

Навігація

УДК 656.132.658

С.М. Андреев, В.А. Жилін, А.С. Угарова

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

ТРАНСПОРТНО-НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ

Обґрунтовано необхідність роботи у напрямку підвищення якості транспортного забезпечення у м. Харкові. Визначено фактори, що впливають на швидкість руху та затримки на дорозі, а також їх відносну вагу. Запропоновано імітаційну модель системи моделювання руху громадського транспорту. Розроблено концептуальну схему транспортно-інформаційної системи відображення руху маршрутних транспортних засобів. Розроблено та програмно реалізовано алгоритм моделювання руху транспортного засобу у режимі реального часу.

Ключові слова: транспортна інфраструктура, імітаційна модель, моделювання руху транспорту, транспортно-інформаційна система.

Актуальність проблеми та постановка задачі

Транспортна інфраструктура — одна з найважливіших складових частин інфраструктури міста. Якість транспортних послуг є одним з найважливіших чинників, що впливають на рівень життя у місті та забезпечують комфортне існування в ньому.

Одною зі складових забезпечення якості транспортних послуг є можливість інформування пасажирів про час прибуття маршрутного транспортного засобу на зупинку. У багатьох випадках це питання вирішують розміщенням на зупинці спеціального табло з розкладом руху. Зупинки громадського транспорту в Україні у більшості не обладнані такими табло. Крім того, за багатьма причинами, розклад руху маршрутних транспортних засобів швидко може ставати неактуальним, а актуалізація таких табло пов'язана з великими часовими та матеріальними затратами. У місті Харкові станом на 2017 рік лише дві зупинки громадського транспорту обладнані спеціальним електронним табло, на якому зображується час до прибуття транспортного транспорту. Ці табло працюють у тестовому режимі та розповсюджуються лише на трамваї і тролейбуси.

Таким чином, транспортна інфраструктура міста не виконує важливу функцію з інформування пасажирів. Цю функцію беруть на себе комерційні організації. В Україні діє міжнародна компанія «Easy way», що забезпечує користувачів інформацією про розклад та рух транспорту. Станом на 2017 рік впроваджено технічне забезпечення та відкритий доступ до GPS-даних громадського транспорту у 14 містах України. Впровадження подібних заходів у всіх містах країни на даному етапі є неможливим за багатьма причинами, серед яких — невідосконала система управління транспортом, приватна влас-

ність на громадський транспорт, конкуренція між перевізниками, тощо.

В 2015 році харків'янами була подана електронна петиція щодо встановлення на увесь міський транспорт GPS-маячків для відслідковування їх переміщення. За відповіддю міського голови, «на сьогодні (на 2015 р.) з метою істотного підвищення якості обслуговування пасажирів та ефективності використання рухомого складу, що випускається на лінію, у м. Харкові впроваджені основні елементи автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ), яка призначена для управління та автоматизованого контролю за роботою міського наземного пасажирського транспорту шляхом впровадження системи GPS-позиціонування та передачі в диспетчерський центр координат місцезнаходження міського транспорту, відображення цієї інформації на електронній карті й обробки отриманої та супутньої інформації на двох рівнях — транспортного підприємства і центральної диспетчерської служби. У рамках впровадження АСДУ весь рухомий склад трамваїв, тролейбусів та автобусів обладнаний пристроями GPS-позиціонування та на базі КП «Міськелектротранссервіс» створений єдиний диспетчерський центр, який координує рух наземного пасажирського транспорту з рухом поїздів метрополітену і здійснює управління рухом на основі системи GPS-позиціонування. Подальший розвиток вказаного проекту передбачає також впровадження вебсторінки у мережі Інтернет. Створення такої сторінки для виведення інформації про місцезнаходження рухомого складу в онлайн-режимі передбачає розробку програмного забезпечення, модернізацію існуючих технічних засобів діючої системи АСДУ, а також подальшу її підтримку. На цей час комунальними підприємствами «Міськелектротранссервіс» та «Міський інформаційний центр» разом із зацікавле-

ними організаціями триває робота з впровадження та удосконалення вказаної системи». Але досі зазначені роботи не були виконані. Варто відмітити, що у період з 2014 по 2016 року працював мобільний додаток «Маршрутки», який забезпечував відображення переміщення транспортних засобів по маршруту. Додаток працював нестабільно і на кінець 2016 року за невідомими причинами припинив свою активність.

Таким чином, актуальним проектом для м. Харків є створення системи інформування пасажирів про рух транспорту, яка була б незалежна від GPS-даних. У цій роботі пропонується вирішення поставленої задачі за допомогою інструментів математичного моделювання на основі статистичних і стохастичних даних. Пропонується імітаційна модель системи інформування про дорожню обставину та час прибуття конкретного транспортного засобу на зупинку. Розроблена модель дозволяє проводити аналіз об'єкту

дослідження, а саме – визначити чинники, що впливають на рух на маршруті, визначити ступінь їх впливу, робити прогнози, вивчати, який вплив матимуть змінення значень тих чи інших факторів.

За даними аналізу є можливим зробити висновки та рекомендації щодо інтервалів руху та кількості транспортних засобів задля забезпечення транспортом мешканців міста.

Розроблений алгоритм пропонується реалізувати програмно за допомогою мови програмування C# у середовищі розробки програмного забезпечення Visual Studio 2012.

Розробка системи моделювання руху маршрутних транспортних засобів

Перший етап роботи полягає у розробці концептуальної моделі транспортно-інформаційної системи. Модель побудована у нотатції UML "Діаграма прецедентів" (рис. 1).

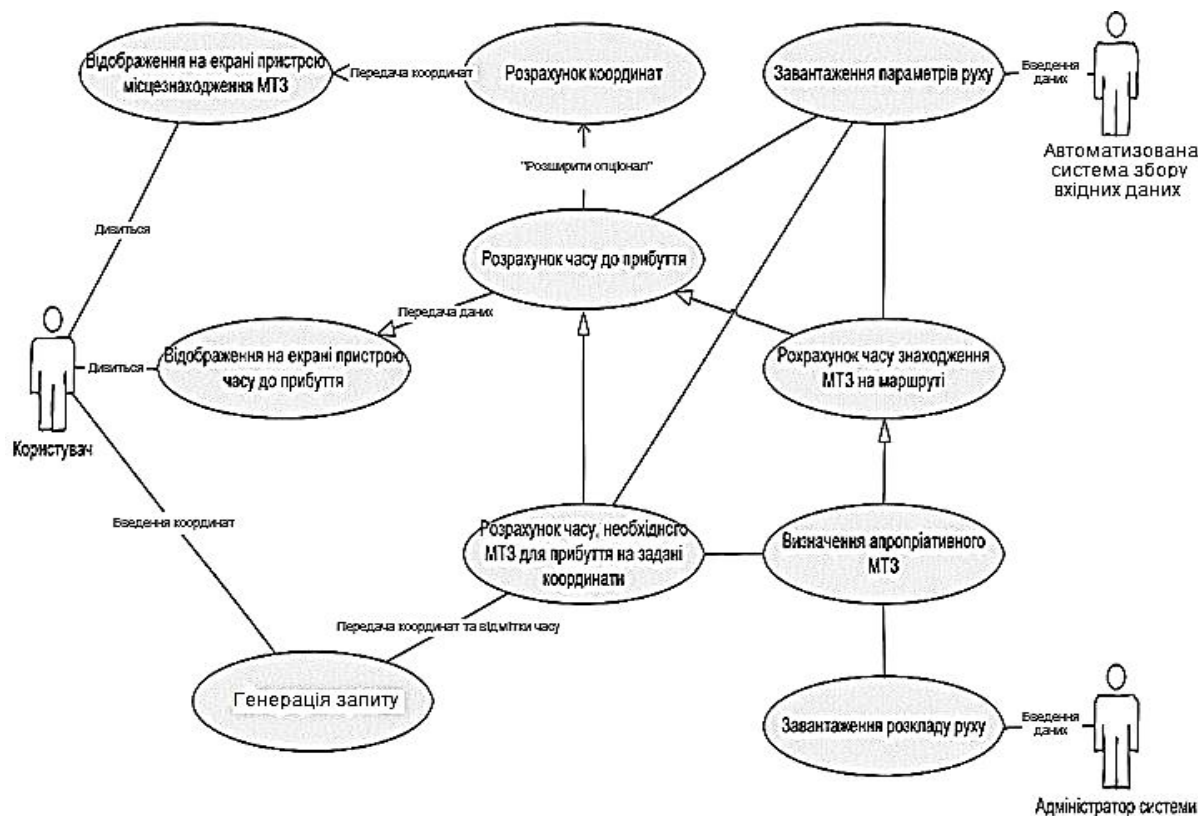


Рис. 1. Концептуальна схема транспортно-навігаційної системи

На діаграмі зображено три актора — користувач системи, що подає запит, атрибутами якого є час та координати; адміністратор, що завантажує розклад руху (час початку руху); автоматизована система збору даних про дорожню обставину, тобто дані, що впливають на швидкість руху і затримки на маршруті. Робота системи починається із запита користувача і закінчується отриманням ним інформації, що була запитана.

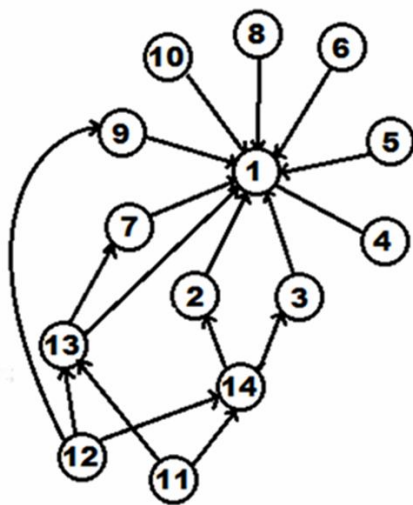
Другий етап роботи полягає у аналізі факторів, що впливають на час, який потрібен транспортному

засобу, щоб потрапити з пункту А у пункт Б. Було встановлено такий перелік факторів:

- швидкість руху;
- кількість зупинок;
- тривалість зупинок;
- кількість світлофорів;
- тривалість зупинок на світлофорах;
- кількість нерегульованих перехресть;
- тривалість затримки на нерегульованих перехрестях;
- кількість нерегульованих переходів;

- ймовірність зупинки на нерегульованих переходах;
- погодні умови (видимість, ожеледь);
- період доби;
- день тижня;

- транспортний потік на дорозі;
 - кількість пасажирів.
- Взаємовплив факторів відображено на оргграфі (рис. 2).



- 1) Ідеальна швидкість руху
- 2) Кількість зупинок
- 3) Тривалість зупинок
- 4) Кількість світлофорів
- 5) Тривалість зупинок на світлофорах
- 6) Кількість нерегульованих перехресть
- 7) Тривалість затримки на нерегульованих перехрестях
- 8) Кількість нерегульованих переходів
- 9) Тривалість затримки на нерегульованих переходах
- 10) Погодні умови (видимість, ожеледь)
- 11) Період доби
- 12) День тижня
- 13) Транспортний потік на дорозі
- 14) Кількість пасажирів

Рис. 2. Орграф взаємовпливів факторів дорожнього руху

Наступний етап проекту — розробка імітаційної моделі інформаційно-транспортної системи. Мо-

дель складається з трьох блоків: блок вихідних даних, блок розрахунків та блок виводу (рис. 3).

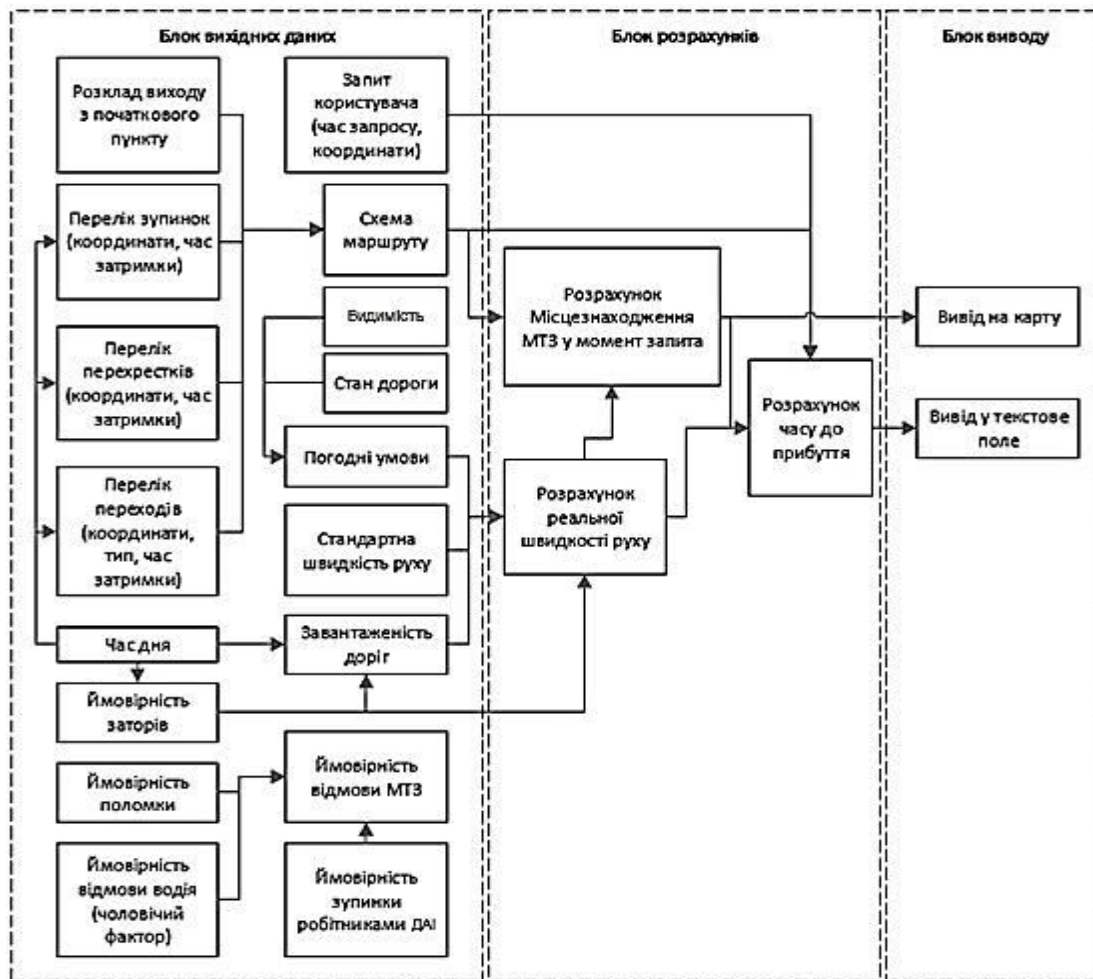


Рис. 3. Концептуальна модель транспортно-навігаційної системи

Кінцевою ціллю моделі є надання інформації користувачеві про час до прибуття обраного користувачем транспортного засобу та його поточне місцезнаходження (блок виводу). Блок вихідних даних являє собою базу даних, що містить різноманітні дані (як детерміновані: розклад руху, елементи маршруту, так і стохастичні, для отримання яких необхідно провести статистичні дослідження). Для організації бази даних цього блоку було проведено класифікацію вхідних даних (рис. 4).

Для розрахунку часу до прибуття необхідні дані про місцезнаходження користувача та місцезнаходження маршрутного транспортного засобу (МТЗ), знати швидкість руху та мати інформацію про затримки на зупинках та світлофорах. Час до прибуття дорівнює:

$$T_{\text{приб}} = \frac{X_{\text{зап}}}{X_{\text{МТЗ}}} + t_{\text{доп.св.}} + t_{\text{доп.зуп.}}, \quad (1)$$

де $T_{\text{приб}}$ – час до прибуття; $X_{\text{зап}}$ – координата зупинки; $X_{\text{МТЗ}}$ – координата МТЗ; $t_{\text{доп.св.}}$ – час затримки на світлофорах; $t_{\text{доп.зуп.}}$ – час затримки на зупинках.

Час затримки розраховується за формулами:

$$t_{\text{доп.св.}} = \sum_{i=1}^m t_{\text{св.і.}}; \quad (2)$$

$$t_{\text{доп.зуп.}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{зуп.і.}}; \quad (3)$$

де n – кількість зупинок, що знаходяться між МТЗ та користувачем; m – кількість світлофорів, що знаходяться між МТЗ та користувачем; $t_{\text{св.і.}}$ – час затримки на i -тому світлофорі; $t_{\text{зуп.і.}}$ – час затримки на i -тій зупинці. Для визначення $t_{\text{зуп.і.}}$ необхідно проводити статистичні дослідження та вивчати, як змінюється затримка за різними умовами та у різну пору доби. У даному проекті прийнято, що $t_{\text{зуп.і.}}$ дорівнює 1 хв або 0.5 хв в залежності від типу зупинки.

Час затримки на світлофорі $t_{\text{св.і.}}$ може мати значення від 0 до максимального значення тривалості червоного світла. Це випадкова величина, що може бути розрахована за формулою:

$$t_{\text{св.і.}} = (\ell = 1; 0; c) \quad (4)$$

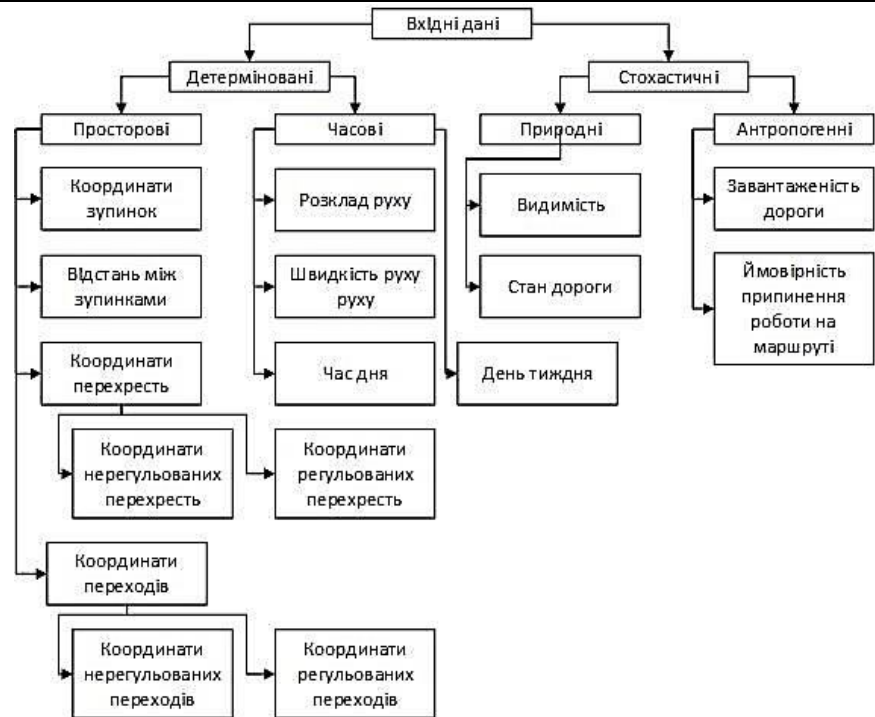


Рис. 4. Схема класифікації вхідних даних за походженням для моделювання руху дорожнього транспорту

де ℓ – змінна, що відповідає за значення сигналу світлофора і має значення «1» = зелений та «0» = червоний або жовтий; c – середнє значення тривалості сигналу червоного світла.

Якщо враховувати стохастичну невизначеність, то ℓ є випадковою подією, що може приймати значення 0 або 1, і залежить від режиму роботи світлофору. Значення ℓ може бути обчислено одним із шляхів:

$$\ell = (\text{rnd}(1) < R_n; 0; 1), \quad (5)$$

$$\ell = (\text{rnd}(1) > R_n; 1; 0), \quad (6)$$

де R_n – нормована тривалість червоного сигналу світлофора; $\text{rnd}(1)$ – випадкова величина від 0 до 1.

Маючи тривалість червоного сигналу в секундах, нормоване значення можна отримати:

$$R_n = R/(R + G), \quad (7)$$

де G – тривалість зеленого сигналу світлофору, c .

Для розрахунку місцезнаходження МТЗ необхідно знати час виходу МТЗ з кінцевої зупинки, тривалість руху, кількість зупинок та світлофорів, що було пройдено цим МТЗ за час, що він рухається. Розрахунок може здійснюватись таким чином:

$$X_{\text{МТЗ}} = (T_{\text{шл}} - t_{\text{доп.св.}} - t_{\text{доп.зуп.}}) \cdot V, \quad (8)$$

де $T_{\text{шл}}$ – тривалість поїздки конкретного МТЗ.

У цьому випадку $t_{\text{доп.св.}}$ та $t_{\text{доп.зуп.}}$ розраховуються за (2) і (3), але n та m – кількість зупинок та світлофорів, що відповідно знаходяться між МТЗ та кінцевою зупинкою, тобто ті зупинки та світлофори, на яких вже було витрачено час.

Блок виводу має два підблоки: вивід на електронну карту або схему маршруту позначку місцезнаходження, яке можна визначити за (8), та підблок виводу чисельного значення часу, необхідного МТЗ для прибуття на задану зупинку, що визначається за співвідношенням (1). Розроблену модель було апробовано за допомогою середовища розробки Microsoft Visual Studio 2012 на мові програмування С# у режимі реального часу. Розроблений програмний додаток дозволяє обрати маршрут та розраховує час до прибуття транспортного засобу (рис. 5).

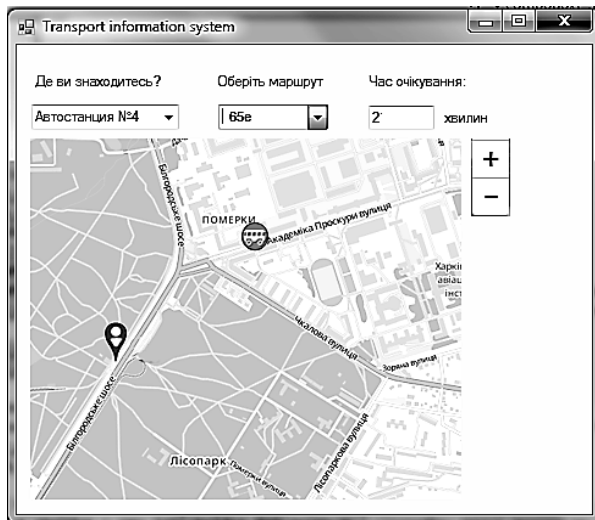


Рис. 5. Проект інтерфейсу транспортно-навігаційної системи

У подальшому доцільно впровадити у програмний додаток картографічну основу і модуль розрахунку та виводу місцезнаходження транспортного засобу.

Висновки

1. Проаналізовано сучасний стан проблеми відсутності інформування пасажирів про актуальну дорожню обставину та рух громадського транспорту у місті Харкові. Обґрунтовано необхідність проведення робіт у напрямку вирішення цієї проблеми.

2. Визначено фактори, що впливають на швидкість руху та затримки на дорозі, у тому числі визначено найбільш та найменш вагомі фактори.

3. Розроблено концептуальну схему системи інформування користувача про час прибуття маршрутного транспортного засобу та відображення дорожньої обставини у режимі реального часу.

4. Розроблено та реалізовано алгоритм моделювання руху маршрутного транспортного засобу.

Розроблена модель дозволяє включати та виключати з аналізу різні фактори впливу і аналізувати та інтерпретувати результати. Це забезпечує визначення закономірності взаємних впливів факторів на маршруті, аналіз пасажиропотоку в різних умовах. Дані такого аналізу можуть бути використані для оптимізації руху транспортних засобів та підвищення якості транспортного сервісу міста.

Список літератури

1. Васильєва, І.К., Попов, А.В., Єльцов, П.Є. Математичне моделювання в геоінформаційних системах. – Нац. аерокосмічний ун-т «ХАІ», 2014. – 100 с.
2. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков М.: Стройиздат, 1974.– 138 с.
3. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука / В.М. Томашевський. – К.: Видавнича група BVH, 2005. – 352 с.
4. Краткосрочное прогнозирование пассажиропотоков на основе статистических данных, полученных эмпирическим путем [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.sirius.su>.
5. Електронні петиції [Електронний ресурс].- Режим доступу <http://petition.city.kharkov.ua/uk/>
6. Прасоленко А. В. К вопросу о критериях эффективности функционирования транспортной сети города // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – Вып. 1/2 (19). – 15-15.
7. GPS-дані міста на одній карті [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://www.eway.in.ua/blog>.

Надійшла до редколегії 30.10.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ТРАНСПОРТНО-НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТА

С.М. Андреев, В.А. Жилин, А.С. Угарова

Обоснована необходимость работы в направлении повышения качества транспортного обеспечения в городе Харькове. Определены факторы, которые влияют на скорость движения и задержки на дороге, а также их относительный вес. Предложена имитационная модель системы моделирования общественного транспорта. Разработана концептуальная схема транспортно-информационной системы отображения движения маршрутных транспортных средств. Разработан и программно реализован алгоритм моделирования движения транспортного средства в режиме реального времени.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, имитационная модель, моделирования движения транспорта, транспортно-информационная система.

TRANSPORTATION-NAVIGATIONAL SYSTEM OF SIMULATION OF MOTION ROUTE TRANSPORT

S.M. Andreev, V.A. Zhilin, A.S. Ugarova

The necessity of work in the direction of improving the quality of transportation in the city of Kharkov is substantiated. The factors that influence the speed and delays on the road, as well as their relative weight, are determined. An imitation model of the public transport modeling system is proposed. The conceptual scheme of the transport information system for displaying the movement of route vehicles has been developed. A real-time simulation of the vehicle's motion has been developed and software implemented.

Key words: transport infrastructure, simulation model, traffic simulation, transport and information system.