

Філь Н. Ю.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ПОГОДНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ МАГІСТРАЛЬНИХ АВТОШЛЯХІВ

В роботі проведено аналіз підходів і методів синтезу інтелектуальних транспортних систем. Для оперативного врахування впливу метеорологічних факторів необхідно використовувати системи метеорологічного сервісу, що дозволить оперативно приймати рішення про необхідні дії на конкретній ділянці дороги. Розроблено багатокритеріальну математичну модель вибору елементів системи погодного моніторингу для магістральних автошляхів. Розглянуто приклад вибору елементів системи погодного моніторингу.

Ключові слова: інтелектуальна транспортна система, погодний моніторинг, математична модель, багатокритеріальність.

1. Вступ

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) — з'єднання знань в області телекомунікації, електроніки, інформатики (коротко — «телематики») з транспортними технологіями з метою планування, проектування, експлуатації, обслуговування транспортних систем і керування ними [1].

Це з'єднання має на меті підвищення безпеки управління транспортними системами і захист пасажирів, забезпечення надійності перевезень і збереження транспортних засобів та вантажів, поліпшення якості й ефективності функціонування транспортних систем щодо пасажирів і вантажів, раціональне використання природних ресурсів і охорону навколишнього середовища.

Для досягнення цих цілей потрібно: з'єднання знань і технологічних інструментів, властивих транспортних систем, з процесами, системами і пристроями, призначеними для збору, передачі, аналізу і розподілу інформації та даних між суб'єктами, транспортними системами та вантажами в дорозі, включаючи подальшу передачу даних від них на об'єкти та служби транспортної інфраструктури, а також застосування інформаційних технологій.

Таким чином, застосування засобів ІТС дозволить скоротити витрати енергоресурсів, підвищити ефективність перевезень та їх безпеку, поліпшити захист навколишнього середовища [1, 2]. Цим обґрунтовується актуальність проведеного дослідження.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є система погодного моніторингу на магістральних автомобільних дорогах.

Відомо, що погодно-кліматичні фактори безпосередньо впливають на безпеку руху на автомобільних дорогах. Система погодного моніторингу надасть можливість дорожнім службам діяти на випередження, а не на ліквідацію будь-яких наслідків: скажімо, ожеледі, слизькості і т. п. явищ. Застосування системи погодного

моніторингу забезпечить ефективність та оперативність прийняття управлінських рішень та ефективність використання бюджетних коштів.

3. Мета роботи та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення безпеки на магістральних автомобільних дорогах за рахунок розробки та впровадження моделі вибору елементів системи погодного моніторингу за багатьма вартісними та функціональними критеріями.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз схеми функціонування ІТС;
- розглянути існуючі моделі і методи синтезу системи погодного моніторингу;
- розробити математичну модель вибору елементів системи погодного моніторингу.

4. Аналіз літературних даних

Параметри впливу навколишнього середовища в зимовий період, як окрема система, розглядаються в роботі [3]. Зимове утримання викликає багато труднощів [4]. Для оперативного врахування впливу метеорологічних факторів у ряді досліджень пропонується широке використання метеосервісу [5]. Інформація, що одержуються в автоматичному режимі з метеодатчиків, дозволяє оперативно приймати рішення про необхідні дії на конкретній ділянці дороги [1].

Системи інформування дорожників при зимових погодних умовах і прогнозування утворення ожеледі існують в Європі більше 30 років [6]. В роботі [7] виділено найбільш важливі фактори, які чинять негативний вплив на дорожнє покриття у зимовий період: температура, кількість снігу і умови утворення ожеледі. У США діє системи планування превентивних заходів зимового утримання автомагістралей [8].

Таким чином, поняття «інтелектуальні транспортні системи» дуже широке. У великих містах — це комплекси

відеокамер, які передають інформацію про дорожній рух по вуличній мережі в центр управління, звідки, на підставі цієї інформації, диспетчера керують світлофорами для недопущення утворення заторів на автомобільних дорогах. Поза населених пунктів основною інформацією є стан покриття автомобільної дороги та прогноз погоди. Для отримання такої інформації, на проблемних ділянках автомобільних доріг, встановлюють компактні дорожні метеостанції, обладнані датчиками температури повітря та температури покриття дороги, напрямку та сили вітру, вологості повітря [2].

Інформація, отримана по GPS каналах, від дорожніх метеостанцій допомагає працівникам дорожньої служби оперативно і правильно реагувати на всілякі зміни погоди. У нашій країні такі метеосистеми успішно функціонують на дорогах державного значення Дніпропетровської області, на гірських перевалах Карпат та на автомобільній дорозі М-03 на ділянці між Києвом і Борисполем, причому на цій дорозі додатково встановлено електронні інформаційні панно, на які виводиться інформація про стан дороги для водіїв, які проїжджають по цій дорозі [2].

У Миколаївській області запущений пілотний проект зі створення інтернет-ресурсу, на якому буде міститися інформація про стан автомобільних доріг області, наявності вздовж автодоріг АЗС та об'єктів сервісу, а також інша корисна інформація для водіїв. Дані про стан автомобільних доріг області будуть отримані в результаті впровадження геоінформаційних технологій. В перспективі планується розширити зону впровадження сучасних технологій на всю територію України, а сам сайт зробити про всіх автошляхах країни [9].

За кордоном, у США, пішли в цьому питанні ще далі. Проект під назвою Solar Roadways, пропонує перекрити всі автомобільні дороги країни спеціальними плитами, що представляють з себе «розумні» сонячні батареї. Використання величезних площ, які займані автомобільними дорогами, під сонячні елементи, дозволить у подальшому відмовитися від теплових і атомних електростанцій. Дорога, яка перекрита такими плитами підігривається, знижуючи ймовірність обледеніння проїжджої частини в зимовий період, освітлення в нічний час, виводить для водіїв на поверхню проїзної частини, як на екран, інформацію про дорожню обстановку. Додатково, розробники пропонують, розмістити у «сонячному» покритті автодороги такі комунікації, як електричні мережі, зв'язок, кабельне телебачення та доступ до високошвидкісного Інтернету, щоб відмовитися від стовпів і проводів розташованих вздовж автомобільних доріг [1].

Отже, за «інтелектуальними транспортними системами» майбутнє і не варто шкодувати коштів на впровадження сучасних технологій в дорожній галузі, навіть у такій складній економічній ситуації в країні, як зараз [9].

Розглянемо систему погодного моніторингу транспортного потоку. У зимовий період стан дорожнього покриття часто є прямою або непрямою причиною дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Забезпечення умов для безпечної і безперервної руху автомобілів на дорогах у складних погодних умовах — одне з основних завдань у роботі системи регулювання транспортним потоком [2, 10].

Ключовим параметром будь-якої системи визначення дорожніх погодних умов є здатність датчиків, в дорожньому покритті або над ним, з точністю визначати стан дороги. Датчики дорожнього покриття можуть бути встановлені в саме дорожнє покриття або без проникнення збоку або над ним. Ці датчики надають особі, відповідальній за прийняття рішень, ключові параметри, такі як температура дорожнього покриття, стан дорожнього покриття, кількість хімікатів, а також поверхневе тертя або зчеплення. Під час зміни погоди стан дороги також постійно змінюється. Іноді вимір цих змін може бути ускладнений.

Зміна температури всього на один градус може означати різницю між мокрою і обледенілою дорогою. Тому за допомогою таких датчиків можна відслідковувати стан дорожнього покриття і заздалегідь попереджати водіїв про небезпеку на дорожніх ділянках.

5. Матеріали та методи дослідження

Інформаційні системи дають споживачам можливість не тільки бути в курсі метеорологічних умов (яка стоїть погода, в кінці кінців можна зрозуміти і виглянувши з вікна), але і вчасно дізнатися прогноз на майбутнє, в результаті чого вибір транспортного засобу можна зробити усвідомлено і з більшою часткою впевненості. Системи динамічного регулювання транспортним потіком дозволяють постійно, в автоматичному режимі, отримувати інформацію про стан руху та погоди і вживати адекватні дії регулюючого характеру для підтримки системи в оптимальному робочому стані. Система допомоги водіям при управлінні транспортним засобом дає можливість споживачу отримувати більш точну і своєчасну інформацію про стан навколишнього середовища та автомобіля, ніж та, яку останній може отримати безпосередньо. Крім того, вона підказує водієві найбільш відповідну манеру водіння як з точки зору безпеки, так і з точки зору ефективності витрати палива і, отже, викидів в атмосферу (так зване еководіння).

Загальна схема функціонування інтелектуальних транспортних систем являє собою циклічну структуру, властиву системам контролю та складається із (рис. 1):

- датчиків, що забезпечують моніторинг системи в реальному масштабі часу;
- системи обробки даних і розрахунку відповідних дій;
- виконавчих блоків, що відповідають за регулювання функціонуєючої системи та впорядкування інформації для споживачів;
- системи зв'язку, завдяки якій відбувається передача інформації від одного компонента до іншого (рис. 1).

Система моніторингу складається з блоків прийому інформації й є вертикальною по відношенню до структури «датчики — зв'язок — обробка», оскільки крім датчиків збору даних про рух і навколишнього середовища і системи їх передачі вона включає в себе системи зберігання раніше створених баз даних і спостережень [1, 10].

Інтелектуальним модулем ІТС є система підтримки прийняття рішень (прийняте скорочення СППР — DSS — Decision Support System), яка виробляє рекомендації і впорядковує інформацію, яка підлягає передачі оператору або користувачам.

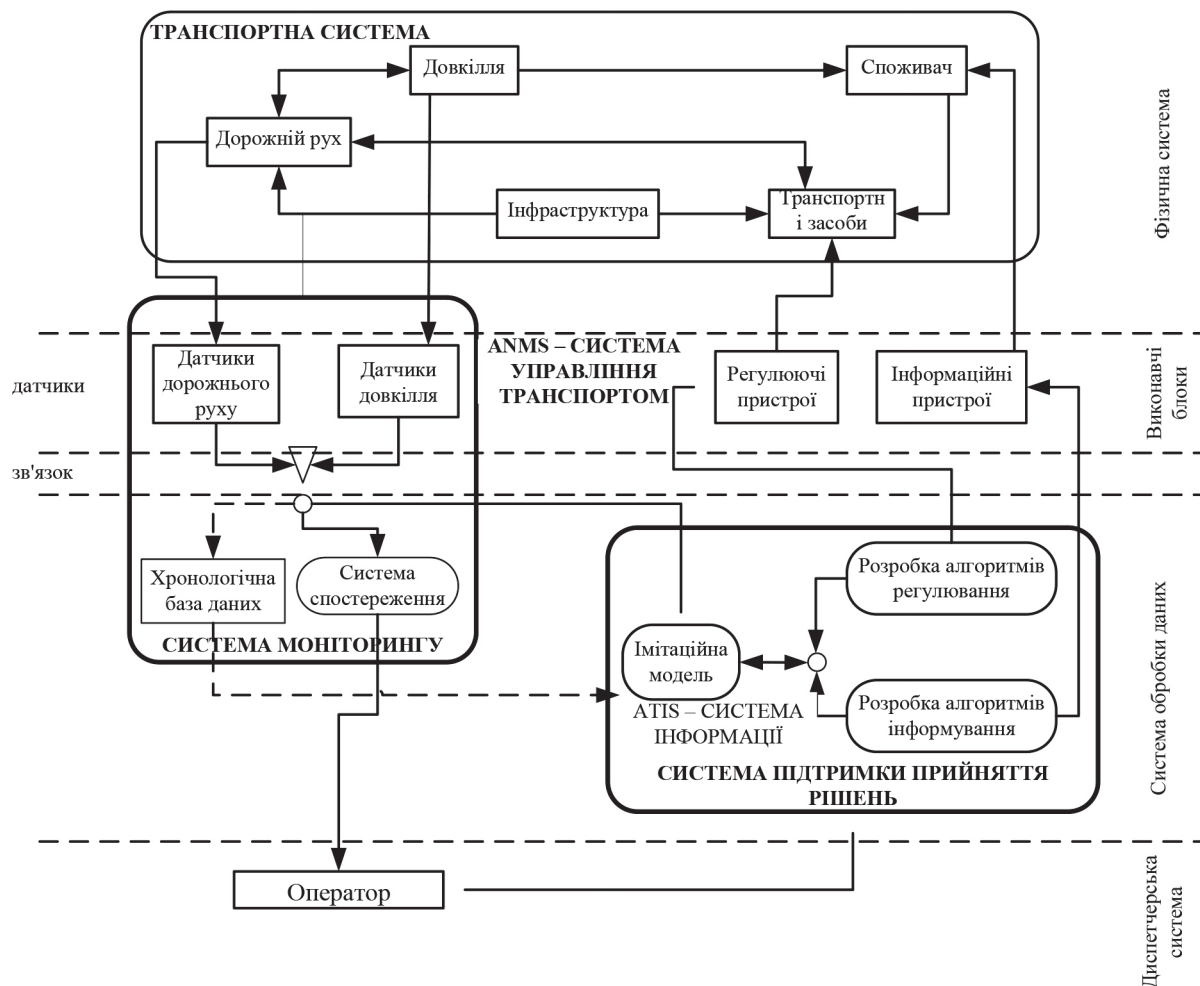


Рис. 1. Загальна схема функціонування інтелектуальних транспортних систем

Вплив системи контролю на фактичну ситуацію здійснюється з допомогою систем управління (ATMS) та інформації (ATIS), які також є вертикально орієнтованими по відношенню до структури «обробка – зв’язок – виконання» і замикають контрольний контур системи обробки. Існуючі взаємні зв’язки між регулюванням, характеристиками системи, інформацією і вибором споживачів вимагають постійної взаємодії між моделюванням стану системи і виробленням стратегічних рішень щодо регулювання та інформації [2].

Якщо ці підсистеми працюють в рамках особистого, вантажного або громадського транспорту, то мову можна вести о високотехнологічних системах управління автотранспортним парком (AFMS – Advanced Fleet Management System) або високотехнологічних системах громадського транспорту (APTS – Advanced Public Transport System) відповідно. У цьому разі міняються порядок функціонування систем регулювання і тип даних, які зібрані системою моніторингу. Проте загальна схема залишається незмінною. Природно, що внаслідок переходу на інші галузі транспорту відбувається зміна діючих суб’єктів.

Запропонована схема носить загальний характер. В інших областях застосування ряду компонентів або частини взаємозв’язків може бути відсутнім. Деякі системи мають на увазі під собою використання тільки функцій регулювання (наприклад, світлофорні системи, що працюють в залежності від щільності транспортного

поток) без взаємодії з інформаційною системою, яка в цьому випадку може не бути.

Високотехнологічні системи підтримки (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems) зазвичай мають на увазі взаємодію з водієм, що виступає у цьому випадку в ролі і користувача, та оператора. У банальних ситуаціях інформаційні алгоритми полягають в простому повідомленні про стан автомобіля або про дії, початому системою контролю [2, 9–11].

В даний час дорожні датчики знайшли широке застосування на дорогах для вимірювання швидкості руху потоку автомобілів, вимірювання метеорологічних умов і стану дорожнього покриття. При цьому особливо важливим є вибір таких датчиків для забезпечення безпечних умов руху.

6. Результати дослідження та їх обговорення

Розглянемо математичну модель визначення елементів системи погодного моніторингу для ділянки автомобільної дороги.

Введемо наступні позначення: витрати $C(D_{ij}, M_{ab})$ на елементи системи погодного моніторингу; C_{ij}^* – вартість i -го типу j -виду датчику; C_{ab}^{**} – вартість a -го типу b -виду метеостанції; дальність вимірювання $I(D_{ij}, M_{ab})$ елементів системи погодного моніторингу; I_{ij}^* – дальність вимірювання i -го типу j -виду датчику; I_{ab}^{**} – дальність вимірювання a -го типу b -виду метеостанції.

Математична модель складається з наступних критеріїв:
 — мінімальні витрати на елементи системи погодного моніторингу (грн.):

$$C(D_{ij}, M_{ab}) = \min[\sum_{i=1}^{i'} \sum_{j=1}^{j'} C_{ij}^* D_{ij} + \sum_{a=1}^{a'} \sum_{b=1}^{b'} C_{ab}^* M_{ab}]; \quad (1)$$

— максимальна дальність вимірювання елементів системи погодного моніторингу:

$$I(D_{ij}, M_{ab}) = \max[\sum_{i=1}^{i'} \sum_{j=1}^{j'} I_{ij}^* D_{ij} + \sum_{a=1}^{a'} \sum_{b=1}^{b'} I_{ab}^* M_{ab}]. \quad (2)$$

Для моделі можна використати наступні обмеження:
 — витрати на дорожні датчики не повинні перевищувати задані C_z^* :

$$\sum_{i=1}^{i'} \sum_{j=1}^{j'} C_{ij}^* D_{ij} \leq C_z^*; \quad (3)$$

— витрати на метеостанції не повинні перевищувати задані C_z^{**} :

$$\sum_{i=1}^{i'} \sum_{j=1}^{j'} C_{ij}^* D_{ij} \leq C_z^{**}; \quad (4)$$

— показник дальності вимірювання датчиків системи погодного моніторингу не повинен бути нижче I_z^* :

$$\sum_{i=1}^{i'} \sum_{j=1}^{j'} I_{ij}^* D_{ij} \geq I_z^*; \quad (5)$$

— показник дальності вимірювання метеостанцій системи погодного моніторингу не повинен бути нижче I_z^{**} :

$$\sum_{a=1}^{a'} \sum_{b=1}^{b'} I_{ab}^* M_{ab} \geq I_z^{**}; \quad (6)$$

— точність вимірювання датчиків системи погодного моніторингу не повинна бути нижче T_z^* :

$$\sum_{i=1}^{i'} \sum_{j=1}^{j'} T_{ij}^* D_{ij} \geq T_z^*; \quad (7)$$

— точність вимірювання метеостанцій системи погодного моніторингу не повинна бути нижче T_z^{**} :

$$\sum_{a=1}^{a'} \sum_{b=1}^{b'} T_{ab}^* M_{ab} \geq T_z^{**}; \quad (8)$$

— позитивність та дискретність змінних:

$$M_{ab} = \{0;1\}, D_{ij} = \{0;1\}, \quad (a = \overline{1, a'}; b = \overline{1, b'}; i = \overline{1, i'}; j = \overline{1, j'}). \quad (9)$$

Розроблена модель (1)–(9) відноситься до задач дискретного програмування з булевими змінними, для їх реалізації пропонується використовувати: для задач малої розмірності — повного перебору варіантів; для задач великої розмірності — метод випадкового пошуку [12, 13].

Розглянемо приклад вибору елементів системи погодного моніторингу для автомобільної траси Київ — Житомир — Львів — Чоп (табл. 1). Траса має протяжність 849 км (друга по довжині в країні) і першу категорію, тобто 4–6 смуг для руху. Окружна дорога міста Житомир хоч і звужується до двох смуг, але має відмінну якість асфальтобетонного покриття. Можуть бути проблеми, тільки взимку, на перевалі (відрізок 227 + 875 км).

Таблиця 1

Характеристики елементів системи погодного моніторингу

Найменування	Вартість	Дальність вимірювання	Точність вимірювання
Мобільний дорожній датчик Luft MARWIS	12000	200	±15 %
Датчик стану дорожнього покриття, пасивний IRS 31-UMB	13500	500	±10 %
Vaisala DSC111	17000	2000	±10 %
Vaisala DST111	27000	20000	±10 %
MARWIS-UMB Mobile Sensor	13000	200	±1,5 °C
Автоматична метеостанція Vaisala WXT520	19500	20000	±5 %

Для проведення вибору на першому етапі експертами були визначені коефіцієнти вагомості критеріїв [13].

На наступному етапі, вибір проводиться методом повного перебору варіантів за узагальненим критерієм максимальної адитивної корисності (табл. 2) [13]. За результатами проведеного вибору обрано автоматичну метеостанцію WXT520.

Таблиця 2

Приклад вибору елементів системи погодного моніторингу

Найменування	Вартість	Дальність вимірювання	Точність вимірювання, ± %	Узагальнений критерій
Мобільний дорожній датчик Luft MARWIS	12000	200	15	0,600
Датчик стану дорожнього покриття, пасивний IRS 31-UMB	13500	500	10	0,466
Vaisala DSC111	17000	2000	10	0,434
Vaisala DST111	27000	20000	10	0,689
MARWIS-UMB Mobile Sensor	13000	200	1,5	0,280
Автоматична метеостанція Vaisala WXT520	19500	20000	5	0,728

Автономна метеостанція на основі перетворювача метеопараметрів WXT520 фірми Vaisala являє собою компактний прилад, що не має механічну інформацію о шести метеопараметрах: швидкість і напрямку вітру, опади, атмосферний тиск, температура та відносна вологість повітря. Для зв'язку з комп'ютером або модемом є інтерфейси: USB, RS232 і RS485. У розглянутому

варіанті системи доцільно використовувати технологію передачі даних CSD як більш надійну та просту.

7. Висновки

В роботі проведено:

Аналіз підходів і методів синтезу інтелектуальних транспортних систем. Впровадження інтелектуальних транспортних систем дозволить підвищити безпеку управління транспортними потоками, забезпечить надійність перевезень і збереження транспортних засобів і вантажів, поліпшити охорону навколишнього середовища.

Розроблено математичну модель вибору елементів системи погодного моніторингу, яка дозволяє приймати ефективні рішення в залежності від багатьох функціональних та вартісних критеріїв і обмежень.

Реалізовано багатокритеріальну модель вибору елементів системи погодного моніторингу. Перспективою подальшого дослідження є розробка програмного забезпечення, яке дозволить автоматизувати процес синтезу інтелектуальних транспортних систем.

Література

1. Кьяра, Б. Д. ИТС на автомобильном транспорте. Технологии, методы и практика применения [Текст] / Б. Д. Кьяра, Д. Н. Бифулько; под ред. А. Е. Гореев. — М.: ООО «Топография Парадиз», 2014. — 532 с.
2. Корнеев, Н. В. Концепция разработки и создания интеллектуальных человеко-машинных систем управления на транспорте [Текст] / Н. В. Корнеев // Машиностроитель. — 2009. — № 12. — С. 37–40.
3. Самодурова, Т. В. Моделирование состояния дорожного покрытия в зимний период [Текст] / Т. В. Самодурова, Е. Н. Тропынин // Дороги и мосты. — 2009. — № 2. — С. 137–148.
4. Bennett, F. L. Roadway management in cold regions: a summary of Scandinavia practice [Text] / F. L. Bennett // Cold Regions Engineering. A Global Perspective: Specialty Conference, Edmonton, March 7–9, 1994. — Montreal, 1994. — P. 313–329.
5. Шалашов, В. Метеосервис — интеллектуальный помощник [Текст] / В. Шалашов // Автомобильные дороги. — 2008. — № 11. — С. 108.
6. Kutter, M. StraBenzustands- und Wetter informations system-SWIS-beim Landschaftsverb and Westfalen-Lippe [Text] / M. Kutter, L. Niebrügge // StraBe und Autobahn. — 1989. — № 1. — P. 7–10.
7. Mannel, R. Kein Angst vor Schnee und Eis [Text] / R. Mannel // Stahlmarkt. — 1993. — № 12. — P. 37–40.
8. Smithson, L. Preserving and maintaining the highway system: New tools and strategies [Text] / L. Smithson // TR News. — 1997. — № 188. — P. 20–26.
9. Нагорний, Є. В. Методика оцінки ефективності створення транспортно-вантажних комплексів в Дніпропетровському транспортному вузлі [Текст] / Є. В. Нагорний, А. М. Окоороков // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. — 2012. — № 3. — С. 73–76.
10. Кисуленко, Б. В. Интеллектуальные системы безопасности автомобилей [Текст] / Б. В. Кисуленко, А. В. Бочаров // Автомобильная промышленность. — 2008. — № 3. — С. 16–18.
11. Холинг, К. С. Экологические системы. Адаптивная оценка и управление [Текст]: пер. с англ. / К. С. Холинг, А. Д. Базыкин, П. Брунелл и др. — М.: Мир, 1981. — 451 с.
12. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход [Текст] / В. Д. Ногин. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 362 с.
13. Петров, Е. Г. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах [Текст] / Е. Г. Петров, М. В. Ножилова, І. В. Гребенник. — К.: Техніка, 2004. — 256 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПОГОДНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОДОРОГ

В работе проведен анализ подходов и методов синтеза интеллектуальных транспортных систем. Для оперативного учета влияния метеорологических факторов необходимо использовать системы метеорологического сервиса, что позволит оперативно принимать решения о необходимых действиях на конкретном участке дороги. Разработана многокритериальная математическая модель выбора элементов системы погодного мониторинга для магистральных автодорог. Рассмотрен пример выбора элементов системы погодного мониторинга.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, погодный мониторинг, математическая модель, многокритериальность.

Філь Наталія Юрївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, e-mail: fil_nu@mail.ru.

Филь Наталья Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина.

Fil' Nataliya, Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine, e-mail: fil_nu@mail.ru