

ОСНОВНІ НАПРЯМИ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ НА ТРАНСПОРТІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ У СВІТЛІ МІЖНАРОДНОГО ДОСВІДУ

Ю.С. ЛІГУМ

Розглянуто питання створення та аналізу інформаційних систем і технологій (ІСТ) на транспорті. Зроблено короткий огляд, визначені основні напрями побудови ІСТ, наведені приклади розробки та впровадження систем.

Головне завдання транспорту — своєчасне, якісне та повне задоволення потреб народного господарства і населення в перевезеннях.

У комплексі заходів поліпшення роботи транспорту провідну роль відіграє автоматизація оперативно-диспетчерського управління технологічними процесами.

Відчутним результатом роботи в цьому напрямку є дедалі інтенсивніше впровадження автоматизованих систем диспетчерського управління (АСДУ) на транспорті.

Аналіз результату роботи цих систем показав, що вони є ефективним засобом поліпшення організації управління транспортом, підвищення якості обслуговування пасажирів і роботи транспортних підприємств.

Управління рухом міським транспортом (МТ) може бути плановим і оперативним.

Як показують результати дослідження роботи МТ, фактичний випуск рухомих одиниць (РО) на маршрути відрізняється від планового на 30–35%, а на деяких маршрутах менше 50% від планового.

Таке значне відхилення фактичного ресурсу від планового в окремих випадках порушує управління рухом МТ. Щоб частково усунути наслідки такого порушення, потрібне оперативне коригування розкладу руху, до якого можливі два підходи:

- 1) коригування вихідних (початкових) розкладів руху з урахуванням фактичного стану ресурсів;
- 2) вибір розкладу з наперед сформованої бібліотеки, що найбільше відповідає стану ресурсів, який змінився.

Внаслідок зовнішніх впливів і внутрішніх збурень функціонування системи має відхилятися від заданого режиму. Щоб забезпечити планове функціонування, використовуються методи диспетчерського управління (ДУ).

До ДУ належать планові та регулярні заходи, які компенсують відхилення, спричинені некерованими та випадковими факторами.

Узагальненим критерієм ДУ МТ визначено час очікування пасажирями РО на пункті зупинки. Оцінку цього показника було отримано, виходячи з таких передумов:

3) функціонування ДУ МТ спрямоване на точне виконання розкладу руху;

4) точками контролю і управління рухом МТ є контрольні пункти (КП), водії МТ при функціонуванні системи мають прагнути прибути на КП у визначений розкладом час.

Недолік цього підходу — відсутність в узагальненому критерії ДУ коефіцієнта комфортності, який є характеристикою наповнюваності РО і, як зазначалося, однією з основних характеристик якості обслуговування пасажирів.

АСДУ передбачає оперативний контроль, облік, звіт та регулювання перевізного процесу. Необхідність регулювання зумовлюється двома основними принципами: наявністю планового режиму функціонування маршрутизованого транспорту (МТ), який визначає основні часові та просторові характеристики руху кожної рухомої одиниці, і випадковим характером цього руху. Мета регулювання — вплив на МТ, який зможе забезпечити максимальне наближення процесу її функціонування до планового режиму.

Для МТ плановий режим функціонування задається розкладом руху. Проте регулювання не можна розглядати лише як процес, що забезпечує виконання розкладу чи який спрямовано на його дотримання. Його можна здійснювати у двох принципово різних ситуаціях: у разі забезпечення планового ресурсу РС і за його відсутності. Якщо фактична кількість РО на маршруті не відповідає плановій, то вимога виконання старого розкладу втрачає технологічний сенс тому, що один чи кілька графіків на маршруті не закриті і поняття «виконання розкладу» для них не визначено. Для існуючого ресурсу розклад, який розраховано за тими самими принципами, що і діючий, передбачив би інші інтервали, тобто старий розклад не є оптимальним за даної кількості РО на маршруті; на РО, що наявні на маршруті, зростає навантаження, отже змінюються параметри, які визначають рух РО маршрутом. За такої ситуації регулювання розглядається вже не тільки як засіб, який забезпечує виконання наперед заданого режиму, а й той, що містить у собі функцію планування.

Важливу роль у технології ДУ на автомобільному транспорті відіграють технологічні процеси транспортного підприємства (ТП).

Мета роботи ТП — підготовка і забезпечення справності РО для виконання перевезень пасажирів і вантажів. Завдання перевезень зумовлено планом, який визначає якісні і часові параметри РО.

Основа діяльності технічної служби ТП становить проведення трьох різновидів технічних впливів: двох планово-технічних обслуговувань (ТО-1, ТО-2) і одного випадкового — поточного ремонту (ПР), необхідність в якому виникає у разі виявлення несправностей.

Оптимізація проведення ТО і ПР, структура ТП, вибір типів РО розглянуті в багатьох роботах, проте досі не досліджено вплив диспетчерського управління технологічними процесами ТП на технічний стан РО і якість обслуговування пасажирів.

Припустимо, що є n способів організації технічної служби із витратами на кожний відповідно $R_i(x)$, $i = \overline{1, n}$, де $x = (x_1, \dots, x_m)$ — вектор ресурсів, які

виділяються на ТО, ремонт і утримання РО (до складу ресурсів треба включити як кількість РО, так і матеріальні, технічні, людські ресурси, що на них виділяються). Нехай $Q_i(x)$ — простір подій виникнення технічних несправностей i -ї організації технічної служби, і визначено функцію вартісної (економічної) оцінки залежності кінцевого результату роботи транспорту від рівня забезпеченості лінії технічно-справними транспортними засобами, і $F(U_i)$, де $U_i = f(Q_i, x)$. Тому доцільна наступна постановка задачі: визначити такий спосіб організації i і таке значення вектора ресурсів, за яких сумарні витрати були б мінімальними:

$$\sum_{j=1}^m c_j x_j + F[f_i(\Omega_i, x)] + R_i(x) \rightarrow \min, \quad (1)$$

причому $x_j \leq n_j, j = \overline{1, m}$.

Для МТ контроль і регулювання рухом РО може відбуватися у фіксованих і довільних точках маршрутної мережі.

У першому випадку треба раціонально розмістити пункти контролю та регулювання на маршрутній мережі (ММ). Принцип контролю і регулювання рухом МТ у довільних точках ММ не дістав поширення.

Припустимо, що визначено раціональне розміщення КП. Алгоритмічна реалізація контролю руху МТ ускладнює не викликає, оскільки вона ґрунтується на порівнянні планових і фактичних моментів прибуття РО на КП. Регулювання рухом МТ полягає у формуванні різних керуючих впливів у разі порушення планового режиму РО.

Важливим показником при порівнянні систем контролю і регулювання рухом МТ є вартісна оцінка сумарних витрат часу пасажирів на очікування транспорту. Однак, аналізуючи системи контролю у довільних точках маршруту з використанням дальнього радіоканалу («АСУ-Рейс», «Motorola»), слід враховувати, що витрати набагато перевищують вартість обладнання систем, які реалізують ближній радіоканал при виконанні однотипних функцій:

$$Z = CT_{оч} N \cdot 365, \quad (2)$$

де C — вартісна оцінка часу очікування пасажиром РО; $T_{оч}$ — середній час очікування пасажирами РО маршруту; N — кількість маршрутів.

Для немаршрутизованого транспорту (НТ) досі розроблялися моделі розміщення стоянок РО, визначення необхідної кількості РО для обслуговування населення району чи міста із заданим коефіцієнтом якості, оперативної і планової маршрутизації тощо.

В умовах замовних таксомоторних перевезень треба побудувати модель «клієнт — таксомотор», враховуючи мінімізацію відстані і холостого пробігу РО.

Для транспортного підприємства за умови визначення як показників не лише кількості виконаних рейсів і прибутків (доходів), а й забезпечення маршрутів на лінії справним РО, потрібні моделі планування і проведення ТО, ПР РО і зв'язку ДУ ТП з характеристиками роботи РО на лінії, а також аналіз можливості, достатності, технологічності, ефективності й алго-

ритмічності управління технологічними процесами (ТНП) з метою підвищення якості обслуговування пасажирів й ефективності використання РО шляхом створення АСДУ ТП й оперативної координації її з АСДУ–А.

Таким чином, сутність викладеного дає підстави твердити про те, що в автоматизованій системі оперативного управління МТ можна реалізувати такі функції. На першому етапі — автоматизований контроль руху з автоматизацією отримання й обробки даних. На другому — до зазначених функцій треба додати функцію регулювання. На третьому — слід розглянути оперативну інформацію про технічну готовність РО в реальному масштабі часу. На цьому етапі перспективними є автоматизація функції планування (складання розкладу руху МТ), координація управління різними видами транспорту для підвищення якості обслуговування пасажирів й ефективності використання рухомого складу МПТ.

У СНД ведуться розробки щодо створення і впровадження системи оперативного управління МТ. Сьогодні функціонує більше як 20 АСУ ТНП.

Аналіз функціонування систем за 25 років (першу АСУ автобусними перевезеннями було впроваджено в Луганську в 1968 р.) показав, що ці системи за функціональними і технологічними ознаками можна поділити на три покоління.

Розглянемо функціонуючі вітчизняні та зарубіжні транспортні системи оперативного управління МПТ.

Передачу інформації за допомогою електричної складової електромагнітного поля реалізовано в системі НЕ ЖАН-М, розроблену СКБ «Трансавтоматика» (м. Нальчик). Система призначена для контролю роботи міських і приміських автобусів й оперативного управління ними в середніх і малих містах з населенням до 500 тис. мешканців. Управління рухом автобусів здійснюється на підставі інформації про гаражний номер і час проходження РО через КП, контролю виконання водіями розкладу руху за маршрутом. У процесі функціонування система забезпечує двосторонній телефонний зв'язок водіїв автобусів з диспетчером ЦДС, приймає і запам'ятовує позначки (гаражні номери) від РО, формує і передає водіям підтвердження про приймання позначки, виводить на екран дисплеїв диспетчерських пультів знак і відхилення від заданого розкладу будь-якого автобуса на маршруті. Окрім оперативного ДУ, система забезпечує щоденну статистичну обробку результатів роботи пасажирського транспорту за добу з реєстрацією цих даних на перфострічці і роздруком, добових документів на бланку. Система може обслуговувати 54 КП за максимальної віддаленості будь-якого з них від ЦДС до 15 км. Найбільша кількість автобусів на маршрутах не повинна перевищувати 300 одиниць.

До недоліків НЕ ЖАН-М можна віднести:

- 1) водій повністю не виключений з процесу контролю руху, оскільки знімання інформації з РО напівавтоматичне;
- 2) інформація на КП може зчитуватися лише з однієї РО, що не дає можливості використовувати систему у великих містах;
- 3) для передачі дискретної інформації «ПКП-ЕОМ» і мовного зв'язку «водій — диспетчер» використовуються дві некомутовані лінії зв'язку (НЗ);

4) застосування системи обмежене рухом МТ, зв'язок з технічною службою відсутній.

За функціональними можливостями систему можна віднести до другого покоління.

Ближній радіоканал реалізовано в автоматизованій системі управління автобусним транспортом у м.Вітебську.

Система містить пристрій рухомої одиниці (ПРО), до складу якого входить радіостанція «Ласточка», яку встановлюють на кожному автобусі для визначення моменту проходження РО КП маршруту. Комбінація частот радіопередач (6 частот) відповідає конкретному гаражному номеру автобуса.

Пристрій контрольного пункту (ПКП) містить у собі радіоприймач, який приймає інформацію при проходженні РО даного пункту (за гаражним номером) з наступною передачею її лініями зв'язку в ЦДС. КП обладнано спеціальним пристроєм, призначеним для інформування водіїв і пасажирів щодо зміни умов роботи на маршруті:

- порушення графіків чи планового інтервалу руху автобусів;
- часу відправлення з конкретного пункту;
- введення нового графіку чи розкладу.

Дані про роботу автобусів на маршрутах виводяться на перфострічку та обробляються на ЕОМ.

За функціональним призначенням система є інформаційно-довідковою. Диспетчерські впливи полягають лише у заміні диспетчером варіанта маршрутного розкладу. Перевагою системи можна вважати реалізацію функцій регулювання, яка дає змогу здійснювати ДУ рухом. Проте нестандартний КТЗ і відсутність зв'язку з технічною службою ТП не дають підстави віднести її до другого покоління систем. Технічна реалізація індукційного каналу зв'язку РО-КП здійснена в АСДУ рухом міського транспорту (АСДУ-А), що її розроблено в Омську і призначено для управління міським автобусним транспортом у великих і середніх містах з розвиненою маршрутною мережею.

Система забезпечує в реальному масштабі часу

- розподіл РС за маршрутами і графіками;
- автоматичне збирання і передачу в обчислювальний комплекс (ОК) інформації про час проходження автобусами КП, місцезнаходження РО на ММ та інтенсивність пасажиропотоку;
- контроль за своєчасним випуском РО на маршрут, їх рухом на ММ і поверненням в ТП згідно з розкладом;
- складання звітів за результатами роботи ТП і водіїв за фіксований період часу;
- нагромадження та обробку статистичних даних.

АСДУ-А за функціональними можливостями повністю відповідає вимогам, які висуваються до автоматизованих систем оперативного управління другого покоління.

До її недоліків належать такі: застаріла технічна база, мала глибина інформаційної моделі (звітні дані формуються лише за добу), складність реалізації керуючих функцій і відсутність оперативного зв'язку з АТП й іншими

системами управління на транспорті (АСУ вуличним рухом) у реальному масштабі часу.

Системи зв'язку з використанням прямого каналу традиційно використовуються при перевезеннях таксомоторним транспортом. Лише останнім часом розробки систем управління авто- та електротранспортом включили до свого складу радіозасоби значного радіуса дії.

Мосміськтрансдідпроект розробив автоматизовану систему управління перевезеннями автобусним транспортом (АСУ — «Рейс»). Робота системи ґрунтується на оперативному контролі місцезнаходження автобусів і управлінні їхнім рухом за допомогою періодичної передачі цифрових даних з РО до центру управління (ЦУ), обробки їх в ЕОМ і передачі диспетчерських сигналів на РО [1].

Щоб визначати координати РО (їх прив'язку до відповідних точок маршруту), використовують радіомаяки-відповідачі, які розміщують уздовж маршрутів. Останні за радіосигналом-запитом, який надходить від РО, мають видавати умовний номер маяка для коригування показів одометра, а також для формування в апаратурі рухомого об'єкта інформації про місцезнаходження РО.

Шведською фірмою «Сіменс» (Siemens) розроблено систему передачі інформації, призначену для управління МТ. Систему побудовано на базі використання дальнього радіоканалу. Місцезнаходження РО визначається за допомогою маркерних датчиків і одометрів.

За функціональними і технічними характеристиками ця система відповідає вимогам автоматизованої системи оперативного управління МПТ другого покоління, проте відсутність оперативного зв'язку з ТП для аналізу технічного стану РО і висока вартість обладнання, яке встановлюється на РО, є істотними її недоліками.

У Санкт-Петербурзі впроваджено автоматизовану систему управління рухом маршрутизованого транспорту (АСОУР МТ). До КТЗ системи входять пристрій рухомої одиниці (ПРО) на базі однокришталльної мікроЕОМ, яка забезпечує приймання і передачу цифрової інформації; малопотужні передавачі, розміщені у проміжних і центральних точках маршруту, що постійно генерують в обмеженому радіусі радіосигнали зі сталими параметрами, пристрої контрольних пунктів (ПКП) в ТП і на кінцевих пунктах маршруту, центральна ЕОМ, дисплеї в ТП і на ЦДС.

Система автоматизує такі основні технологічні функції: контроль і облік випуску та повернення РО в ТП, контроль руху РО на маршрутах; оперативне диспетчерське планування і регулювання руху РО на маршрутах; обробку і видачу інформації для аналізу виконаного руху.

Перевагою АСОУР МТ є використання складеного інфрачервоного та ультракороткохвильового (УКХ) каналу для ідентифікації РО, єдиної розподільної системи обробки інформації, мережевих обчислювальних і програмних засобів.

Ця система за функціональними, технічними характеристиками і використанням КТЗ відповідає вимогам, які висуваються до автоматизованих систем управління другого покоління з елементами третього (установка мікропроцесора на РО), однак існуючими недоліками є застосу-

вання несерійних технічних засобів і відсутність оперативного зв'язку диспетчер — водій.

Французька фірма «ТРТ-ПАРИЖ СЕДЕКС» розробила систему, що містить устаткування РО, депо, КП, а також центральне устаткування.

Кожна РО обладнана: приймачем-передавачем, що працює на частоті 1160 МГц; концентратором і логічною схемою обробки даних; датчиком-лічильником обертів колеса, таблицею ходу з командами прискорення, сповільнення, зупинки чи від'їзду і пристроєм відповіді.

Біля кожного входу і виходу з депо встановлюються радіомаяки, за допомогою яких розпізнаються РО, що входять в систему і виходять з неї.

Зв'язок депо-ЦДС здійснюється через систему передачі даних. Біля кожного входу на КП встановлюється радіомаяк (усього 15), через який можна розпізнати РО, що закінчують маршрут. Біля кожної лінії має бути відповідний сигналізаційний стовп (усього 40), що автоматично спрацьовує при проходженні РО за допомогою механічної системи.

Центральний передавач сприяє обслуговуванню зони, по якій циркулює 1000 РО. Проте потужність передавачів не дає можливості досягнути центрального пункту. Таким чином, у зоні встановлюються чотири приймачі-ретранслятори, на які кожна РО передає інформацію. Зв'язок між ретрансляторами і ЦП здійснюється через телефонний кабель. Система відповідає вимогам третього покоління АСУ на транспорті.

Аналіз функціонування систем показав, що вони розвиваються за такими напрямками: удосконалення КТЗ (радіознімання, встановлення на РО мікроЕОМ), розширення функціональних можливостей (регулювання технологічних процесів, оперативний зв'язок з ТП і АСУ ВР у реальному масштабі часу).

Одна з найважливіших проблем створення АСУ МПТ — визначення місцезнаходження РО на ММ міста.

У ряді систем інформацію про місцезнаходження вводять безпосередньо водії. Її обсяг у таких системах визначається значенням кроку координатної сітки, що її наносять на карту міста (кількість зон), і яка становить 100–150.

Такий метод застосовується в розробках фірми (зокрема в системі управління МТ використовується дальній радіоканал, яким передається інформація про стан РО на лінії, в тому числі і місцезнаходження з точністю до пункту зупинки). Цю систему впроваджено у м.Цюрих (Швейцарія).

Аналогічний метод застосовується в системах управління НТ в колишній Югославії (радіостанції для таксі передбачають ручне введення інформації про місцезнаходження).

Найпоширеніші методи визначення місцезнаходження, які ґрунтуються на використанні зв'язку РО з КП, встановленому на ММ.

Методи можна класифікувати за варіантом використання каналу зв'язку. В системах передачі інформації безпосередньо від РО до центру КП є датчики інформації, яка надходить на ПРО, кодується і передається каналами зв'язку до центру.

У фаховій літературі такі датчики-КП відомі як боларди. Боларди передають інформацію за запитанням, яке надходить з транспортного засобу чи неперервно. У будь-якому разі сигнал, що випромінюється болардом, несе кодовану інформацію про місцезнаходження РО за фактом проходження даного КП.

У системах для зв'язку між КП і РО використовується радіоканал з ближнім (100...300 м) радіусом дії, чи індуктивні канали зв'язку з використанням магнітної складової поля (системи TRAGER, США, АСДУ-А) чи електричної складової поля (НЕ-ЖАН, НЕ-ЖАН-м).

Передача інформації із залученням електричної складової поля застосовується лише в розробках СКБ «Трансавтоматика» (Нальчик).

Системи управління НТ (таксомоторним і вантажним) ґрунтуються переважно на межах зв'язку з використанням дальнього радіоканалу між РО і центром. Системи управління МТ до останнього часу створювалися на основі використання складеного каналу зв'язку (КП як ретранслятор інформації). Локалізація зони передання інформації дещо зменшує технологічні можливості системи, оскільки обмін дискретною інформацією поза її межами неможливий.

У деяких останніх розробках систем управління МТ застосовуються мережі зв'язку з використанням дальнього радіоканалу (фірма SIEMENS, система «Рейс»).

Системи з використанням дальнього радіоканалу щодо якості виконання розкладу руху не мають істотних переваг, оскільки для регулювання руху транспорту досить отримати інформацію про виконання або відхилення від графіку в п'яти — шести точках маршруту. Видача рекомендацій у довільній точці маршруту без урахування ситуації на ММ не обґрунтовується в жодній вітчизняній чи зарубіжній розробці. Оцінка додаткового психофізіологічного навантаження на водія та її впливу на можливе зростання кількості дорожно-транспортних пригод на сьогодні ще не здійснена.

Перевага систем, які забезпечують обмін інформацією в будь-якій точці ММ — можливість передачі інформації з РО при виникненні аварійних ситуацій поза межами КП. Окрім цього, системи такого типу не потребують значних будівельно-монтажних робіт.

До серйозних недоліків системи належать складність виготовлення і висока вартість устаткування РО, організаційні труднощі отримання достатньої кількості радіоканалів і необхідність проведення значних робіт щодо вивчення спектра і вимірювання перешкод в обраному частотному діапазоні.

Імітаційне моделювання — основний метод аналізу транспортних систем. Відповідні математичні методи застосовування насамперед для розв'язання задач управління транспортними потоками. Моделювання управління пасажирськими перевезеннями дістало розвиток пізніше і використовується для аналізу процесів планування роботи МПП.

Сучасними мовами імітаційного моделювання є GPSS і SIMSCRIPT.

Перевага методу управління та його реалізація у GPSS полягає в тому, що він містить набір правил, за якими обробляються події, проте це призводить до значних витрат часу через повторні перегляди відповідних масивів.

SIMSCRIPT підвищує ефективність програмування, проте у цьому разі користувач має врахувати всі можливі взаємодії, які виникають при об-

робці події, що практично нереально, особливо при ДУ транспортними процесами.

Для ліквідації вказаних недоліків автором розроблений та апробований функціонально-алгоритмічний метод, сутність якого зводиться до того, що здійснюється функціональна алгоритмізація транспортного процесу згідно з визначеною технологією, а програмна реалізація виконується за допомогою однієї з програмних мов високого рівня.

Цільовою функцією для підсистеми експлуатації пасажирського транспорту є $P_{\text{витр}}$:

$$P_{\text{витр}} = P_{\text{оч}} + P_{\text{комф}} + P_{\text{експ}} - P_{\text{опл}}. \quad (3)$$

Задача управління — мінімізація $P_{\text{витр}}$ за даного рівня ресурсів.

Диспетчерське управління потрібне у тому разі, коли траєкторія системи істотно відхиляється від заданого режиму в процесі свого функціонування. Режим роботи транспорту на лінії для МТ задається розкладом руху.

Для кожної РО розкладу руху — це набір часу проходження РО на маршруті.

$$\left| t_{ri_{\text{пл}}}^l \right|; \quad l = \overline{1, k}; \quad r = \overline{1, k}; \quad i = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Дотримання розкладу руху упродовж усього маршруту, тобто виконання умови

$$\left| t_{ri_{\text{пл}}}^l - t_{ri} \right| \leq \varepsilon, \quad \forall l \quad (5)$$

має забезпечити мінімізацію функції $P_{\text{витр}}$.

Однак параметри, що входять до $P_{\text{витр}}$, випадкові і залежать від багатьох факторів.

По-перше, випадковою є величина пасажиропотоку, по-друге, рух за маршрутом пов'язаний з випадковими процесами.

Окрім цього, при зміні кількості РО на маршруті (недовипуски, сходи) виконання розкладу, розраховано на початкову кількість РО, втрачає сенс. Усе це визначає необхідність диспетчерського управління.

У разі виникнення відхилень від розкладу руху значення цільової функції зростає, що свідчить про погіршення народногосподарських витрат. Наприклад, якщо з лінії зійшла i -та РО, то інтервал між $i - 1$ -ю та $i + 1$ -ю буде $2\Delta\mathfrak{S}$.

Час очікування збільшиться на

$$\Delta Z = Z'' - Z' = \lambda(2\Delta\mathfrak{S})^2 / 2 - \lambda(\Delta\mathfrak{S})^2 / 2 = 3\lambda(\Delta\mathfrak{S})^2 / 2 > 0 \quad (6)$$

Окрім цього, вдвічі підвищується навантаження на $i + 1$ -у РО, що призведе до переповнення РО, відмов в обслуговуванні і зрештою до збільшення сумарного часу очікування транспорту пасажирями.

МОДЕЛЬ СТАНУ РС АТП

У будь-який момент часу кожна РО може перебувати в одному із станів (вважаємо, що за період $[1, T]$ наявність РО в АТП не змінюється), S_0 — у відстої на АТП; S_1 — РО на лінії; S_2 — РО в очікуванні проведення ТО-1; S_3 — РО на ТО-1; S_4 — РО в очікуванні діагностики ТО-2; S_5 — РО на поглиблену діагностику (ПД) ТО-2, S_6 — РО в очікуванні ТО-2; S_7 — РО на ТО-2; S_8 — РО в очікуванні деталей, матеріалів для ТО-2; S_9 — РО в очікуванні ПР на лінії; S_{10} — РО в ремонті на лінії; S_{11} — РО зійшла з лінії, повертається в АТП; S_{12} — РО в очікуванні діагностики перед ПР в АТП; S_{13} — РО на діагностиці перед ПР; S_{14} — РО в очікуванні ПР на АТП; S_{15} — РО в очікуванні деталей для ПР; S_{16} — РО в ПР; S_{17} — РО в резерві на АТП.

Перехід з одного стану до іншого здійснюється в ході ТНП у разі закінчення його стадій і відбувається або згідно з виконанням планових заходів, або у разі виникнення ЗВ. Функція переходу має випадковий характер. Графік переходів зображено на рисунку.

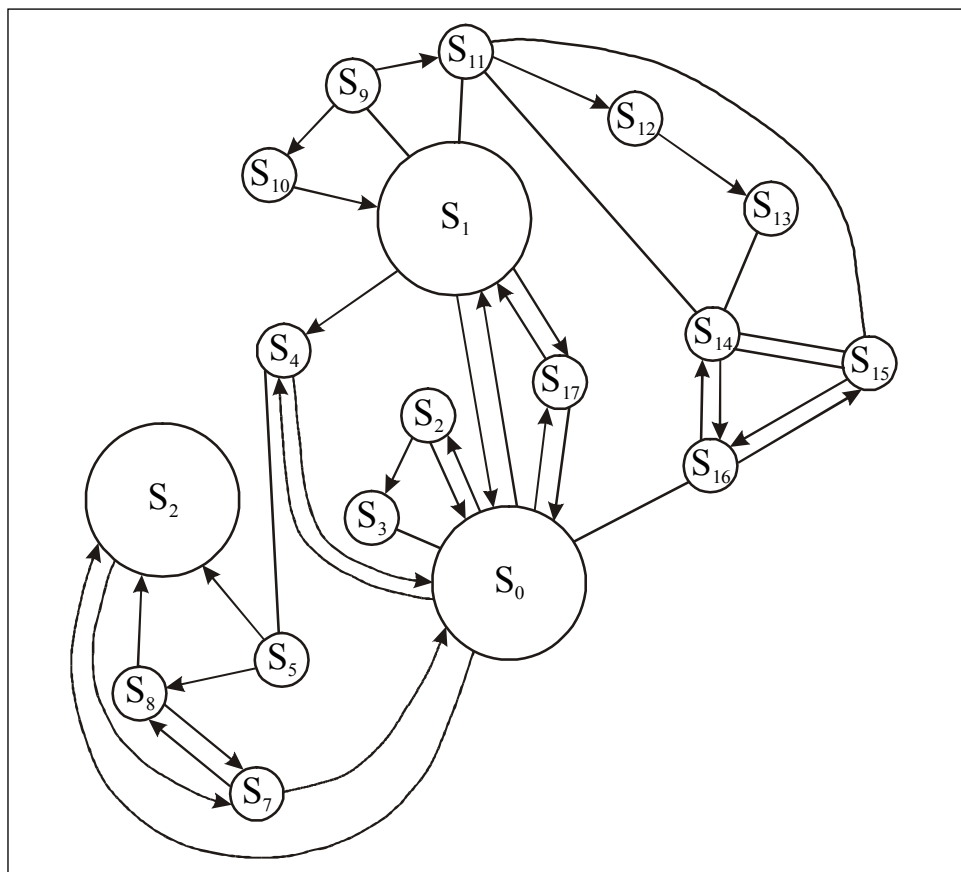


Рисунок. Граф станів РО транспорту

Позначимо $S_i(t)$ стан i -ї РО в момент часу t . Множину РО, які перебувають в j -му стані, позначимо $S_j(t) = \{i[S_i(t) = S_j]\}$. (Кількість елементів у множині A позначимо VAV). Вся множина РО $S(t) = \bigcup_1^{17} S_j(t)$ має потужність $|S(t)| = N$. Сукупність множин $S_j(t)$, $j = 1, 17$, описує стан РС АТП у будь-який момент часу.

МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ І ПРОВЕДЕННЯ ТО-1

Позначимо $L_i(t)$ пробіг i -ї РО до моменту часу t , $L_i(t)$ — інформація про пробіг i -ї РО, яка є в технічній службі в момент часу t . Нехай Δt_1 — запізнення надходження інформації про пробіг у технічну службу, тоді

$$L_i^1(t) = L_i(t - \Delta t_1). \quad (7)$$

Планування полягає ось у чому: визначити в момент часу t множину РО $Q(t_2) \in [1, N]$ (множину усіх РО АТП позначимо X), таку, що в момент часу $t = t + \Delta t_2$ виконуватимуться такі умови:

$$\forall i \in Q(t_2) \cup \forall j \in X \setminus Q(t_2): \Delta L_i(t_2) \geq \Delta L_j(t_2), \quad (8)$$

де $\Delta L_i(t) = L_i(t_2) - L_i(t_i^{T01}) - L_i^{\text{норм}}$ — дата проведення останнього ТО-1 i -ю РО; $L_k^{\text{норм}}$ — нормативний пробіг до проведення ТО-1 i -ю РО;

$$\left| Q(t_2) \setminus \bigcup_{j=1}^{16} S_j(t_2) \right| \geq n_{\text{пл}}(t_2), \quad (9)$$

де $n_{\text{пл}}(t_2)$ — продуктивність дільниці ТО за час t_2 (кількість справних РО із запланованої кількості РО має бути не менше від продуктивності зони).

МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ І ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ПРОВЕДЕННЯ ТО-2

Планування ТО-2 багато в чому подібне до планування ТО-1, однак ТО-2 виконується у два етапи: планування поглибленої діагностики (ПД) ТО-2 і задача диспетчеризації проведення ТО-2.

1. Нехай для деякого t' : $S_i^n(t') = S_4$ (стан очікування ПД ТО-2), $i \in Q_2(t_3)$. Якщо $\exists i \in Q_2(t_3')$ таке, що $S_i^\Phi(t') = S_0^4(t')$, то побудувати $\bar{S}_i^n(t_2)$, $t \geq t'$ такий, що

$$F[S_i^n(t), S_i^\Phi(t')] \rightarrow \min. \quad (10)$$

2. Нехай $S_{4,5}^{i+1} = S_n(t) \cup S_5(t)$ і відомо стан ділянки ПД ТО-2 $A_3(t)$. Якщо $\exists i$ таке, що $S_i^A(t_0) = S_i^D(t_0)$, то визначити $\forall i \in S_{4,5}(t_0) \cup Q_2(t_3)$ — скоригований технологічний маршрут $\bar{S}_i^n(t)$, $t \geq t_0$ такий, що

$$\sum F[S_i^n(t_0), S_i^D(t_0)] \rightarrow \min, \quad i \in S_{4,5}(t_0) \cup Q_2(t_2). \quad (11)$$

МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ І ПРОВЕДЕННЯ ПР

Потреба у проведенні ПР виникає для деякої РО при переході зі стану S_1 у стан S_g чи S_{12} . Перехід відбувається у разі виявлення у РО певного набору несправностей $\{b_{ij}\}$ $j = \overline{1, m}$, $b_{ij} \in \bar{B}$ — множина можливих несправностей, причому

$$B = BV B^*, \quad (12)$$

де B^* — множина некоректних несправностей, тобто таких, для яких відсутні дії щодо усунення; перелік деталей тощо, однак $\forall b^* \in B^* \exists \{b_j\} \in B$ — множина коректних несправностей таких, що внаслідок діагностики здійснюється відображення $b^* \xrightarrow{D} b_j \in \{B_j\}$.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТНП НТ

Основний вид ТНП НТ — таксомоторні перевезення. Оперативному управлінню таксомоторним транспортом присвячено багато робіт, проте досі не створено математичної моделі ДУ ТП таксомоторів на замовлення з урахуванням оптимізації цільової функції.

Постановка задачі автоматизованого управління перевізним процесом має такий вигляд:

Нехай є потоки замовлень на обслуговування і повідомлень про звільнення РО або їх вихід із ладу. Необхідно підібрати такі пари «клієнт-таксомотор», які дають змогу мінімізувати цільову функцію.

Коли добираються пари «замовник-таксі», розв'язується оптимізаційна задача. Є множина прийнятих замовлень із M елементів K_1, \dots, K_m , термін виконання яких настає через 20 хв, і множина вільних таксі із N елементів $[T_1, \dots, T_N]$.

Оскільки для кожного вільного таксі і прийнятого замовлення (за адресою відділення зв'язку) відомі зони їх місцезнаходження, то для кожного елемента множин $\{K\}$ і $\{T\}$ визначається відповідна пара чисел (i^k, j^k) чи (i^t, j^t) — координати зон на карті міста. У цьому разі відстань між замовником і вільним таксі для l -ї підібраної пари усереднено визначається таким чином:

$$P_l = \sqrt{(i_l^k - i_l^T)^2 + (j_l^k - j_l^T)^2}, \quad (13)$$

де $i_l^k, i_l^T, j_l^k, j_l^T$ — значення координат зони перебування відповідно замовника і вільного таксі.

Максимальна кількість пар «замовник-таксі», яку можна підібрати в момент розрахунку, визначається кількістю прийнятих замовлень і наявністю вільних таксі і дорівнює меншій з двох величин:

$$\max E = \min [M, N]. \quad (14)$$

Таким чином, сумарний пробіг таксі у разі подачі їх замовникам

$$СП = \sum_{l=1}^E P_l = \sum_{l=1}^E \sqrt{(i_l^k - i_l^T)^2 + (j_l^k - j_l^T)^2}. \quad (15)$$

Отже, розв'язання оптимізаційної задачі полягає у мінімізації цільової функції

$$СП = \min \sum_{l=1}^E P_l \quad (16)$$

за умови

$$E \rightarrow \min [M; N], \quad (17)$$

яку задано на множині пар елементів множин $\{K\}$ і $\{T\}$.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ АВТОБУСНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

Розроблена АСДУ автобусними перевезеннями (АСДУ-А) виконує функції збирання інформації про роботу маршрутизованого транспорту, контролю за рухом РО за маршрутами, управління перевізним процесом у разі відхилення від розкладу з урахуванням ЗВ, нагромадження, аналізу і видачі споживачу звітної і довідкової інформації.

В АСДУ-А забезпечені автоматичне та автоматизоване збирання і накопичення інформації, що характеризують роботу РО, водіїв, диспетчерів ТП, ЦДС, маршрутів, ТП в цілому. Інформаційне забезпечення (ІЗ) системи містить програмні засоби для ведення внутрішньо- і позамашинної інформаційної бази з урахуванням контролю нормативно-довідкової інформації (НДІ), захисту від несанкціонованого доступу до руйнувань, створення і ведення всіх інформаційних масивів, відновлення при збоях тощо.

На рівні ТП при розв'язанні задач ДУ ТНП, а також контролю і обліку випуску і повернення РО, забезпечена інформаційна сумісність АСДУ-А і АСДУ ТП у період передачі добового плану-наряду та оперативного управління.

В АСДУ-А, що функціонує в Україні, враховані та ліквідовані основні недоліки, притаманні аналогічним системам, а також істотно розширені її функціональні можливості.

1. Значно спрощена підготовка ІБ. Всі процеси підготовки масивів, їх обробки і формування завантажувальних файлів ІБ виконуються за допомогою єдиного носія зовнішньої пам'яті — магнітних дисків.

2. За початкового запуску системи реалізована можливість попереднього введення вихідних даних (табельні номери водіїв і номери РО) на наступну добу, що полегшує роботу диспетчера щодо введення значної кількості інформації в обмежений інтервал часу.

3. У режимі нормального функціонування (НФ) системи значно розширено перелік оперативних довідкових форм, що дає змогу диспетчеру отримувати повнішу інформацію про хід перевізного процесу у поточний момент часу, а також інтегровану оцінку роботи РО на маршруті і прогноз розвитку перевізного процесу на найближчий час.

4. Система характеризується широкою мережею діагностичних програмних засобів, які дають змогу в реальному масштабі часу із заданою дискретністю інформувати диспетчера про порушення в ході перевезень, а також у роботі комплексу технічних засобів (КТЗ).

5. Розроблені програмні засоби, які мають змогу в оперативному режимі коригувати окремі масиви ІБ без регенерації всієї системи.

6. У системі введено комплекс програмних засобів, який формує рекомендації щодо ліквідації ЗВ (введення резерву, переведення РО з маршруту на маршрут тощо). Існують три способи формування рекомендацій: за ініціативою системи; за ініціативою системи з наступним переведенням можливих варіантів; за ініціативою диспетчера.

7. Для видачі звітних даних значно розширено перелік параметрів, які формуються. Так, введено прізвище, табельний номер водія, марка і пробіг РО.

8. Система може накопичувати звітні дані про роботу за тиждень, декаду, місяць і видавати за зазначені періоди.

9. В АСДУ-А передбачено виведення звітних даних про хід транспортного процесу на магнітну стрічку для нарахування зарплати водіям РО, диспетчерам й обслуговуючому персоналу системи.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ ТАКСОМОТОРНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

Із систем автоматизованого управління таксомоторними перевезеннями найбільшу зацікавленість викликає система, розроблена СКБ ПА м.Омська (Росія). Однак ця система може застосовуватися лише тоді, коли пропозиція в таксомоторах перевищує попит на поїздки. У цьому разі доцільно створювати і впроваджувати АСДУ таксомоторними перевезеннями на замовлення.

Розроблена в Україні система автоматизує такі процеси роботи диспетчерів: приймання замовлень від населення на таксі і повідомлень водіїв радіофікованих таксі про їх місцезнаходження, підбирання пари «замовник-таксі», видання довідок про виконання замовлення, контроль випуску так-

сомоторів на лінію; облік роботи диспетчерів, водіїв таксі і таксомоторних підприємств щодо приймання і виконання замовлень; складання звітів про роботу диспетчерів і водіїв таксі за добу і далі — за місяць.

Для автоматизованого добору пари «замовник-таксі» використовується такий принцип визначення місцезнаходження таксі і замовника. Територія міста розбивається на зони (квадрати $1,5 \times 1,5$ км). Водій, зв'язуючись з диспетчером по виконанню замовлень, повідомляє йому номер зони, де перебуває таксі. У разі виконання поточного замовлення таксі подається клієнту, якщо відстань між центрами зон перебування клієнта і таксомотора не перевищує 3 км. У разі виконання попереднього чи екстреного замовлення радіус пошуку вільного таксі збільшується у 1,5 і 3 рази.

Програма добору пари «замовник-таксі» виконується після надходження від диспетчера інформації про приймання чергового замовлення чи звільнення таксомотора, а також у разі переривання від системного таймера кожні 5 хв.

Перевага даної АСДУ-Т — можливість її використання за централізованої та децентралізованої технологією, а обраний КТЗ дає змогу за допомогою обчислювальної мережі (ОМ) здійснювати зв'язок АСДУ-Т з АСДУ ТП і АСДУ-А для планової та оперативної координації управління перевізним процесом з метою підвищення якості обслуговування пасажирів та ефективного використання РС.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТП

Оперативне управління ТНП ТП здійснюється автоматизацією таких технологічних функцій: контроль заїзду і виїзду РО, визначення причин заїзду РО на ТП; розрахунок планів проведення ТО-1, ТО-2; оперативне планування проведення ПР; оперативний контроль виконання планів ТО-1, ТО-2, ПР; контроль якості виконання робіт при проведенні ТО і ПР, ведення «Особистої картки РО», формування «Картки обліку ТО і ПР», облік приходу — витрати ЗІП і матеріалів на складах ТП; нарахування заробітної плати ремонтним працівникам; ведення картки складського обліку і лімітно-забірної картки; визначення дефіциту запасних частин (ЗІП) і матеріалів на складах ТП, формування рознарядки роботи водіїв і оперативний облік паливно-мастильних матеріалів (ПММ).

Комплекс технічних засобів розробленої АСДУ ТП складається з таких функціональних груп: збирання, реєстрації і передачі інформації, нагромадження; переробки і видачі інформації.

Набір технічних засобів АСДУ ТП будується за агрегатно-модульним принципом, що дає змогу проектним шляхом компоувати систему, яка задовольняє конкретні вимоги споживача в процесі її експлуатації у разі розширення чи зміни переліку задач, що розв'язуються. Зв'язок системи з усіма підрозділами здійснюється згідно з технологією функціонування ТП в умовах АСДУ.

Розроблена АСДУ ТП відрізняється від інших систем автоматизації ТНП ТП розширеними функціональними можливостями і наявністю зв'язку з АСДУ-А. Можливості АСДУ ТП дають змогу здійснювати автоматичний контроль виїзду і заїзду РО в ТП, розраховувати плани проведення ТО, формувати розрядку роботи водіїв, виконувати оперативний облік витрати запасних частин і паливно-мастильних матеріалів.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПРОДАЖУ КВИТКІВ ДЛЯ ПРОЇЗДУ АВТОБУСАМИ МІЖМІСЬКОГО СПОЛУЧЕННЯ

Обсяг перевезень пасажирів і пасажироборот, виконуваний автобусами на міжміських маршрутах, неперервно збільшується.

Існуючі організації та технічні можливості автовокзалів (АВ) не забезпечують своєчасного і якісного обслуговування пасажирів.

Оператори по розподілу місць не справляються з обробкою заявок на попередній і поточний продаж квитків через значне інформаційне завантаження. Відсутність оперативного обліку продажу квитків, висока інтенсивність ручної праці спричиняють появу помилок операторів і касирів, внаслідок чого створюються довгі, на багато годин очікування черги в касах, має місце продаж кількох квитків на одне місце, автобуси відправляються з незаповненими місцями тощо.

Щоб підвищити ефективність використання РС, була розроблена автоматизована система управління технологічними процесами міжміських пасажирських перевезень «АСУ-автовокзал».

Розробка і впровадження в народне господарство розподілених систем масового обслуговування населення вимагає створення мереж передачі інформації. Побудова мереж та їх експлуатація дуже дорогі і трудомісткі. Проектування мереж потребує складних топологічних й оптимізаційних розрахунків. Їх експлуатація висуває серйозні вимоги до управління. Значні матеріальні витрати пов'язані з орендою каналів зв'язку. Все це призводить до висновку про необхідність колективного використання мереж зв'язку кількома системами.

Сьогодні в авіації створена та успішно функціонує мережа передачі даних (МПД) автоматизованої системи управління продажем квитків і бронювання місць пасажирів «Сирена-2». Ця мережа забезпечує взаємодію цілого ряду центрів обробки даних, розміщених у різних країнах СНД, і значної кількості терміналів користувачів. Згідно з усталеними правилами мережа забезпечує передачу повідомлень від користувачів до центрів обробки даних і відповідей від центрів користувачам, передає повідомлення користувачам і центрам обробки даних.

Можливість використання мережі системи «Сирена-2» з «АСУ-автовокзал» для передачі своєї інформації пов'язана з тим, що завантаження каналів МПД «Сирена-2» нерівномірне, має явно виражені піки і спади. Ряд каналів мережі «Сирена-2» недозавантажений. Під недозавантаженням розуміється рівень зайнятості каналу, що менший за припустимий, визначений вимогами, які висуваються до часу доставки повідомлення у мережі.

Таким чином, існують об'єктивні причини, які дають змогу в «АСУ-автовокзал» використовувати технічні і програмні засоби МПД «Сирена-2». Ці рішення реалізовані в «АСУ-автовокзал», що розроблені для м.Донецька і Криму. Вони сприяють створенню державної мережі для замовлення квитків на літаки і автобуси міжміського сполучення.

Надалі ця мережа має бути пов'язана з мережею замовлення квитків на залізничний транспорт.

Впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами міжміських пасажирських перевезень транспортом дає змогу зменшити чисельність персоналу автовокзалів, підвищити продуктивність праці касирів і диспетчерів, на 20–25 % скоротити час придбання квитків і підвищити якість обслуговування пасажирів.

ВИСНОВКИ

1. Розроблена теорія створення системи ДУ визначає необхідність, можливість, достатність, ефективність, алгоритмічність і технологічність управління ТП. Доведено, що ДУ ТП на транспорті сприяє досягненню планових показників за усталеного рівня ресурсів, тобто виконує функції контролю і регулювання ТП.

2. Визначено, що за існуючої системи ДУ ТП маршрутизованого пасажирського транспорту показник регулярності руху, обчислений на підставі контролю в одній точці маршруту, не відбиває реального стану перевізного процесу, і якість обслуговування пасажирів незадовільна.

Необхідність регулювання транспортних процесів зумовлюється двома основними принципами: наявністю планового режиму функціонування транспортної системи і випадковим характером формування збурюючих впливів (ЗВ). Для МТ плановий режим функціонування задається розкладом руху, а регулювання має розглядатися як засіб, який не лише забезпечує виконання наперед заданого режиму, а й містить функції планування. Для НТ оперативне управління транспортним процесом як централізоване, так і децентралізоване, вимагає розв'язання оптимізаційної задачі — мінімізації часу і відстані у разі добору пари «клієнт-таксомотор».

Отримана залежність ефективності і якості роботи транспортної одиниці на лінії від результатів функціонування технічної служби ТП. Задача диспетчерського управління технічною службою ТП — як організувати ТНП, щоб значення цільової функції (витрати на впровадження ТО і ремонту РО) було мінімальним.

3. У СНД і за кордоном ведуться розробки щодо створення автоматизованих систем диспетчерського управління ТП транспорту.

Вітчизняні і зарубіжні системи розвиваються у напрямі удосконалення комплексу технічних засобів і підвищення функціональних можливостей систем, а також створення обчислювальної мережі на базі АСДУ-А — АСДУ — АСДУ-Т, АСДУ ТП — «АСУ-автовокзал» тощо.

4. Для створення математичних моделей технологічних процесів МТ, НТ, АТП найбільшого поширення дістав метод імітаційного моделювання.

Дослідження показали, що існуючі методи з використанням мов *GPSS* і *Simsript* мають значні недоліки і непридатні для створення АСДУ ТП ПАТ.

Розроблений автором функціонально-алгоритмічний метод, сутність якого полягає в тому, що алгоритмізуються функції згідно з технологією роботи системи, а далі виконується їх програмна реалізація, широко використовуються при створенні АСДУ ТНП АТ на підприємствах.

Розроблено загальну модель ДУ ТП транспорту, яка визначає можливість, достатність, технологічність, ефективність і алгоритмічність управління ТП. Застосування розроблених моделей ТП МТ, НТ і АТП дало змогу отримати якісну і кількісну характеристики взаємодії ЗВ і ДВ, вплив ДУ на якість обслуговування пасажирів з урахуванням часу очікування, комфортабельності поїздки й ефективності використання РО за рахунок підвищення рівня організації проведення ТО і ремонту РО.

5. Поряд з теорією диспетчерських систем управління ТНП транспорту розроблені АСДУ ТНП АТ у складі АСДУ-А, АСДУ-Т і АСДУ ТП, які за своїми функціональними можливостями і використовуваному КТЗ повністю відповідають вимогам третього покоління систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Лігум Ю.С.* Інформаційні системи на транспорті. — К.: Національний транспортний університет, — 2002. — 160 с.
2. *Ligum U.S.* Development of algorithm and control of technological processes of transport in real time // *International Transport*. — Berlin, 2000. — P. 402–410.

Надійшла 20.11.2002