку мається на увазі строго встановлена смуга значень, влучення в який сигналу ϵ забезпечує нульове кодоване значення. З іншого боку, якщо сигнал ϵ перевищує поріг чутливості $\epsilon_{\text{порог}}$, то кодоване значення прирівнюється до 1; у протилежному випадку, якщо сигнал менше порога чутливості, то кодоване значення дорівнює -1.

Рис. 3. Графічна інтепретація роботи «алгоритму аналізу закономірностей»

Тобто, у залежності від значення сигналу x_n і порога чутливості ϵ , послідовність сигналів перетвориться в послідовність кодованих символів z_n за таким правилом:

В результаті первинного аналізу буде отриманий ряд z_n , ..., вигляду:

0 1 0 -1 1 -1 0 1 0 1 0 -1 1 -1 0 1 0 1 0 -1 1 -1 0 1 ...

Для визначення закономірності в алгоритмі не оцінюється саме значення сигналу x_n - для аналізу тенденції в поведженні числових коливань пропонується використовувати тільки три значення: -1, 0 і 1. При цьому необхідно враховувати, що даний ряд визначається тільки виходячи з установлених меж порогу чутливості.

На такому етапі для виявлення закономірності здійснюється ціла група порівнянь, що перевіряє рівняння такого вигляду:

;

...

Для поданого прикладу дані порівняння будуть мати вигляд:

;

; ; ; ; ; ; ; ; ;
; ...

У результаті роботи алгоритму над поданою числовою послідовністю буде сформований «символ» закономірності такого вигляду:

Продовжуючи подальше опрацювання, знайдені символи закономірності будуть записуватися в підсумкову таблицю. Створена в такий спосіб таблиця символів кодування дозволить аналізувати послідовність сигналів на наявність закономірностей.

Якщо рівності всіх таких елементів будуть виявлені, то це означає, що на аналізованому інтервалі була виявлена закономірність, і відповідну послідовність \dots , необхідно запам'ятати.

Для зручності будемо називати «символом» послідовність \dots , яка являє собою ряд значень 1, 0 і 1. Тоді в результаті опрацювання і проведення порівнянь формується таблиця символів закономірностей, за допомогою яких можна описати числові коливання (сигнали), що надходять, щодо встановленого порога чутливості. У більш глобальному уявленні такі символи можуть формуватися в слова, а вони, у свою чергу, у пропозиції. Таким чином, розглянутий алгоритм реалізує універсальну систему пошуку, аналізу і запам'ятовування закономірностей у поводженні ряду числових параметрів.

Проте якщо в процесі порівнянь одне з них не виконується, приміром, на k -й () ітерації виникає нерівність , то це означає, що закономірність порушена і необхідно повернутися до наступного значення. Інакше кажучи, у цьому випадку на такій ітерації буде виконуватися порівняння вигляду .

Описаний алгоритм може і не принести результату, тобто у випадку його використання символи закономірності не будуть сформовані. Це означає, що в числовому потоці коливань відсутня будь-яка закономірність, тобто коливання хаотичні, або для даного потоку невірно був встановлений поріг чутливості.

Таким чином, станція метрополітену описується рівняннями «проточного культиватора», що забезпечує узгодження щільності і насиченості пасажиропотоку зі швидкістю й економічністю перевезення. Послідовне і рівнобіжне з'єднання декількох «проточних культиваторів» (станцій) потребує узгодженості в роботі двох «пов'язаних» систем, для чого запропонована математична модель типу «запит-задоволення» (2). У випадку тривалого використання запропонованих моделей необхідна методика, що дозволить накопичувати інформацію про функціонування транспортної системи і прогнозувати її роботу. З цією метою розроблений «алгоритм аналізу закономірностей». Сукупність описаних методик дозволяє організувати роботу транспортної системи метрополітену з підвищеною ефективністю.

Крім задач залізничних перевезень на прикладі метрополітену можливо використання даного механізму для інших видів перевезень: авіа, авто, морських і т.д. Тобто в якості «проточного культиватора» тут буде виступати відповідна одиниця техніки: літак, автомобіль і т.д. У цьому випадку сполучною ланкою між усіма видами перевезень буде модель конкурентних відношень, що дозволить визначити найбільший оптимальний режим організації перевезення. Інакше кажучи, уся транспортна система буде являти собою визначене число сполучених «проточних культиваторів». Це призведе до існування великої кількості різноманітних маршрутів, за якими буде переміщатися пасажиропотік (рис. 4). Використовуючи модель конкурентних відношень, можна вирішувати оптимізаційні задачі на більш глобальному рівні, приміром, на муніципальному рівні або всієї транспортної системи в цілому.

Рис. 4. Переміщення пасажиропотоку усередині транспортної системи, поданої у вигляді сполучених «проточних культиваторів»

Тобто, якщо здійснюється об'єднання в єдину функціональну транспортну систему, то виникає проблема існування (виживання) в умовах взаємообумовлених відношень. Це означає, що багатокомпонентна структура взаємообумовлених відношень породжує статистичний характер участі в організації кінцевого результату. В основі даного процесу лежать конкурентні відношення, які виявляються в частковій присутності двох характеристик: активізація своєї діяльності і придушення конкурентів. Дані процеси пропонуються описувати за допомогою рівнянь моделі Вольтера другого типу «конкуренція»

Розглянемо можливі варіанти кількісної відповідності елементів, що відрізняються на деяку величину і знаходяться в одній середовищі. Припустимо, що, починаючи з деякого моменту часу, якісна характеристика елементів, що знову з'явилися, стала достатньо відмінною від існуючих. Позначимо їхню кількість через N_1 , а кількість елементів із попередніми властивостями - через N_2 . Тоді в нових умовах для N_1 буде інша середня швидкість росту. Позначимо її через r_1 , перешкоджаючи здатність по відношенню подібних до себе - через k_{11} , а на попередні елементи - k_{21} . У свою чергу попередні елементи будуть здійснювати на себе сповільнену дію, з деякою величиною k_{12} , на елементи N_2 - із коефіцієнтом k_{22} , швидкість росту характеризується коефіцієнтом r_2 . З урахуванням умови $N_1 + N_2 = N$ їхню взаємодію можна описати системою диференціальних рівнянь щодо їхньої чисельності

(3)

Рівноважний стаціонарний стан реалізується в тому випадку, коли

Тоді із (3) отримаємо

Можливі чотири варіанти взаємодії i :

а) $\beta_i < \beta_j$, $\beta_i < \beta_j$. У цьому випадку β_i зникає, а β_j , тобто стаціонарне вирішення β_j ;

б) $\beta_i > \beta_j$, $\beta_i > \beta_j$. У цьому випадку β_j зникає, а стаціонарне вирішення β_i ;

в) $\beta_i = \beta_j$, $\beta_i = \beta_j$. Це випадок стійкої рівноваги зі стаціонарними значеннями $\beta_i = \beta_j$.

г) $\beta_i < \beta_j$, $\beta_i < \beta_j$. У даному випадку вихід конкуренції визначається початковими умовами.

Таким чином, варіант в) є єдиний варіант стійкої рівноваги, тобто співіснування двох взаємообумовлених відношень, побудованих за типом «запит-задоволення».

Ці умови означають, що взаємообмежена дія елементів групи i на j слабкіша, ніж самих на себе, і гальмуюча дія j на i слабкіша, ніж i на самих себе, в процесі збільшення їхньої чисельності.

Таким чином, якщо за умови кількісного збільшення елементів сформовані системоутворюючі відношення, призводять до деяких функціональних розходжень (диференціювання функцій), то їхнє чисельне накопичення взаємно обумовлюється і необхідність подальшого збільшення відбувається при різноманітному кількісному поповненні з відповідних груп.

Отже, виходячи з (3), ефект конкуруючих відношень, що виникає як результат самообмеження в процесі збільшення чисельності однотипних елементів, може призвести в залежності від поточних умов або до повного витиснення активності одних елементів іншими, або до рівноважного стану з різноманітними кількісними співвідношеннями.

Отже, у роботі пропонується теоретичний апарат, заснований на виборі математичних моделей, що дозволяє вирішити оптимізаційну задачу пасажирських перевезень з метою підвищення ефективності роботи транспортної системи. В основі запропонованого механізму знаходяться три математичні моделі: «запит-задоволення», «проточний культиватор» і «конкурентних відношень». Проте в основі даного математичного апарату знаходиться задача оперативного одержання інформації про пасажиропотік. На сьогоднішній день планування роботи метрополітену і упорядкування розкладу прямування електропоїздів здійснюється на основі інформації, що збирається з використанням методу талонного обстеження, проведеного не частіше одного разу в п'ять років. Проте для функціонування розробленої моделі такої періодичності явно недостатньо.

У четвертому розділі проводиться чисельне моделювання з метою експериментального підтвердження працездатності розробленої методики. Для використання описаних моделей необхідні визначені організаційні і технічні міри, що забезпечують одержання і накопичення інформації про пасажиропотік. У даному випадку, наприклад, можна запропонувати такі вирішення.

1. Для використання моделі «проточного культиватора» необхідно одержання інформації про вхідний пасажиропотік і пасажиропотік на виході в чітко визначеному місці. Для цього, можна скористатися існуючими фотоелементами або фотодатчиками на вході і виході кожної станції.

2. Для визначення економічності перевезення необхідно оперативне одержання і накопичення інформації з устроїв контролю оплати проїзду.

3. Для визначення щільності пасажиропотоку потрібно з'ясувати завантаженість составів. Скориставшись, наприклад, датчиком прискорення або іншим технічним устроєм можна визначити процент завантаження складу, що дозволить оцінити щільність пасажиропотоку.

4. Одним із найбільш важливих параметрів є насиченість потоку. У даному випадку мається на увазі концентрація в пасажиропотоку корисного продукту, тобто за відрахуванням пасажирів пільгового контингенту. Дана інформація повинна оперативно утворюватися і накопичуватися.

Одержання і накопичення інформації про всі подані характеристики необхідно організувати з однаковою періодичністю і в єдиній системі керування. Дані міри дозволять скористатися моделлю «проточного культиватора» для оптимізації роботи станцій метрополітену. Накопичення інформації про зміни параметрів «проточного культиватора» протягом доби, тижнів, місяців і т.д. дозволить використовувати «алгоритм аналізу закономірностей» для визначення загальної тенденції в їхньому поведженні.

Використання моделей «проточного культиватора», «запиту-задоволення» і «алгоритму аналізу закономірностей» у сукупності для оптимізації пасажироперевезень на метрополітені дозволить увести модель «конкурентних відношень» у випадку одержання необхідних характеристик про пасажиропотік інших видів муніципального або залізничного транспорту.

Проте на момент написання даної роботи були відсутні технічні й організаційні можливості, що дозволили б забезпечити оперативне одержання інформації. У зв'язку з цим використання всього апарата в цьому випадку неможливо. Проте на підставі даних, отриманих в результаті проведення останнього в 1998 році на Харківському метрополітені талонного обстеження можливе докладне вивчення і чисельне моделювання цілої групи характеристик роботи метрополітену з використанням «алгоритму аналізу закономірностей». Тобто за допомогою алгоритму і на підставі даних талонного обстеження можна організувати чисельний експеримент і охарактеризувати роботу метрополітену протягом однієї доби.

У якості об'єкта пропонується розглянути Салтівську лінію Харківського метрополітену, що складається з 8 станцій. Дана лінія є найбільш типовою для цілого ряду метрополітенів інших міст і держав. Це викликано тим, що лінія зв'язує центральні частини міста Харкова з так названими «спальними районами». Крім цього, розташування в зоні дії станції «Барабашова» найбільшого в регіоні ринкового комплексу, і наявність на станціях «Історичний музей» і «Університет» пересадок на інші лінії, забезпечує нестандартність роботи лінії.

В результаті проведеного моделювання були сформульовані загальні підходи до оптимізації пасажирських перевезень на досліджуваній лінії Харківського метрополітену.

1. Використовувати режим неодночасного прибуття електропоїздів для станції «Барабашова» у період з 9.00 до 12.00 і станції «Історичний музей» у період з 10.00 до 11.00.

2. Організувати зонування прямування состава між станціями «Історичний музей» і «Барабашова».

3. Використовувати режим зменшення кількості вагонів на Салтівській лінії в період з 5.30 до 7.00 і з 20.00 до 24.00.

4. Використовувати з 8.00 до 9.00 режим зміни початку роботи підприємств, розташованих у зоні дії станцій «Університет» і «Пушкінська».

5. Використовувати режим плаваючої тарифікації на Салтівській лінії для пільгового контингенту.

6. Використовувати режим транзитного проходження через станції «Київська» і «Академіка Павлова» з установленою періодичністю.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблений новий підхід до вирішення оптимізаційної задачі пасажирських перевезень на метрополітені з метою підвищення ефективності роботи транспортної системи. Основні наукові результати, висновки і практичні рекомендації приведені нижче.

1. Аналіз існуючих методів планування і керування пасажирськими перевезеннями, а також технічних вирішень, які використовуються для оптимізації перевезень на метрополітені, показав, що їхнє функціонування можливе, проте існуючі методики не забезпечують гнучкість у доборі параметрів і оперативність у вирішенні глобальної задачі оптимізації перевізного процесу.

2. Наведено існуючі технічні міри, які використовуються на метрополітенах для удосконалювання перевізного процесу. На підставі подальшого математичного моделювання дані міри будуть використовуватися з метою підвищення ефективності роботи метрополітену.

3. Введений термін «толерантності», що дозволяє визначити залежність толерантності середовища від складності організації функціональної системи, у якості якої виступає транспортна система. Таким чином, обґрунтована залежність ступеня можливості розв'язання оптимізаційних задач від точності отриманої інформації.

4. Сформульована і доведена теорема, яка підтверджує, що в толерантному просторі з установленим рівнем толерантності функціональна система має кінцеву складність організації. При цьому складність організації забезпечується завдяки властивості мультипараметричності формування кінцевого результату.

5. Для опису роботи транспортної системи метрополітену запропонована математична модель «проточний культиватор». Її використання дозволяє за допомогою системи диференціальних рівнянь узгодити в часі щільність і насиченість пасажиропотоку зі швидкістю й економічністю перевезення. Отже, у якості «проточного культиватора» було вирішено представити роботу однієї станції метрополітену, що потребує оперативного отримання інформації про оновлення пасажиропотоку на станції.

6. У випадку рівнобіжного і послідовного з'єднання «проточних культиваторів» на лінії метрополітену запропонована математична модель типу «запит-задоволення», за допомогою якої здійснюється узгодження роботи двох «пов'язаних» систем.

7. Для прогнозування роботи і розвитку транспортної системи метрополітену розроблений «алгоритм аналізу закономірностей», який використовується для визначення спільності в поведженні послідовності числових параметрів у моделі «проточного культиватора».

8. При розгляді транспортної системи на муніципальному рівні або на рівні залізничної галузі запропонована математична модель «конкурентних відношень», що дозволяє узгодити роботу різноманітних транспортних систем.

9. Проведене чисельне моделювання з метою експериментального обґрунтування працездатності запропонованого математичного апарата на основі даних талонного обстеження Харківського метрополітену. В результаті експериментального моделювання розроблені загальні підходи до підвищення ефективності роботи досліджуваної лінії Харківського метрополітену.

Результати наукових досліджень використано при оперативному плануванні роботи служби прямування Харківського метрополітену.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Основний перелік:

1.1. В.А. Друзь, В.Н. Самсонкин, С.В. Глушаков. Системный подход к оценке функционального состояния человека - оператора в человеко-машинной системе // Зб. наук. праць “Проблеми біоніки”. – Харків: ХДТУРЕ, 1999. – Вип. 51. – С. 91-99.

1.2. В.А. Друзь, В.Н. Самсонкин, С.В. Глушаков. Функциональная система: парадигма сложности и толерантности // Зб. наук. праць “Автоматизированные системы управления и приборы автоматики”. – Харків: ХДТУРЕ, 1999. – Вип. 110. – С. 7-11.

1.3. В.Н. Самсонкин, В.Б.Олейник, А.И.Соколов, С.В. Глушаков. Об одном подходе к моделированию транспортных процессов // Зб. наук. праць “ВЕСТНИК Харьковского государственного политехнического университета”. – Харків: ХДПУ, 2000. – Вип. 95. – С. 31-37.

1.4. С.В. Глушаков. Математический подход к оценке оптимального функционирования транспортной системы метрополитена // Зб. наук. праць “Київського університету економіки і технології транспорту”, Серія “Транспортні системи і технології”. – Київ: КУЕТТ, 2001. – Том 6. – С. 128-135.

2. Додатковий перелік:

2.1 С.В. Глушаков. Программирование на Java 2. Учебный курс // Харків, Фоліо, 2001.

2.2. С.В. Глушаков, Д.В. Ломотько. Базы данных. Учебный курс // Харків, Фоліо, 2002.

АННОТАЦИЯ

Глушаков С.В. Системное решение задачи повышения эффективности пассажирских перевозок на метрополитене. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 - «Транспортные системы». – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, 2002.

Диссертация посвящена изучению вопросов, связанных с повышением эффективности работы транспортной системы метрополитена. В работе сфор

мулирована и доказана теорема, связывающая понятия толерантности среды и сложности организации функциональной системы (в нашем случае транспортной системы метрополитена). Сложность организации характеризуется свойством мультипараметричности формирования конечного результата. Базируясь на теории функциональных систем, предложена математическая модель «проточного культиватора», которая описывает работу одной станции метрополитена. Это позволяет согласовать во времени плотность и насыщенность полезным продуктом пассажиропотока со скоростью и экономичностью перевозок. Основным условием применения модели «проточного культиватора» является оперативное получение информации об обновлении пассажиропотока.

Использование модели «проточного культиватора» для описания работы одной станции метрополитена обуславливает необходимость согласованности в работе соединенных между собой последовательно или параллельно нескольких объектов. Следовательно, для корректного согласования работы двух «связанных» систем предлагается использовать модель Вольтерра типу «запрос-удовлетворение».

Прогнозирование работы транспортной системы метрополитена требует применения какого-либо математического аппарата. С этой целью в работе разработан «алгоритм анализа закономерностей», позволяющий определить и запомнить тенденцию в поведении числовых параметров, которые характеризуют работу «проточного культиватора». Для согласованного использования методики для различных транспортных систем на муниципальном уровне или на уровне железнодорожной отрасли предложена математическая модель «конкурентных отношений».

В работе проведено численное моделирование с целью экспериментального обоснования работоспособности разработанной методики. Для этого использовались материалы талонного обследования Харьковского метрополитена, в результате чего сформулированы общие подходы к повышению эффективности работы исследуемой линии Харьковского метрополитена.

Основные научные результаты работы нашли практическое применение: в рамках государственной бюджетной НИР «Розробка та дослідження алгоритмів оптимального керування електричною передачею локомотивів»; при оперативном планировании работы службы движения Харьковского метрополитена и в учебном процессе Института переподготовки и повышения квалификации кадров Украинской государственной академии железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: повышение эффективности; метрополитен; сложность организации; толерантность среды; функциональная система; модель «проточный культиватор»; модель «запрос-удовлетворение»; модель «конкурентных отношений»; алгоритм анализа закономерностей.

АНОТАЦІЯ

Глушаков С.В. Системне вирішення задачі підвищення ефективності пасажирських перевезень на метрополітені. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 - «Транспортні системи». - Українська державна академія залізничного транспорту, 2002.

Дисертація присвячена системному вирішенню оптимізаційної задачі підвищення ефективності пасажирських перевезень на метрополітені із використанням математичних моделей «проточного культиватору», «запит-задоволення» та «конкурентних відносин». Для організації пошуку і аналізу тенденцій у поведінці числових параметрів, які характеризують роботу функціональної (транспортної) системи та узгоджуються за допомогою моделі «проточного культиватору» розроблено математичний «алгоритм аналізу закономірностей». Сформульована і доведена теорема, що визначає складність організації функціональної системи в залежності від рівня толерантності середовища.

Основні наукові результати знайшли практичне застосування: у рамках державної бюджетної НДР «Розробка та дослідження алгоритмів оптимального керування електричною передачею локомотивів»; результати використано при оперативному плануванні роботи служби руху Харківського метрополітену та у навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту.

Ключові слова: підвищення ефективності, метрополітен, складність організації, толерантність середовища, функціональна система, модель «проточний культиватор», модель «запит-задоволення», модель «конкурентних відношень», алгоритм аналізу закономірностей.

ANNOTATION

Glushakov S.V. Integrated solution of passenger traffic effectiveness increase problem at Metro. The manuscript.

The dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences by speciality 05.22.01 - «Transport systems». Ukrainian State Academy of Railway Transport, 2002.

The dissertation is devoted to defining of integrated solution of passenger traffic effectiveness increase optimization problem. The field of investigation is subway system. The author utilized range of mathematical models such as flow cultivator, inquiry satisfaction, competitive relationships. In order to organize tendencies searching and analyzing in behaviour of numerical parameters, which characterizes the activity of functional (transport) system, the author proposed mathematical algorithm of regularity analysis and the theorem defining the functional system complexity depending on surroundings tolerance level.

Key words: effectiveness increase; subway, organizing complexity; surroundings tolerance; functional system; flow cultivator; inquiry satisfaction;

competitive relationships; algorithm of regularity analysis.