

**ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА, РОЗВИТОК МЕРЕЖІ
ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕКОМОБІЛІВ. ІНФОРМАЦІЙНО-
КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ**

УДК 656.1:681.5.004.94

**КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
ДОРОЖНІМ РУХОМ**

Є.В. Нагорний, професор, д.т.н., Л.С. Абрамова, доцент, к.т.н., ХНАДУ

***Анотація.** Рівень соціальної та екологічної безпеки учасників дорожнього руху та ефективність транспортного процесу у певній мірі визначаються якістю управління дорожнім рухом, що залежить від основ проектування систем управління. У статті надається сформований підхід до проектування на підставі аналізу типів структур, функцій та методів управління дорожнім рухом у містах.*

***Ключові слова:** система управління дорожнім рухом, архітектура систем управління, рівні управління, методологічні основи проектування систем.*

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н., Л.С. Абрамова, доцент, к.т.н., ХНАДУ

***Аннотация.** Уровень социальной и экологической безопасности участников дорожного движения и эффективность транспортного процесса в определенной степени определяются качеством управления дорожным движением, которое зависит от основ проектирования систем управления. В статье предлагается системный подход к проектированию на основе анализа типов структур, совокупности методов и функций управления дорожным движением в городах.*

***Ключевые слова:** система управления дорожным движением, архитектура систем управления, уровни управления, методологические основы проектирования систем.*

CONCEPTUAL APPROACH TO THE TRAFFIC CONTROL SYSTEMS DESIGN

**Ye. Nagorny, professor, dr. eng. sc.,
L.Abramova, assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU**

***Abstract.** The level of social and environmental safety of road users and the efficiency of the transport process are largely determined by the quality of traffic management, which depends on the basics of control systems designing. The article suggests a systematic approach to design based on the analysis of structures types, the totality of methods and functions of traffic management in cities.*

***Keywords:** traffic management system, management system architecture, management levels, methodological basis of system design.*

Вступ

Зміна мобільності пересувальників, що пов'язана із збільшенням за останні роки кількості транспортних засобів, призвела до підвищення

навантаження на транспортну систему та навколишнє середовище. Зростаючу потребу у вдосконаленні умов пересування неможна повністю задовольнити (ні у населених пунктах, ні за їх межами) тільки створенням но-

вих шляхів сполучення або проведенням інших будівельних заходів. Для виходу із ситуації сьогодення необхідно впровадження цілого комплексу заходів з організації та управління дорожнім рухом (ДР). Системи управління дорожнім рухом (СУДР) формують новий підхід до управління дорожнім рухом, реалізують відповідні технології управління та усувають недоліки функціонування транспортної мережі міст. В даний час СУДР, що існують в містах України в більшості випадків відносяться до першого та другого покоління систем, внаслідок чого вони практично не здійснюють істотний вплив на управління транспортними потоками і не сприяють уникненню заторових ситуацій на вулично-дорожній мережі міст та підвищенню безпеки дорожнього руху.

Вирішенню означених проблем був присвячений Перший міжнародний конгрес з питань реформування системи управління безпеки дорожнього руху (22-23 червня 2017 р., м. Київ), де у проекті Плану заходів щодо реалізації стратегії підвищення безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року серед першочергових завдань є планування заходів, які повинні бути направлені на впровадження систем управління безпекою дорожнього руху у містах країни.

Постановка та мета дослідження

Необхідність впровадження сучасних систем управління дорожнім рухом у містах нашої

країни впливає на доцільність їх проектування на підставі реалізації методологічного підходу до визначення технологій управління та архітектури систем, метою функціонування яких є підвищення пропускної спроможності транспортної мережі міст при досягненні необхідного рівня соціальної та екологічної безпеки учасників дорожнього руху. Надаємо опис концептуального підходу до розробки та впровадження систем управління дорожнім рухом у містах з методологічних позицій проектування систем управління складними об'єктами.

Аналіз публікацій

Побудова узагальненої моделі структури та процесу функціонування складної системи є обов'язковим етапом будь-якого теоретико-операційного дослідження [1] та передбачає:

- побудову моделі системи з описом (у тому числі і математичним) мети, процесу та результатів проведення дослідження;
- опис дій, що можуть привести до досягнення мети найкращими засобами;
- оцінку та порівняння ефективності конкуруючих дій на підставі заданих цілей;
- розробку алгоритмів оптимальних керуючих дій та математичних методів їх пошуку.

Тому вибір архітектури автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУДР) залежить від апріорно сформованих функціональних вимог. Взаємозв'язок елементів архітектури АСУДР наведено на рис. 1.

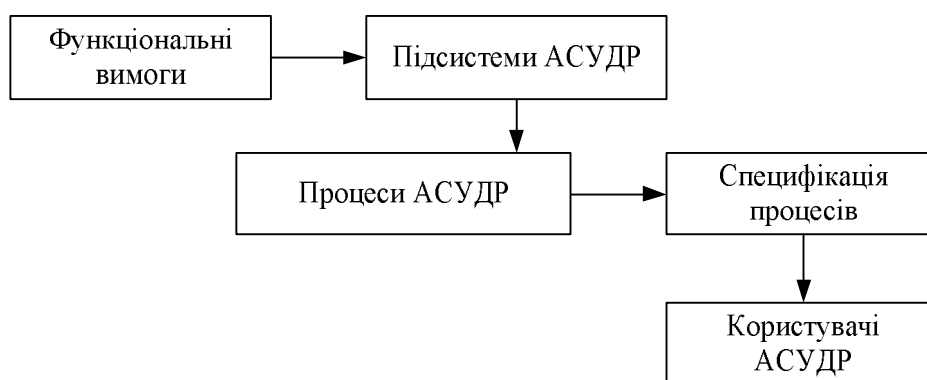


Рис. 1 – Взаємозв'язки елементів архітектури

Тобто, архітектура АСУДР містить: функціональні вимоги до системи; технічне обладнання; підсистеми; процеси; процесорні ролі людей; внутрішні та зовнішні потоки інформації.

Такий повний набір елементів для реалізації АСУДР у повному обсязі або частково дозволяє створити основу для інтеграції з існуючими елементами транспортних систем міст або логістичними центрами.

На підставі проведеного аналізу основ сис-

тем управління дорожнім рухом визначено, що автоматизовані системи управління дорожнім рухом за своєю структурою, розподіляються в залежності від призначення, складу та розташування елементів для реалізації функцій управління на децентралізовані, централізовані та ієрархічні системи [2], але усі типи структури мають певні недоліки та обмеження при функціонуванні.

В дійсний час у світовій практиці в складі адаптивних систем управління дорожнім рухом (АСУДР) найбільш поширені наступні

технології управління транспортними потоками [3]:

- 1) технологія управління за фіксованими планами (координоване управління);
- 2) технологія мережевого адаптивного управління;
- 3) технологія ситуаційного управління.

Відомі системи, що реалізують зазначені технології управління та мають централізовану і децентралізовану архітектуру, наведені в таблиці 1 [4].

Таблиця 1 – Результати аналізу відомих систем управління

Технологія управління	Архітектура системи	Постачальник	Продукт МО
UTOPIA	децентралізована	MIZAR	UTOPIA
UTOPIA	децентралізована	Peek Traffic BV	UTOPIA
SCOOT	централізована	Siemens	TMS/COMET
SCOOT	централізована	Peek Traffic BV	TMS
SCOOT	централізована	TRL Limited	TMS
SCATS	централізована	TyCo	RTA – TMC
BALANCE	централізована	GEVAS	BALANCE
MOTION	централізована	Siemens	SiTraffic/Scala
ITACA	централізована	Telvent	ITACA
ROSE	децентралізована	Imtech Traffic & Infra / Peek Traffic BV	ImFlow

Розглянуті системи належать до різних поколінь СУДР. До систем останнього четвертого покоління належать системи SCOOT, UTOPIA, ITACA, ROSE, BALANCE, які за архітектурою поділяються, в свою чергу, на централізовані і децентралізовані.

З методологічної точки зору наведені системи реалізують технологію сітьового адаптивного управління та мають багато спільного в частині принципів підходів до визначення параметрів регулювання: вони передбачають розрахунок базових значень параметрів ТП в реальному часі з їх подальшим уточненням і використовують імітаційні моделі TRANSYT або OPTIMA – пакети для прогнозу транспортної ситуації і оцінки варіантів її розвитку.

Для порівняльного аналізу систем пропонується розглянути технології SCOOT і UTOPIA, як найбільш поширені у світі АСУДР з різними архітектурними рішеннями.

В основі функціонування децентралізованої системи UTOPIA лежить принцип обміну даними безпосередньо між контролерами

сусідніх перехресть. Детектори транспорту підключені безпосередньо до дорожнього контролеру та доповнюють параметри ТП на сусідніх перехрестях. Крім установки програмного комплексу керуючого центру, в периферійні дорожні контролери встановлюється спеціальний блок SPOT, вироблений MIZAR і є периферійною частиною системи UTOPIA. Цей блок щомиті взаємодіє з дорожнім контролером, забираючи дані його детекторів і директивно задаючи стан сигнальних груп, а також забезпечує пріоритет громадського транспорту. При цьому сам дорожній контролер власної логіки управління не має. Якість розрахунків програм координації або локальних режимів світлофорного регулювання (в порівнянні з централізованою системою) є сумнівним, оскільки кожен контролер здатний об'єднати зв'язками обмежену кількість суміжних перехресть. UTOPIA працює на базі транспортної моделі.

В процесі роботи централізованої системи з використанням моделі SCOOT (матеріали компанії ImtechPEEK, 2011), система централізовано отримує інформацію про параметри транспортних потоків (ТП) безпосередньо від детекторів та визначає час функціонуван-

ня детектора для кожного перегону. Далі моделюється рух автомобілів по перегону при середній швидкості руху на даний час доби і їх приєднання до черги (якщо така є). Факт від'їзду АТЗ встановлюється детекторами, що стоять на виході з перехрестя.

Основи розподілення функцій управління дорожнім рухом у містах

Результати проведеного аналізу дозволяють стверджувати, що сучасне проектування систем автоматичного або автоматизованого управління характеризується етапом переходу до багатопараметричних та багатооб'єктних систем управління, які мають централізовану структуру із елементами децентралізації функцій управління, тобто наявність ієрархічної структури системи. Це пов'язано із появою задач, у яких оптимальне локальне управління транспортним потоком впливає на зниження показників ефективності функціонування транспортної мережі у цілому, а застосування централізованих засобів управління недоцільно за вартістю та трудомісткістю реалізації управління дорожнім рухом у містах. Підвищити ефективність управління ДР можливо за умови застосування тільки децентралізації управління ДР, але у такому разі існує проблема неузгодженості управління по транспортній мережі у

цілому. Тому виникає необхідність реалізації раціонального розподілу функцій управління для багатофункціональних автоматизованих систем управління. Це стосується планування роботи системи загалом, вибору технології управління та визначення методів формування керуючих впливів, моделювання параметрів дорожнього руху та прийняття рішень щодо зміни режимів руху, або схеми організації дорожнім рухом (ОДР). Комплексне вирішення означених проблем дозволить розробити системи управління ДР наступного покоління на відміну від існуючих у містах країни.

Розроблено концепцію багаторівневості управління, що заснована на розподілі функцій систем управління структурно-складного об'єкта та складається з набору взаємозалежних підсистем - LSS (largescalesystem). Основними методами дослідження подібних систем є декомпозиція і агрегування [5], що дозволяє розглядати з єдиних позицій вулично-дорожню мережу різних розмірів з наявними варіантами ОДР.

Загальну структуру АСУДР ієрархічного типу із визначеними рівнями управління наведено на рис. 2. Структура відображає процес виконання функцій при їх розподіленні по відповідним рівням управління.

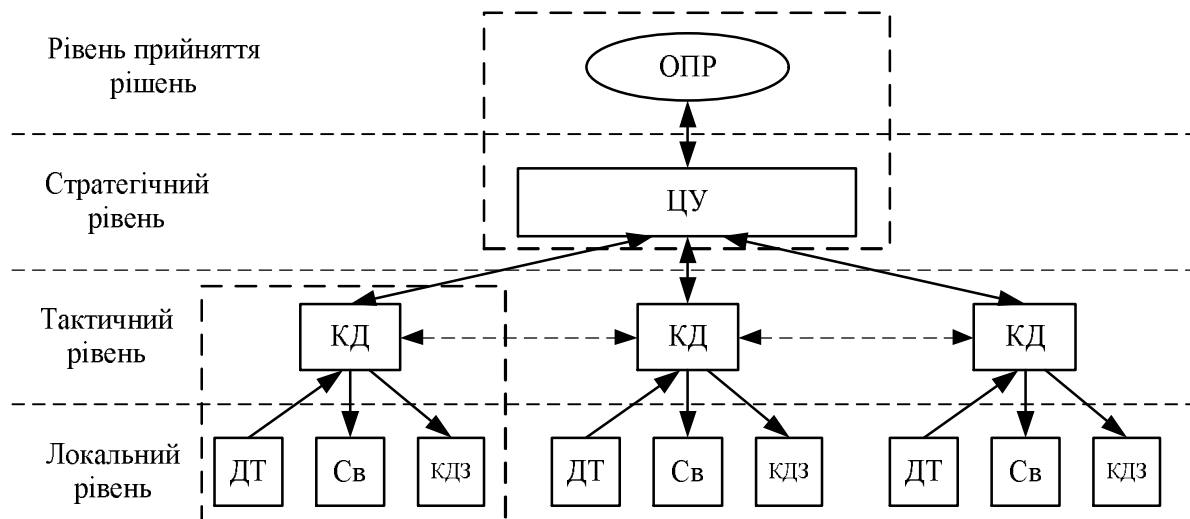


Рис. 2 – Ієрархічна структура системи управління дорожнім рухом

Найважливішим принципом організації сучасних АСУДР є наявність в них декількох рівнів управління, що знаходяться в ієрархічному співвідношенні між собою. Пропонуємо виділити такі рівні управління: стратегічний, що містить центр управління (ЦУ), тактичний поєднує контролери дорожні (КД), локальний, до якого належать виконавчі пристрої системи – детектори транспорту (ДТ), світлофори (Св) і керовані дорожні знаки (КДЗ) та рівень прийняття рішень, який формує колектив, що приймає рішення (ОПР).

тичний поєднує контролери дорожні (КД), локальний, до якого належать виконавчі пристрої системи – детектори транспорту (ДТ), світлофори (Св) і керовані дорожні знаки (КДЗ) та рівень прийняття рішень, який формує колектив, що приймає рішення (ОПР).

Вважаємо доцільним, з точки зору формалізації процесу управління, відповідно до концепції Саймона [6] стосовно «обмеженої раціональності», де пропонується замість поняття «оптимального (тобто найбільш ефективного й раціонально обґрунтованого) рішення, ввести в оберт поняття «задовільного» (satisfying), тобто кращого за деякими критеріями рішення. Це відповідає тому, що у сучасній науці визначений пріоритетний напрям досліджень, згідно до якого інтелектуальність пов'язана із раціональною діяльністю. Такий системний підхід пояснює розвиток інтелектуальних систем управління дорожнім рухом у світовій практиці.

На підставі аналізу пропонується формування відповідної класифікації задач управління дорожнім рухом, де всі завдання управління, з погляду можливості формалізації, розподіляються на три класи:

- 1) добре структуровані або кількісно сформульовані завдання, у яких існуючі залежності з'ясовані й можуть бути виражені кількісно;
- 2) слабо структуровані завдання, що поєднують кількісні і якісні залежності та характеризують маловідомі й невизначені завдання;
- 3) неструктуровані, засновані на судженнях фахівців завдання, що містять лише опис ознак і характеристик, але кількісні залежності між якими невідомі.

Визначення проблеми розподілення задач управління дорожнім рухом пропонуємо вирішити на різних рівнях ієрархічної системи управління. Так, на стратегічному рівні вирішуються завдання добре структуровані, на тактичному і локальному існують завдання неструктуровані із невизначеними кількісними залежностями ускладненого режиму руху транспортного потоку у містах, а завдання рівня прийняття рішень стосовно вибору керуючих впливів на дорожній рух відносяться до слабо структурованих завдань управління.

Було виявлено, що важливою особливістю функціонування СУДР є поєднання в рамках однієї системи управління результатів математичного моделювання й обробки даних з використанням імітаційних моделей визначення параметрів управління, що значно ускладнює процес проектування СУДР.

Цей факт підтверджує доцільність розглядання СУДР як багаторівневу розподілену систему, у якій кожний рівень вирішує завдання управління певними методами, а результати передає пов'язаним з ним рівням і об'єкту управління безпосередньо.

Результат проведеного аналізу принципів функціонування та виявлення особливостей відомих діючих систем управління дорожнім рухом надають змогу сформулювати концептуальний підхід до проектування розподілених систем управління для підвищення пропускної спроможності транспортної мережі та якості управління дорожнім рухом у містах, який полягає у наступному:

- 1) система управління дорожнім рухом повинна мати ієрархічну структуру із частковою децентралізацією управління, що буде сприяти виконанню задач управління у повному обсязі за рахунок формування на верхніх рівнях вимог та обмежень для задач нижчих рівнів;
- 2) структура системи повинна мати коректно сформовані рівні управління із відповідним математичним описом та технічними засобами для вирішення відповідних задач;
- 3) рівень прийняття рішень необхідно відокремити від центру управління та надати йому пріоритет по відношенню до інших рівнів;
- 4) методика проектування повинна враховувати різні режими функціонування системи управління (від локального управління до системного) при наявності показників ефективності дорожнього руху та/або якості управління, навіть коли вони знаходяться у протиріччі із загальними критеріями ефективності системи;
- 5) в процесі проектування необхідно враховувати ступінь невизначеності параметрів дорожнього руху шляхом визначення часових інтервалів їх зміни на підставі методів прогнозування;
- 6) наявність ознак багатопараметричності та багатокритеріальності у процесі дорожнього руху припускає існування сукупності методів управління, що впливають на розробку програмних продуктів, але сукупність технічного забезпечення (дорожні контролери, детектори транспорту, технічні засоби регулювання) залишається незмінною. Синтез функціональних та організаційних заходів має теоретичний характер, тому методологічні підходи до проектування повинні пов'язувати у систему технічне, математичне та організаційне

забезпечення системи управління;

7) на підставі аналізу функцій систем управління та наявності динамічних властивостей зміни параметрів дорожнього руху необхідно розподілити методи автоматичного регулювання (САР) та автоматичного управління (САУ) дорожнім рухом шляхом декомпозиції та агрегування за відповідними рівнями управління;

8) система управління дорожнім рухом повинна бути адаптованою до змін параметрів транспортних потоків у режимі реального часу, що визначає її тип як автоматичної системи та належність до інтелектуальних систем управління, але на початку функціонування в умовах невизначеності параметрів об'єкту управління та зовнішніх збурень має ознаки робастної, що підкреслює актуальність методів синтезу робастних оптимальних систем на етапі проектування автоматизованих систем управління дорожнім рухом.

На підставі розробленої концепції наведемо чотири рівня управління, що були виділені (рис. 3) у ієрархічній структурі АСУДР [7].

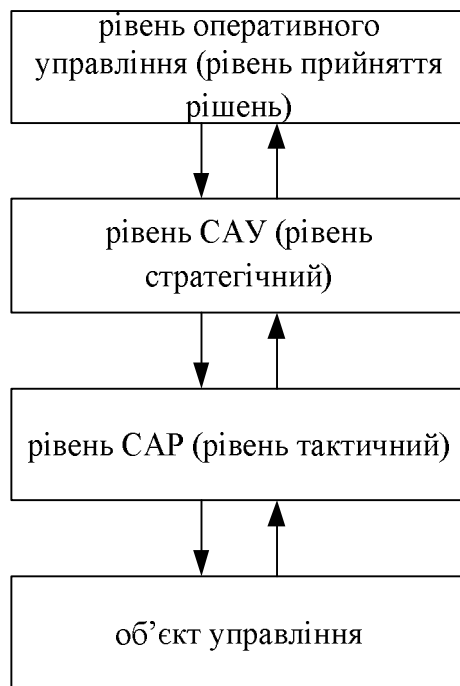


Рис. 3 – Рівні управління в системах управління

Необхідно відмітити, що об'єкт управління, а саме дорожній рух, відноситься до структурно-складних об'єктів великої розмірності та може мати відмінність генеральних цілей управління від цілей функціонування елементів системи із урахуванням існуючих про-

тиріч в моделях зміни параметрів ТП при зміні параметрів транспортної мережі міст.

Тоді рівень автоматичного регулювання (САР) розглядається як сукупність об'єкта регулювання і регулятора у ланцюзі зворотного зв'язку. Структурні елементи САР належать до класу SISO-систем (Single Input Single Output) із зосередженими постійними параметрами. Вплив середовища й неадекватності відповідних математичних моделей об'єкту управління призводять до того, що функціонування об'єкта відбувається в умовах невизначеності, що проявляється через неузгодженість керуючих впливів на дорожній рух.

САР застосовується для регулювання окремих параметрів об'єкту управління та забезпечує визначення відхилення регульованої величини, або стабілізації, або програмної зміни параметрів об'єкту відповідно із установками, що визначені на вищому рівні. В сучасних системах управління системи автоматичного регулювання існують як підсистеми автоматичного управління (САУ).

Рівень САУ відноситься до класу МІМО - систем (Multiple Input Multiple Output) та призначений для оптимізації параметрів управління, де потрібно враховувати «інтереси» підлеглих оптимізатору підсистем. На цьому рівні повинні бути застосовані сучасні інформаційні та керуючі технології для узгодженого управління роботою локальних регуляторів нижчого рівня.

Рівень оперативного управління містить керуючий орган – колектив фахівців або особа, що приймає рішення (ОПР). На цьому рівні узагальнені цілі та задачі системи управління перетворюються у конкретні установки для нижчих рівнів управління. Даний процес належить до основ функціонування СУДР, тому ОПР повинен мати певний набір рішень щодо розподілу ресурсів системи та напрямку їх застосування для досягнення організаційних узгоджень і мети управління. Відмінності, що існують у типах рішень і складності проблем, що вирішуються, визначають процес прийняття рішень. Відомо [8], що складні системи управління мають 4 рівня прийняття рішень: рутинний, селективний, адаптаційний та інноваційний. Вибір кожного з них визначається окремими вимогами до завдань, що необхідно вирішити та їх пріо-

ритет у процесі управління.

Кращий спосіб забезпечення ефективної роботи цього рівня - застосування «швидких моделей» для нижчих рівнів ієрархії й об'єкта управління. Кращі результати мають місце при повній автоматизації функцій оперативного управління й прийняття рішень, що обумовлено підвищеними вимогами до якості прийнятих рішень і обмеженнями на час рішення та нормальної роботи ОПР. При такому підході відбувається розподіл ресурсів управління між окремими підсистемами управління та прийняття рішень також і у позаштатних ситуаціях [9].

Висновки

Розроблено концептуальні підходи до проектування систем управління дорожнім рухом у містах на підставі визначення переваг розподілення керуючих функцій системи за ієрархічною структурою та визначеними рівнями: рівень прийняття рішень, стратегічний, тактичний та локального управління, що дозволяє ефективно розподілити ресурси управління за певними завданнями для досягнення мети функціонування системи. Синтез функціональних та організаційних заходів має теоретичний характер, тому методологічні підходи до проектування повинні поєднувати у систему технічне, математичне та програмне забезпечення системи управління. Застосування методів автоматичного регулювання на тактичному рівні, а методів автоматичного управління на стратегічному рівні доцільно та обґрунтовано. Відокремлення рівня прийняття рішень із відповідною системою підтримки прийняття рішень, дозволить підвищити швидкість та якість управління дорожнім рухом. Такий підхід можливо реалізувати у системах із ієрархічною структурою, яка повинна бути адаптованою до змін параметрів транспортного потоку у режимі реального часу.

Література

1. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. – М.: «Советское радио», 1976. – 344 с.

2. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом: навч. посібник / Л.С. Абрамова, О.О. Бакуліч. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 184 с.
3. Литвин Е.В., Бурининова О.А. Высокоэффективные решения для управления дорожным движением. Научные публикации МОО «координационный совет по организации дорожного движения» Режим доступа: <http://www.ksodd.ru/bdd/publication/litvin.php>.
4. Петров Е.А., Даниель Вольф. Адаптивная система управления дорожным движением в составе городской интеллектуальной транспортной системы. "Дорожная держава" № 40/2012, С.2-5
5. Дербунович Л.В., Абрамова Л.С. Иерархические структуры систем управления дорожным движением // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. - №31 – с.40 – 48.
6. Дегтярев А.А. Принятие политических решений. – М.: КДЦ, 2004. – С. 93-94
7. Абрамова Л.С., Наглюк И.С. Концепция управления дорожным движением в городах // VII российско-германская конференция по безопасности дорожного движения. г. Санкт-Петербург, 6-7 июня 2014г.
8. Вудкок М., Френсис Д. Раскрепощенный менеджер. Для руководителя – практика: Пер. с англ. – М.: «Дело», 1991. – 320 с.
9. Абрамова Л.С., Капінус С.В. Структуры систем поддержки принятия решений в АСУДД // Материалы науч.-технич. конф. с международным участием «Транспорт, экология – устойчивое развитие», г. Варна, Болгария 2012. с. 282-287.

Рецензент: І.С. Наглюк, професор, д.т.н., ХНАДУ

Стаття надійшла до редакції 20 жовтня 2017 р.