

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

КУЛЬБАШНА НАДІЯ ІВАНІВНА



УДК 656.015.11:656.11

**ЕРГОНОМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ РУХУ НА
СУМІЖНИХ ДІЛЯНКАХ ДОРІГ**

05.01.04 – ергономіка

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Линник Ірина Едуардівна,
Харківський національний
університет міського господарства
імені О. М. Бекетова, професор
кафедри міського будівництва

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
Буров Олександр Юрійович,
Інститут інформаційних технологій і
засобів навчання, провідний
науковий співробітник;

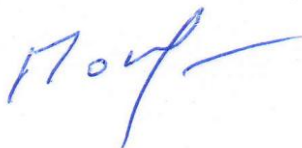
кандидат технічних наук, доктор
технічних наук РФ, професор
Лавров Євген Анатолійович,
Сумський державний університет,
професор кафедри комп'ютерних
наук

Захист відбудеться «15» грудня 2017 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.089.03 при Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова за адресою: 61002 м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова за адресою: 61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

Автореферат розісланий «15» листопада 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Д. П. Понкратов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми досліджень. Трудова діяльність водія в ергатичній системі «водій – автомобіль – дорожнє середовище» характеризується особливостями взаємодії людини-водія з дорожнім середовищем і проявляється в процесі керування автомобілем. Цей процес визначає найістотніші фізіологічні й психофізіологічні характеристики роботи водія. Під час руху ділянками доріг, на яких умови руху різко змінюються, відбуваються фізіологічні зміни в організмі водія, що спричиняє стомлення і, як наслідок, помилкові дії, які призводять до виникнення аварійних ситуацій. Отже, забезпечення необхідних умов руху, які уможливають збереження оптимального рівня перебігу психологічних процесів у водія під час руху дорогою, є актуальним завданням.

Вивчення закономірностей пристосування виробничого середовища водія до особливостей його організму дає змогу підійти до вирішення питання організації умов його роботи з погляду ергономіки. Спрямоване регулювання умов руху шляхом застосування засобів організації руху забезпечує зниження ступеня неузгодженості під час взаємодії водія з дорожнім середовищем, а також умови руху на суміжних ділянках доріг.

Використання відомого методу узгодження суміжних ділянок доріг за швидкостями руху В. Ф. Бабкова забезпечує динамічну плавність руху дорогою. У практиці широко застосовуються методи, що враховують інформаційний вплив середовища на водіїв та механізм впливу заходів психологічного спрямування на швидкості руху, хоча на сьогодні питання забезпечення поступовості перехідних процесів під час руху водія ділянками доріг, де різко змінюються умови руху, залишається невирішеним.

У зв'язку з цим у дисертаційній роботі пропонується вирішити це завдання шляхом узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг.

Зв'язок із науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до базових тверджень «Транспортної стратегії України на період до 2020 року», ухваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 2010 р. № 2174–р; «Концепції Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року», затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 8 серпня 2012 р. № 771; «Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільного транспорту загального користування на 2013–2018 роки», затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 3 вересня 2012 року № 719–р; «Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху до 2016 року», затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 травня 2011 року № 480; науково-дослідних робіт кафедри електричного транспорту Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова: «Розробка технічних засобів, технологічних регламентів та нормативного забезпечення експлуатації електромеханічних систем житлово-комунального господарства» (номер

державної реєстрації 0108U000390); «Вдосконалення систем обслуговування і ремонтів та модернізація технічних засобів міського господарства» (номер державної реєстрації 0114U002790).

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи є розроблення наукового підходу щодо ергономічного забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг в системі «водій – автомобіль – дорожнє середовище».*

Для досягнення визначеної мети в дисертаційній роботі запропоновано вирішити такі *завдання*:

1. Проаналізувати ергономічні аспекти забезпечення умов руху в системі «водій – автомобіль – дорожнє середовище».

2. Сформувати понятійний апарат для ергономічного забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг.

3. Проаналізувати методи ергономічного забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг.

4. Розробити критерії та показники відповідності умов руху вимогам водіїв.

5. Розробити моделі забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг на підставі передавальних функцій, що враховують психофізіологічні характеристики водія та параметри дорожнього середовища.

6. Провести експериментальні дослідження за закономірностями взаємодії водія з дорожнім середовищем, що дають змогу оцінити узгодженість умов руху на суміжних ділянках доріг.

7. Оцінити адекватність математичних моделей.

8. Розробити методики узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг.

Об'єкт дослідження – ергатична система «водій – автомобіль – дорожнє середовище».

Предмет дослідження – закономірності ергономічного забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг.

Методи дослідження. Системний аналіз, що включає психологічні й психофізіологічні методи дослідження щодо оцінювання умов руху на суміжних ділянках доріг; методи теорії інформації щодо розроблення критеріїв забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг; теорія ймовірності і математична статистика щодо обробки даних експерименту та розроблення моделі узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг; методи теорії автоматичного керування щодо побудови передавальних функцій системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище».

Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому.

У дисертаційній роботі *вперше*:

– розроблено науковий підхід щодо узгодження суміжних ділянок доріг за ергономічними критеріями, який базується на узгодженні програм поведінки водіїв. Цей підхід, на відміну від наявних, враховує зв'язок станів і компонентів системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище»;

– встановлено закономірності впливу відносної організації і максимальної ентропії поля сприйняття водія на його функціональний стан, фактичну

швидкість руху й коефіцієнт пригод під час руху у вільному режимі та в колоні. Встановлено оптимальне значення відносної організації поля сприйняття водія і оптимальне значення максимальної ентропії, за яких організм водія перебуває в нормі або в стані функціонального комфорту.

Удосконалено та набули подальшого розвитку моделі забезпечення умов руху за відносною організацією та максимальною ентропією поля сприйняття водія, які дають змогу врахувати психофізіологічні характеристики водія і вплив різноманітних зовнішніх факторів на його діяльність та змодельовати швидкість руху під час в'їзду на наступну ділянку дороги для різних дорожніх ситуацій.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонований науковий підхід щодо узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг за ергономічними критеріями дає змогу оцінити вплив зовнішніх факторів на діяльність водія, що уможливорює моделювання швидкості руху під час в'їзду на наступну ділянку дороги й виїзду з ділянки за різних дорожніх ситуацій, а отже, забезпечує вирішення завдання оптимального облаштування дорожнього середовища і може бути використаний під час розроблення проектів будівництва й реконструкції автомобільних доріг і транспортних мереж міст.

Результати досліджень було застосовано під час розроблення «Містобудівного обґрунтування розташування комплексу об'єктів аеропорту, інженерної інфраструктури та благоустрою території аеропорту «Основа» по вул. Ромашкіна, 1 в Комінтернівському районі м. Харкова» (договір № 32–07 від 01.07.2016 р.) та «Паспортів улаштування земельних ділянок для організації та проведення діяльності по забезпеченню парковок транспортних засобів на території м. Харкова» (договір № 02–12 від 22.02.2016 р.), виконаних проектною фірмою ТОВ «Авуар» м. Харків.

Основні наукові твердження і результати дослідження використано в лекційних курсах та практичній підготовці з дисциплін «Безпека руху та гальмівні системи», «Організація експлуатації міського електротранспорту» для студентів за напрямом підготовки 6.050702 – «Електромеханіка» і слухачів другої вищої освіти спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка», а також дисциплін «Організація та управління на транспорті» для студентів спеціальності 7.05070203 – «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

Особистий внесок здобувача. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 12 наукових статей, із яких одна – у спеціалізованому виданні іноземної держави, дві – у виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз, дев'ять – у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого Департаментом атестації кадрів МОН України (із них дві додатково відображають наукові результати дисертації), та п'ять тез доповідей на наукових конференціях.

Результати досліджень, викладених в дисертаційній роботі, отримані автором особисто, що підтверджується особистими публікаціями з ключових питань роботи [2, 4–6, 8–13, 14, 15, 17].

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в такому: в роботі [1] розроблено динамічну модель впливу відносної організації поля сприйняття водія на швидкості руху; у роботі [3] на підставі передавальної функції системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище» розроблено математичну модель, оцінено адекватність моделі; у роботі [7] розроблено цільову функцію щодо узгодження суміжних ділянок доріг; у роботі [13] на підставі експериментальних даних встановлено критерії оцінювання безпечних умов роботи водія на суміжних ділянках доріг; у роботі [16] визначено закономірності впливу ентропійних характеристик дорожнього середовища на аварійність суміжних ділянок доріг. Результати спільної роботи [13] використано у дисертації Линник І. Е. Теоретичні основи прогнозування еволюції ергономічної системи «водій – транспортний засіб – транспортна мережа – середовище»: дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.04 – «Ергономіка» / Линник Ирина Едуардівна ; Харк. нац. акад. міськ. господарства. – Харків, 2013. – 349 с.

Апробація матеріалів дисертації. Базові твердження і результати досліджень доповідалися на XXXIII, XXXIV, XXXV науково-технічних конференціях викладачів, аспірантів і співробітників Харківської національної академії міського господарства (м. Харків, 11–13 травня 2006 р.; 12–14 травня 2008 р., 21–23 квітня 2010 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху» (м. Харків, 16–17 квітня 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика сучасної науки» (м. Дніпро, 24–25 лютого 2017 р.); VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформатика та системні науки» (м. Полтава, 16–18 березня 2017 р.).

Структура та обсяг роботи. Дисертація містить анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і п'ять додатків. Загальний обсяг роботи становить 177 сторінок, із них 132 основного тексту, 42 рисунка, 9 таблиць і список використаних джерел із 128 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної теми, сформульовано мету та завдання дослідження, розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, відображено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про апробацію і публікацію результатів дослідження.

У першому розділі проаналізовано ергономічні аспекти забезпечення умов руху в системі «водій – автомобіль – дорожнє середовище» (ВАДС).

Поняття «ергономічне забезпечення умов руху» на сьогодні не сформульовано і не є загальноприйнятим. Під ергономічним забезпеченням умов руху в системі ВАДС розуміємо сукупність взаємопов'язаних вимог,

спрямованих на узгодження в цій системі зв'язків і всіх процесів шляхом системної оптимізації умов праці водія.

Створення комфортних умов праці передбачає забезпечення сталого психічного та психологічного стану водія під час руху дорогою зі змінною дорожньою обстановкою. Отже, «ергономічне забезпечення умов руху», відповідно до мети дослідження, необхідно поєднати з поняттям «суміжна ділянка дороги». Запропоновано розглядати суміжні ділянки дороги як такі, які розташовуються поруч і мають спільну межу.

Для оцінки впливу окремих елементів дороги на водія відомі уявлення про розміри й межі ділянок траси широко застосовувалися (В. Ф. Бабков, П. Я. Дзеніс, Б. С. Муртазін, В. В. Новізінец, А. Арслан, І. В. Бегма, Є. С. Тамаревська, В. Ф. Бабков, П. Я. Дзеніс, А. А. Хачатуров, Т. Фритьоф, М. П. Орнатський), але дорожнє середовище включає й безліч інших факторів облаштування. Крім того, чітке позиціонування меж ділянок не уможливорює оцінку стану водія й системи ВАДС загалом і в будь-якій точці дорожнього середовища, зокрема, тому необхідно застосовувати й інші підходи щодо вибору розмірів ділянок дороги. Уявлення про дорогу як сукупність ділянок, довжина яких дорівнює довжині поля сприйняття, є більш доцільнішим для оцінювання умов руху на суміжних ділянках. Ергономічне забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг має становити не тільки внутрішнє й зовнішнє узгодження компонентів ВАДС, але й розробку керівних впливів, спрямованих на оптимізацію визначених завдань.

Щоб забезпечити необхідні умови руху в системі ВАДС, потрібно суміщати або узгоджувати умови руху на суміжних ділянках. Відомі концепції і принципи сумісності й узгодженості людини-оператора в ергатичних (В. В. Павлова, В. Г. Коби, В. Г. Денисова, Г. В. Коренева, О. Ю. Бурова, Є. А. Лаврова) і технічних (В. М. Петрова) системах забезпечують комплексний підхід до оцінювання умов роботи водія. Зазначені концепції і принципи для оцінювання взаємодії водія з дорожнім середовищем використовували в своїх дослідженнях Е. В. Гаврилов, Н. С. Голованенко, М. В. Саркісян та інші вчені. Найоптимальнішим щодо узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг є підхід, що полягає в необхідності організації внутрішніх зв'язків в системі ВАДС, які б забезпечили сумісність умов середовища руху і діяльності водія.

Для оцінювання взаємодії водія з дорожнім середовищем варто використовувати ентропійні характеристики, що забезпечують отримання комплексного результату інформаційного впливу.

У другому розділі розглянуто методи ергономічного забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг.

Аналіз наявних методів забезпечення умов руху на дорогах (В. Ф. Бабков, В. П. Варлашкін, Є. М. Лобанов, Б. С. Муртазін, В. В. Новізенцев, В. В. Суходєєв, Жан-Дун Чжу, Ін-Чжи Лу, В. В. Бегма, П. Я. Дзеніс, Н. П. Орнатський, Є. С. Тамаревська, А. А. Хачатуров, Н. В. Крупа, Е. В. Гаврилов, Н. С. Голованенко) показав, що вони не достатньо оцінюють

вплив усіх факторів дорожньої середовища на водія, не є системними і, а отже, не можуть вважатися базовими для ергономічного забезпечення умов руху.

Ентропійні методи (Е. В. Гаврилов, І. Е. Линник, А. В. Банатов, Л. А. Коваленко, С. Х. Креспо, В. М. Сирота, Т. В. Волобуєва, М. В. Саркісян, С. А. Осташевський) забезпечують вирішення проблеми неоднорідності в системі, враховують інформаційне навантаження не тільки від дороги, але й навколишнього ландшафту, дають змогу дослідити взаємодію водія з дорожнім середовищем, поєднуючись із методами оцінювання функціонального стану водія. Окремо оцінку функціонального стану водія в своїх дослідженнях використовували зарубіжні вчені А. Зарінс, Л. Плакане, С. Рамон, А. Кларіон, А. В. Карел, Д. Ваард, але питання оптимального перебігу психологічних процесів у водія в системі ВАДС, що забезпечують поступовість переходу на ділянку з іншими умовами руху, залишається не вирішеним.

Систему ВАДС, як слідкувальну, за допомогою методів автоматичного регулювання, у яких перехідний процес описується за допомогою передавальних функцій водія-оператора, досліджували такі вчені, як С. А. Осташевський, О. О. Павловська, С. В. Кондаков, А. А. Хачатуров, С. Санял, Р. Госвами, А. О. Діяб, але жодна розроблена модель не дає змоги змодельовати дії водія щодо вибору швидкості руху відповідно до інформації стосовно дорожнього середовища, вплив якої можна було б оцінити комплексним показником. Незважаючи на наявні недоліки, структуровані моделі поведінки водія, запропонованих А. О. Діябом, доцільно вважати базовими для оцінювання швидкості руху, що обумовлюється ентропійними характеристиками дорожнього середовища.

Найоптимальнішою щодо узгодження суміжних ділянок доріг є концепція Е. В. Гаврилова, яка базується на узгодженні програм поведінки водіїв. Ця концепція науково не обґрунтована, тому потребує подальшого вивчення.

У третьому розділі визначено критерії для оцінювання ергономічного забезпечення умов руху, для чого запропоновано використовувати ентропійні характеристики.

Щоб забезпечити необхідні умови руху на ділянках доріг пропонується застосовувати дві схеми: внутрішнього узгодження на підставі критеріїв, що характеризують сумісність дорожнього середовища і діяльності водія, подані у вигляді програм його поведінки, та зовнішнього узгодження, що забезпечується шляхом приведення у відповідність програм поведінки водія на суміжних ділянках.

Процес узгодження суміжних ділянок пропонується здійснювати в два етапи: на першому узгодження відбувається за відносною організацією поля сприйняття водія, на другому – за максимальною ентропією.

Відповідно до першого етапу, програма поведінки на суміжних ділянках дороги розглядається під час руху в колоні, коли координати водія не змінюються і їх можна подати у вигляді таких виразів:

$$V^{(1)} - V_{\Sigma H}^{(1)} = 0; \quad V^{(2)} - V_{\Sigma H}^{(2)} = 0; \quad (1)$$

відповідно другого – вільний режим (рух із обгонами), коли змінюються координати водія. Тоді програми поведінки можна подати за допомогою таких виразів:

$$X^{(1)} - X_{\Sigma H}^{(1)} = 0; \quad X^{(2)} - X_{\Sigma H}^{(2)} = 0, \quad (2)$$

де $X^{(1)}$, $X^{(2)}$ – фактичні відстані від водія до кромки проїзної частини у поперечному перерізі дороги на першій і другій ділянках відповідно; $V^{(1)}$, $V^{(2)}$ – фактичні швидкості руху на першій і другій ділянках відповідно; $X_{\Sigma H}^{(1)}$, $X_{\Sigma H}^{(2)}$ – індивідуальні норми положень водія в поперечному перерізі дороги першої і другої ділянок відповідно; $V_{\Sigma H}^{(1)}$, $V_{\Sigma H}^{(2)}$ – індивідуальні норми швидкостей руху першої і другої ділянок відповідно.

Програми поведінки на суміжних ділянках визначаються за значенням індивідуальної норми швидкості руху, яка встановлюється за формулою:

$$V_{\Sigma H}^{(1)} = \frac{m_1 V_{H1}^{(1)} + m_2 V_{H2}^{(1)}}{m_1 + m_2}, \quad (3)$$

де $V_{\Sigma H}^{(1)}$ – індивідуальна норма швидкості руху; $V_{H1}^{(1)}$, $V_{H2}^{(1)}$ – функціональні норми швидкості руху для мотивів безпеки руху та мотиву свободи дій водія на першій і другій ділянках; m_1 , m_2 – жорсткості норм $V_{H1}^{(1)}$ і $V_{H2}^{(1)}$ відповідно.

Рівняння (3) доводить, що індивідуальна норма швидкості руху може бути подана через норми швидкості руху для мотивів безпеки руху та мотиву свободи дій водія, і навпаки. Під час вільного руху з обгонами при $H_m \neq const$ функціональні норми швидкості руху для мотивів безпеки руху та свободи дій водія визначають так:

$$V_{H2}^{(1)} = \frac{2}{3} V_{mT}; \quad V_{H1}^{(1)} = \frac{V_{H2}^{(1)}}{2} \left[2 - \frac{H_m^{(1)} - H_{mc}^{(1)}}{H_{mk}^{(1)} - H_{m0}^{(1)}} \right], \quad (4)$$

де V_{mT} – максимально можлива швидкість руху автомобіля в еталонних умовах; $H_{mc}^{(1)}$ – максимальна ентропія поля сприйняття водія в разі відсутності транспортного потоку (рух у вільних умовах); $H_{mk}^{(1)}$ – максимальна ентропія поля сприйняття водія в щільному транспортному потоці.

Для узгодження суміжних ділянок необхідно забезпечити умову рівності функціональних норм швидкості для мотиву свободи дії:

$$V_{\Sigma H}^{(1)} = V_{\Sigma H}^{(2)}. \quad (5)$$

Беручи до уваги те, що індивідуальні норми швидкості можна виразити через максимальну (H_m) і поточну (H) ентропії поля сприйняття водія, для узгодження суміжних ділянок необхідно забезпечити виконання умови рівності максимальних або поточних ентропій першої і другої ділянок:

$$H_m^{(1)} = H_m^{(2)}; \quad H^{(1)} = H^{(2)}. \quad (6)$$

Поточну ентропію поля сприйняття водія визначають за відомою формулою К. Шеннона.

Під час руху в колоні, протягом усієї дороги $H_m = const$. Отже, щоб узгодити суміжні ділянки, необхідно забезпечити виконання умови рівності функціональних норм швидкості для мотиву свободи дії $V_{H2}^{(1)} = V_{H2}^{(2)}$, що є умовою рівності значень відносно організації поля сприйняття водія на суміжних ділянках $R^{(1)} = R^{(2)}$.

Беручи до уваги формулу К. Шеннона, умову (6) можна змінити до такого вигляду:

$$\frac{H^{(1)}}{n} = -\sum_{i=1}^n P_i^{(2)} \cdot \log_2 P_i^{(2)} - \sum_{i=1}^n (1 - P_i^{(2)}) \log_2 (1 - P_i^{(2)}), \quad (7)$$

де $P_i^{(2)}$ – імовірність перебування i -того об'єкта другої ділянки в небезпечному для руху стані; n – число об'єктів поля сприйняття.

Аналіз формули (7) довів, що для узгодження суміжних ділянок необов'язково забезпечувати однакові параметри дороги. Достатньо, щоб їх сумарний інформаційний вплив на водія на другій ділянці дорівнював інформаційному впливу на першій ділянці.

Узгодження суміжних ділянок доріг передбачає забезпечення мінімальної розбіжності параметрів відносно організації наступної ділянки $R_{(n+1)}$ і попередньої $R_{(n)}$ або максимальної ентропії відповідно: $H_{m(n+1)}$ і $H_{m(n)}$. Цільові функції щодо узгодження суміжних ділянок доріг за максимальною ентропією та відносною організацією будуть такими:

$$I_y = \int_0^T [H_{m_n}(t) - H_{m_{(n+1)}}(t)]^2 dt \rightarrow \min; \quad I_y = \int_0^T \left[\frac{H_{(n+1)}(t)}{H_{m_{(n+1)}}(t)} - \frac{H_n(t)}{H_{m_{(n+1)}}(t)} \right]^2 dt \rightarrow \min. \quad (8)$$

Моделі забезпечення умов руху за відносною організацією поля сприйняття водія, що описує рух на ділянці в колоні, та за максимальною ентропією поля сприйняття водія, що описує рух у вільному режимі на ділянці з обгонами подано на рис. 1 і 2. За основу прийнято моделі, що розроблені А. О. Діабом для вибору водієм швидкості руху та побудовані в межах пакета MATLAB Simulink.

В моделях (рис. 1 і 2) прийнято такі позначення: K_i – коефіцієнт перетворення вимірника неузгодженості; K_y – коефіцієнт перетворення формувальної ланки («інтелектуального» керівного пристрою); K_o – коефіцієнт перетворення каналу керування напрямом руху; K_{oc1} – коефіцієнт негативного зворотного зв'язку «за швидкістю», який розглядають як підсилювач диференціальної ланки, що дає змогу «регулювати» помилку в контурі керування; $1/s$ – інтегрвальна ланка першого порядку, ланка запізнювання, що пов'язана зі зміною поведінкової неузгодженості й ухваленням рішення; T_1 , T_2 , T_4 – постійні часу, що характеризують поведінкові функції водія; K_h – коефіцієнт негативного зворотного зв'язку загальної системи регулювання; K_{oc2} – коефіцієнт негативного зворотного зв'язку «за напрямом»; $W_A(s)$, $W_{AB}(s)$ – передавальні функції автомобіля під час руху в колоні і вільному русі

відповідно; $W_{PR}(s)$ – передавальна функція інерційної ланки, що характеризує реакцію водія на оцінку дорожнього середовища; $W_B(s)$ – передавальна функція водія.

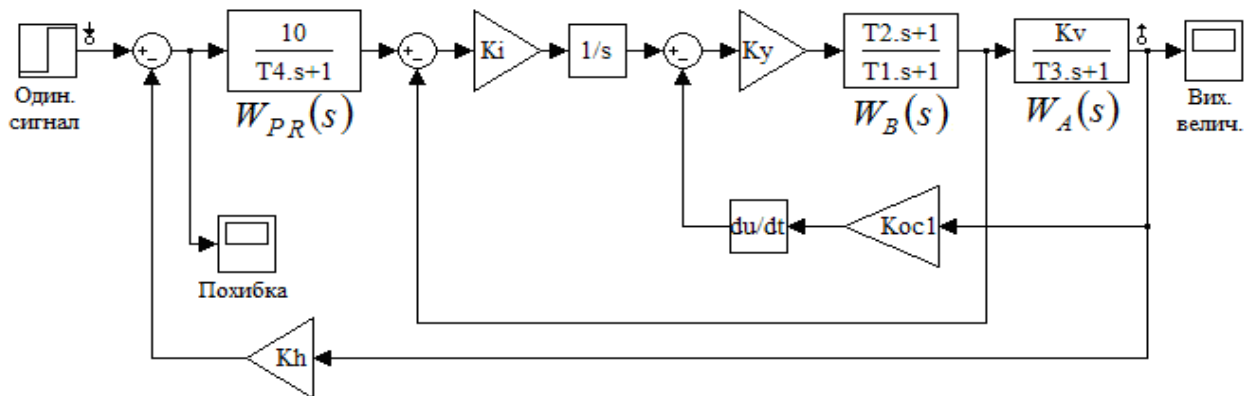


Рис. 1. Модель системи автоматичного регулювання, що формує керівні дії водія щодо вибору швидкості під час руху в колоні за відносною організацією

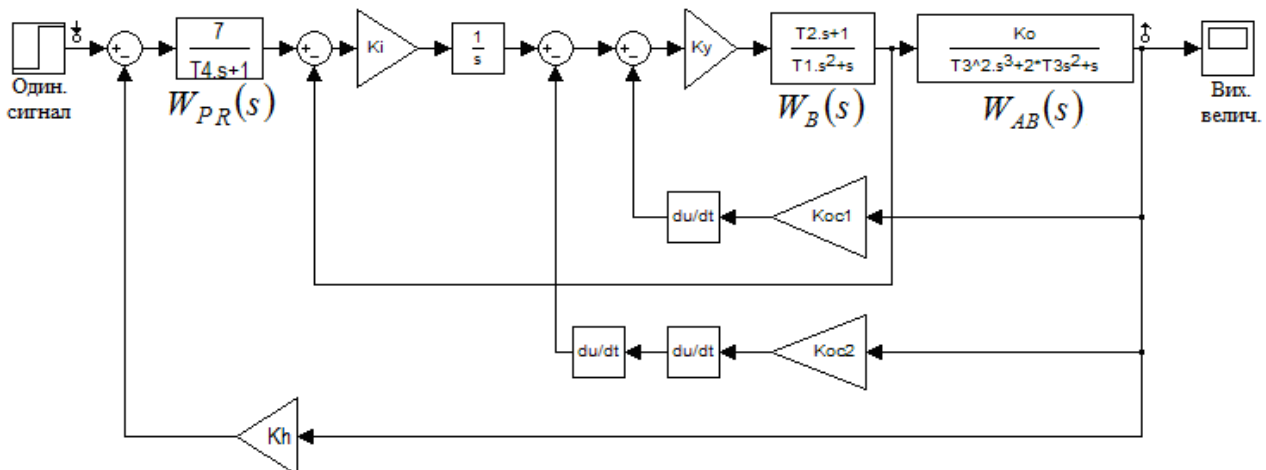


Рис. 2. Модель системи автоматичного регулювання, що формує керівні дії водія щодо вибору швидкості й напрямку під час руху у вільному режимі за максимальною ентропією

Прийняті моделі доповнено інерційною ланкою $\frac{1}{T_4 s + 1}$

(де T_4 – відповідний час реакції водія), що характеризує реакцію водія на дорожні обставини, які оцінюються ним за узагальнювальною характеристикою – відносною організацією або максимальною ентропією дорожнього середовища.

Реакції водія під час періодичного змінювання ентропійних характеристик представлені у вигляді послідовності прямокутних імпульсів, що описується їхньою сумою, а кожен імпульс – у вигляді двох «протилежних» одиничних імпульсів. Відносна організація або максимальна ентропія – це вхідні параметри для водія, а швидкість руху – вихідний, тоді загальний вигляд передавальних функцій буде таким:

$$V_R(s) = W_R(s) \sum_{i=1}^M \frac{R_{nc_0}^I}{s} \left[e^{-(i-1)t_2 \cdot s} - e^{-(i-1)t_2 s - t_1 s} \right]; \quad (9)$$

$$V_H(s) = W_H(s) \cdot \sum_{i=1}^M \frac{H_{m_0}}{s} \left[e^{-(i-1)t_2 \cdot s} - e^{-(i-1)t_2 s - t_1 s} \right]. \quad (10)$$

де $V_R(s)$, $V_H(s)$ – швидкість руху в операторній формі, як вихідний сигнал на вплив відносної організації або максимальної ентропії відповідно; $W_R(s)$, $W_H(s)$ – загальні передавальні функції моделей систем відповідно (рис. 1 і 2); $R_{nc_0}^I$, H_{m_0} – амплітуди відповідних впливів (імпульсів); i – номер імпульсу, $i=1, 2, 3 \dots M$; t_2 – чергування впливу (тривалість періоду); t_1 – тривалість впливу (частина періоду).

Параметричне моделювання системи автоматичного регулювання дає змогу визначити передавальні функції $W_R(s)$ і $W_H(s)$, за допомогою яких розраховують значення швидкості руху в певні моменти часу за різних дорожніх ситуацій.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень щодо встановлення закономірностей взаємодії водія з дорожнім середовищем, які уможливають визначення ступеня узгодженості умов руху на суміжних ділянках доріг. Експериментальні дослідження проводились у польових умовах. Під час вибору методів, методик і обладнання для дослідження бралася до уваги необхідність вивчення закономірностей поведінки водіїв на дорозі та оцінка їхнього функціонального стану.

Експериментальні дослідження здійснювались за допомогою легкових автомобілів, на яких розміщувалось обладнання для безперервної реєстрації швидкості руху, факторів дорожнього середовища і показників функціонального стану водія. В експерименті брали участь шість водіїв-випробувачів, 70 % яких були сангвініками, що відповідає реальному складу транспортних потоків.

Дослідні заїзди здійснювали у період з 2004 по 2006 роки на дорозі Харків – Москва в прямому і зворотному напрямках 104–226 км і 518–596 км; у період з 2008 по 2010 роки – Харків – Суми – 12–75 км, Харків – Красноград – 12–89 км. Експериментальні дослідження проводились у літній період і в однакових погодних умовах (сухо, сонячно, температура повітря в кабіні автомобіля – 22–26 °С).

У процесі експериментальних заїздів здійснювалась безперервна реєстрація електрокардіограми випробуваних за допомогою електрокардіографів ЕКГТ-03М і «Кардіосенс» та електропневмограми за допомогою косошарового датчика теплового потоку й комплексу «Спіроком». Фактори дорожнього середовища реєструвались відеокамерою або відеореєстратором, швидкість руху – навігатором.

Дані експерименту аналізувались і оброблялись в комплексі на лінійних графіках досліджуваних доріг. Під час обробки результатів експерименту дорога умовно поділялась на ділянки за довжиною поля сприйняття водія.

Вплив певного фактора дорожнього середовища оцінювався ймовірністю перебування об'єкта в небезпечному стані (за дослідженнями Е. В. Гаврилова), що забезпечило можливість розрахувати поточну, максимальну ентропії та відносну організацію поля сприйняття водія.

На підставі параметричного моделювання отримано передавальну функцію моделі автоматичного регулювання щодо формування керівних дій водія стосовно вибору швидкості під час руху в колоні за відносною організацією поля сприйняття згідно з моделлю (див. рис. 1):

$$V_R(s) = \frac{71,42}{(s^2 + 1,69s + 7,217) \cdot (s + 9,65)} \cdot \sum_{i=1}^M \frac{R_{nc_0}^I}{s} \left[e^{-(i-1)t_2 \cdot s} - e^{-(i-1)t_2 s - t_1 s} \right], \quad (11)$$

та передавальну функцію моделі автоматичного регулювання щодо формування керівних дій водія стосовно вибору швидкості й траєкторії руху за максимальною ентропією поля сприйняття водія згідно з моделлю (див. рис. 2):

$$V_H(s) = \frac{8,3(s + 2) H_{m_0}}{s^7 + 8,99s^6 + 32,25s^5 + 65,75s^4 + 91,46s^3 + 84,74s^2 + 45,51s + 16,5} \times \sum_{i=1}^M \frac{1}{s} \left[e^{-(i-1)t_2 \cdot s} - e^{-(i-1)t_2 s - t_1 s} \right] \quad (12)$$

На підставі моделей (11) і (12) в MATLAB Simulink сформовано вхідні сигнали за допомогою ступінчастих функцій, у яких змінювання відносної організації або максимальної ентропії співпадає з експериментальними даними, а значення величини приросту імпульсу дорівнює різниці послідовних значень швидкості руху. Як результат на виході системи отримано функції змінювання значень швидкості руху (рис. 3 і 4).

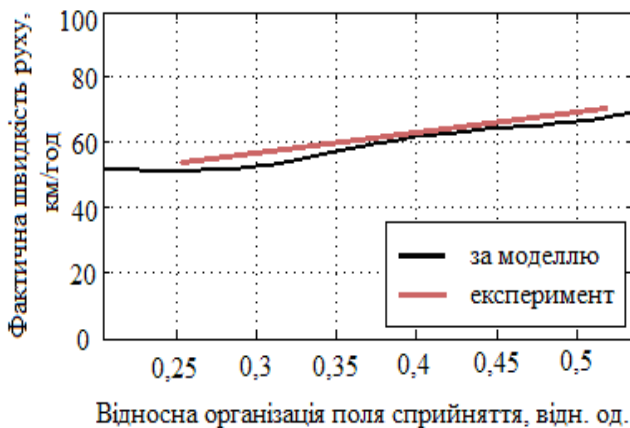


Рис. 3. Результати моделювання запропонованої моделі за відносною організацією під час руху в колоні

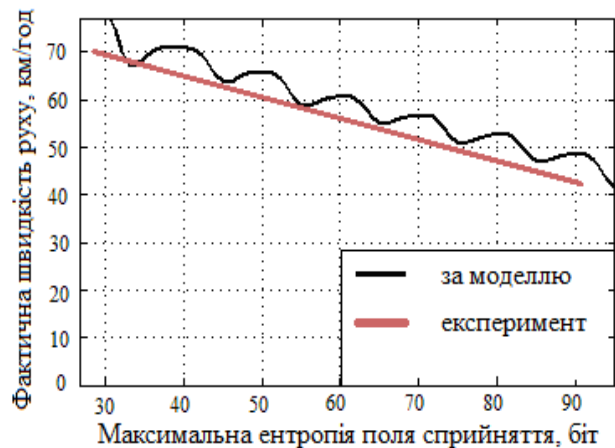


Рис. 4. Результати моделювання запропонованої моделі за максимальною ентропією під час руху у вільному режимі

Шляхом порівняння результатів моделювання та експериментальних даних на підставі середньої помилки апроксимації, яка для відносної організації дорівнює 3,805 %, а для максимальної ентропії – 6,623 % і не перевищує 15 %, доведено адекватність розроблених моделей.

Встановлено залежність впливу відносної організації поля сприйняття водія R_{nc} на коефіцієнт пригод K_{np} під час руху у вільному режимі (рис. 5):

$$K_{np} = 146,56R_{nc}^2 - 107,27R_{nc} + 21,05. \quad (13)$$

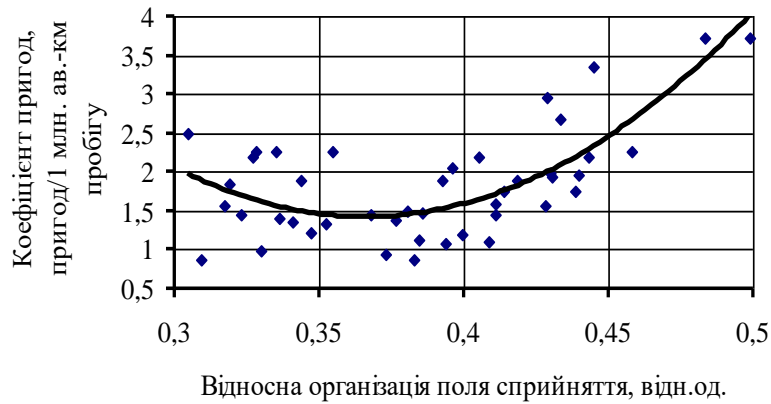


Рис. 5. Залежність коефіцієнта пригод від відносної організації поля сприйняття водія під час руху у вільному режимі

Встановлено закономірності впливу відносної організації поля сприйняття водія R_{nc}^I на фактичну швидкість руху V і коефіцієнт пригод K_{np} під час руху в колоні (рис. 6, 7):

$$V = 55,104R_{nc}^I + 40,5; \quad (14)$$

$$K_{np} = 82,32R_{nc}^I{}^2 - 57,77R_{nc}^I + 11,46. \quad (15)$$

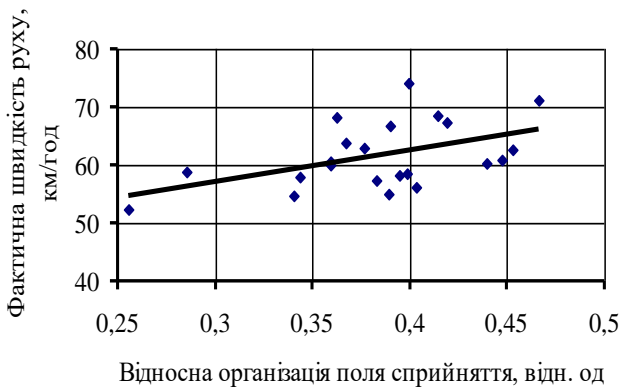


Рис. 6. Залежність фактичної швидкості руху від відносної організації поля сприйняття водія під час руху в колоні

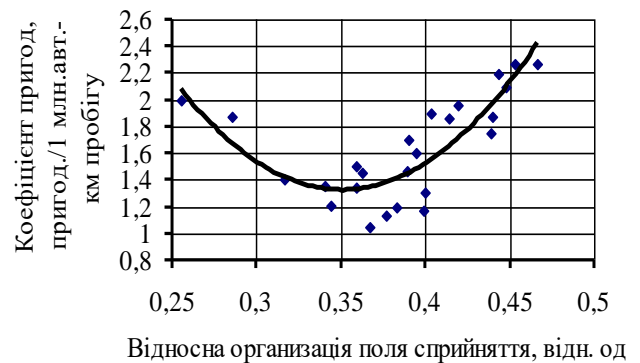


Рис. 7. Залежність коефіцієнта пригод від відносної організації поля сприйняття водія під час руху в колоні

На підставі залежностей (13) і (15) встановлено, що відносна організація поля сприйняття характеризує ділянки дороги з погляду безпечності умов роботи водія, що уможливорює використання цього показника для узгодження умов руху на суміжних ділянках. Для визначення межі узгодженості суміжних ділянок відношення значень відносної організації поля сприйняття водія на прилеглих ділянках $R_{nc(n)}^I / R_{nc(n+1)}^I$ співставлено з коефіцієнтом пригод:

$$K_{np} = -0,0006(R_{nc(n)}^I / R_{nc(n+1)}^I)^2 + 0,067(R_{nc(n)}^I / R_{nc(n+1)}^I) + 0,0547. \quad (16)$$

Використовуючи характеристику коефіцієнта пригод, встановлену нормативним документом за урахуванням усіх ДТП (з потерпілими і матеріальними збитками), доведено, що умови руху на суміжних ділянках доріг вважаються узгодженими, якщо значення відносної організації поля сприйняття водія відрізняються не більше ніж на 84,5 % (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика показників узгодженості умов руху на суміжних ділянках доріг за відносною організацією поля сприйняття

Характеристика безпеки ділянки	Значення коефіцієнта пригод	Оцінка узгодження ділянок	Відношення значень відносно організації
Безпечні	Менше 1,45	Узгоджені	Більше 92,5 %
Малонебезпечні	1,45...1,71	Узгоджені	84,5 % ... 92,5 %
Небезпечні	1,71...1,96	Неузгоджені	73,0 % ... 84,5 %
Дуже небезпечні	Більше 1,96	Неузгоджені	Менше 73,0 %

Залежність коефіцієнта пригод від відношення значень відносно організації суміжних ділянок під час руху в колоні зображено на рис. 8.

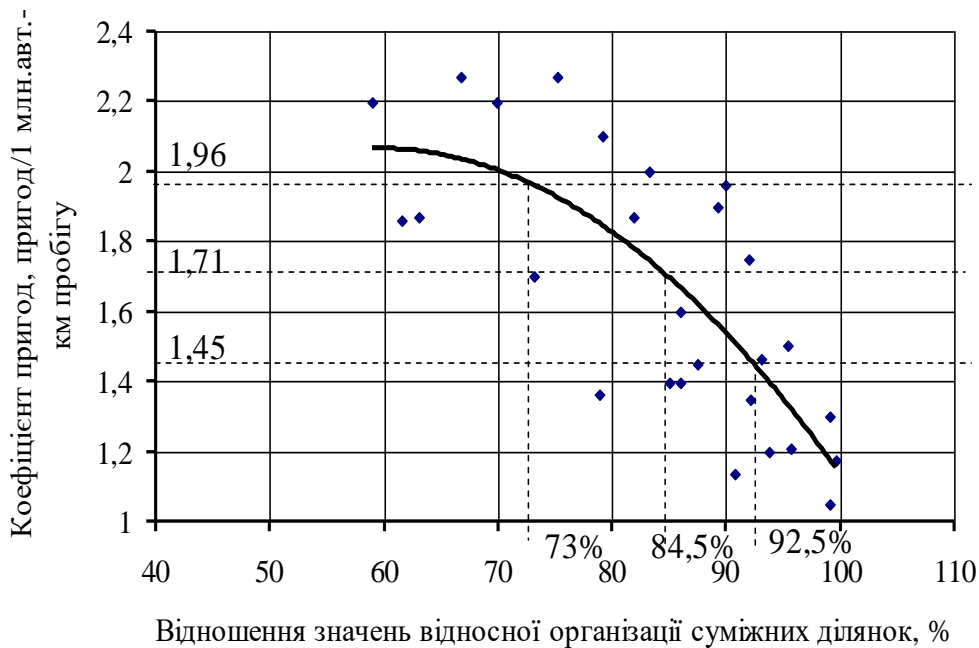


Рис. 8. Залежність коефіцієнта пригод від відношення значень відносно організації суміжних ділянок під час руху в колоні

Встановлено закономірності впливу максимальної ентропії поля сприйняття водія H_m на фактичну швидкість руху V і коефіцієнт пригод K_{np} під час руху у вільному режимі (рис. 9, 10):

$$V = -0,409H_m + 80,87; \quad (17)$$

$$K_{np} = 0,0007H_m^2 - 0,056H_m + 2,4. \quad (18)$$

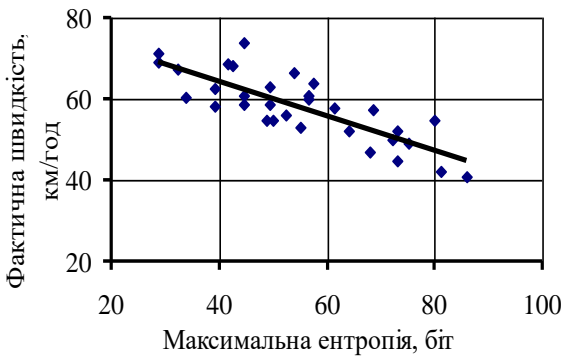


Рис. 9. Залежність фактичної швидкості руху від максимальної ентропії поля сприйняття водія під час руху у вільному режимі

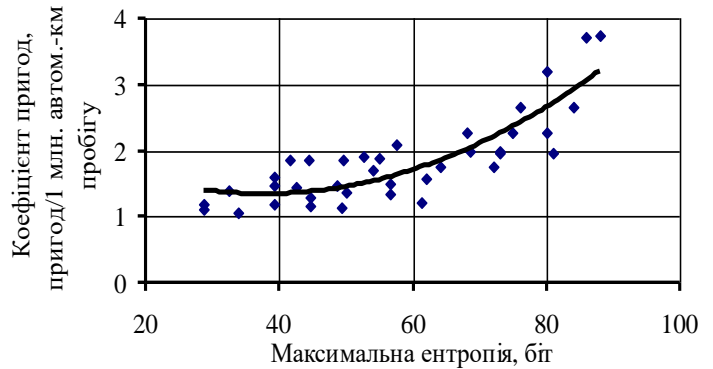


Рис. 10. Залежність коефіцієнта пригод від максимальної ентропії поля сприйняття водія під час руху у вільному режимі

Залежність (18) характеризує максимальну ентропію як показник безпечності умов руху на ділянках доріг, тому його використано для узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг як відношення значень ($H_{m(n)} / H_{m(n+1)}$) на прилеглих ділянках. Це відношення співставлено з коефіцієнтом пригод:

$$K_{np} = 0,0016(H_{m(n)} / H_{m(n+1)})^2 - 0,214(H_{m(n)} / H_{m(n+1)}) + 8,081. \quad (19)$$

Залежність коефіцієнта пригод від відношення значень максимальної ентропії суміжних ділянок під час руху у вільному режимі зображено на рис. 11.

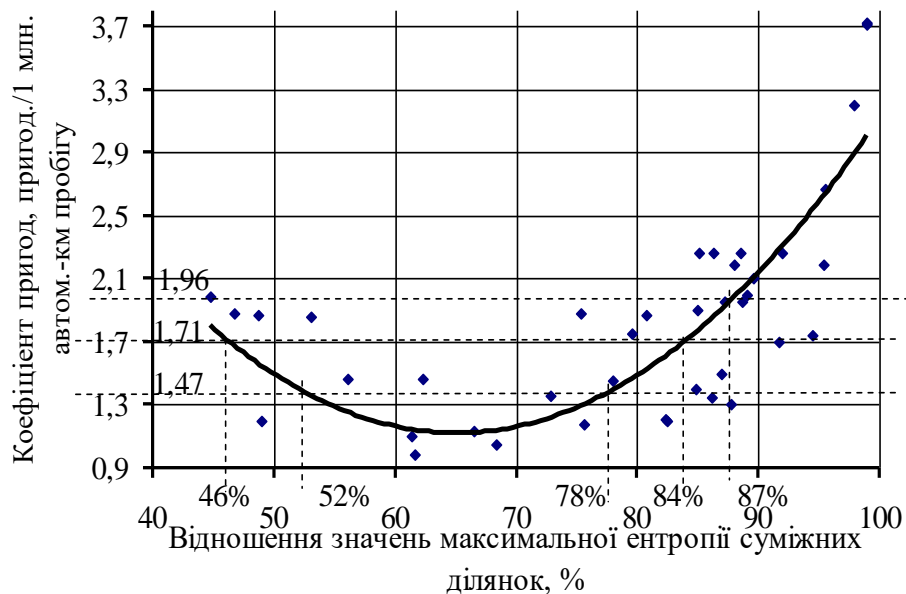


Рис. 11. Залежність коефіцієнта пригод від відношення значень максимальної ентропії суміжних ділянок під час руху у вільному режимі

Визначено, що умови руху на суміжних ділянках доріг вважаються узгодженими, якщо значення максимальної ентропії поля сприйняття водія відрізняються не більше ніж на 84 % (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика показників узгодженості умов руху на суміжних ділянках доріг за максимальною ентропією поля сприйняття

Характеристика безпеки ділянки	Значення коефіцієнта пригод	Відношення значень максимальної ентропії	Оцінка узгодженості ділянок	Характеристика ділянок за середнім значенням максимальної ентропії
Небезпечні	1,71...1,96	Менше 46 %	Узгоджені	$H_m < 64$ біт – взаємодія на ділянках з обгонами середньої складності
Мало небезпечні	1,45...1,71	46 ... 52 %	Узгоджені	
Безпечні	Менше 1,45	52 ... 78 %	Узгоджені	
Мало-небезпечні	1,45...1,71	78 ... 84 %	Узгоджені	$H_m > 64$ біт – взаємодія на попередній ділянці з обгонами дуже складна
Небезпечні	1,71...1,96	84 ... 87%	Неузгоджені	
Дуже небезпечні	Більше 1,96	Більше 87,0 %	Неузгоджені	

Проаналізовано залежності фактичної швидкості від характеристик функціонального стану водія: зсувом частоти серцебиття й дихання та гістографічним показником, засвідчено слабкість цих зв'язків. Це пояснюється тим, що досліджувана система ВАДС за різних умов може набувати різної кількості станів. Із погляду на це пропонується досліджувати роботу системи ВАДС за її станами, у межах яких максимальна ентропія зберігає своє значення.

Визначено закономірності впливу відносної організації поля сприйняття водія на його функціональний стан, а саме закономірності впливу на зсув частоти серцебиття $\Delta\Phi$, що визначається за залежністю:

$$\Delta\Phi = 36,062 e^{-2,946 R_{nc}}, \quad (20)$$

та на гістографічний показник H_G , який встановлюється за залежністю:

$$H_G = 115,2 R_{nc}^{0,0964}. \quad (21)$$

Кореляційний аналіз представлених показників за відносною організацією поля сприйняття водія показав наявність між ними тісного зв'язку (індекс кореляції 0,719 і 0,724). Кореляційний аналіз залежності зсуву частоти дихання від відносної організації довів відсутність зв'язку між цими параметрами.

Встановлено закономірності впливу максимальної ентропії поля сприйняття водія на його функціональний стан. Результати кореляційного аналізу залежностей зсуву частоти серцебиття $\Delta\Phi$, зсуву дихання ΔC , а також гістографічного показника H_Γ від максимальної ентропії поля сприйняття подано в табл. 3.

Таблиця 3

Результати кореляційного аналізу залежностей показників функціонального стану водія від максимальної ентропії поля сприйняття

Емпірична формула	Індекс кореляції	Середня помилка	t-критерій	
			t_p	t_Γ
$\Delta\Phi = 0,0059H_m^2 - 0,716H_m + 32,24$	$r' = 0,751$	0,110	6,82	2,7
$H_\Gamma = 0,0064H_m^2 - 0,689H_m + 143,15$	$r' = 0,750$	0,110	6,82	
$\Delta C = 0,0088H_m^2 + 0,602H_m + 53,001$	$r' = 0,584$	0,135	4,32	

На підставі характеристик фаз стану напруженості та стресу проведено аналіз, у наслідок якого встановлено оптимальні значення: відносної організації поля сприйняття водія $R_{nc} = 0,364$, максимальної ентропії $H_m = 64$ біт і кількості факторів дорожнього середовища – вісім, за яких водій перебуває в нормі або в стані функціонального комфорту.

За допомогою вимірювання швидкості руху в процесі дослідних заїздів і на підставі варіабельності значень швидкості було визначено відносну організацію взаємодії учасників руху між собою і з дорожнім середовищем R_V . Встановлено, що зв'язок цього показника і коефіцієнта пригод нелінійний:

$$K_{np} = 48,762R_V^2 - 18,776R_V + 3,4873 \quad (22)$$

і тісний, що характеризує R_V як показник безпечності умов руху на ділянках доріг.

Для узгодження суміжних ділянок доріг застосовано відношення $(R_{V(n)} / R_{V(n+1)})$, де $R_{V(n)}$ і $R_{V(n+1)}$ – значення відносної організації взаємодії попередньої і наступної ділянки відповідно. Це значення було співставлено з коефіцієнтом пригод:

$$K_{np} = 3,076(R_{V(n)} / R_{V(n+1)})^2 - 5,216(R_{V(n)} / R_{V(n+1)}) + 3,139. \quad (23)$$

На підставі непараметричного критерію Манна–Уїтні було порівняно критичне значення ймовірності коефіцієнта пригод на суміжних ділянках і допустиме $\Delta P_\delta = 2,33$ при прийнятому рівні значущості $p = 0,05$. Цей аналіз показав, що вірогідність відмінності показників не встановлено. На підставі залежності абсолютної різниці вірогідності коефіцієнта пригод і відношення відносної організації взаємодії учасників руху встановлено, що для узгодження суміжних ділянок доріг значення відносної організації взаємодії учасників руху не повинні відрізнятися більше ніж на 21–22 %.

Отже, запропонований метод узгодження суміжних ділянок доріг полягає в такому: достатньо визначити швидкості руху на суміжних ділянках і за

їхньою варіабельністю розрахувати ентропійні характеристики. Далі співставити ці характеристики і на підставі отриманого значення встановити ступінь узгодженості умов руху на суміжних ділянках та оцінити рівень безпеки руху під час переміщення з однієї ділянки на іншу.

Таким чином, розроблено методики узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг за відносною організацією, максимальною ентропією поля сприйняття водія та ентропійними характеристиками швидкості руху.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз наукових результатів досліджень показав, що ергономічні аспекти забезпечення умов руху на ділянках доріг застосовувалися широко, але поняття «ергономічне забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг» не є загальноприйнятим. Питання забезпечення послідовності перехідного процесу під час руху ділянками з різкою зміною дорожніх обставин залишається невирішеним. Крім того, недостатньо вивчені закономірності ергономічного забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг.

2. Аналіз наявних методів забезпечення умов руху на дорогах показав, що в них недостатньо враховано вплив усіх факторів дорожнього середовища на водія, не розроблено системного підходу щодо визначення взаємодії водія з дорожнім середовищем, а, отже, вони не можуть бути базовими для ергономічного забезпечення умов руху. Найоптимальнішою щодо узгодження суміжних ділянок доріг є концепція Е. В. Гаврилова, яка базується на узгодженні програм поведінки водіїв. Ця концепція науково не обґрунтована, тому потребує подальшого вивчення. Незважаючи на наявні недоліки, структуровані поведінкові моделі, запропоновані А. О. Діябом, можуть застосовуватися для оцінювання швидкості руху, що обумовлюються узагальненим впливом дорожнього середовища. Як критерій для оцінювання ергономічного забезпечення умов руху запропоновано використовувати ентропійні характеристики.

3. На підставі концепції Е. В. Гаврилова розроблено новий науковий підхід щодо узгодження суміжних ділянок доріг за ергономічними критеріями, за якими узгоджуються програми поведінки водіїв. У цьому підході, на відміну від наявних, враховується взаємозв'язок станів і компонентів системи «водій – автомобіль – дорожнє середовище».

4. Удосконалено моделі забезпечення умов руху за відносною організацією та максимальною ентропією поля сприйняття водія, у яких на відміну від наявних, враховано не тільки психофізіологічні характеристики водія, але й вплив на його поведінку різноманітних зовнішніх факторів, що уможлиблює моделювання швидкості руху під час в'їзду на наступну ділянку дороги для різних дорожніх ситуацій. На підставі параметричного моделювання в середовищі Matlab отримано передавальні функції моделей автоматичного регулювання щодо формування керівних дій водія стосовно вибору швидкості та траєкторії руху, які враховують вплив на водія факторів дорожнього середовища за узагальнювальними характеристиками – відносною організацією

і максимальною ентропією поля сприйняття водія – забезпечують можливість моделювання швидкості руху на вході і виході з системи. Порівняння результатів моделювання та експериментальних даних свідчить про адекватність розроблених моделей (середні помилки апроксимації становлять 3,805 і 6,623 % відповідно).

5. Встановлено закономірності впливу відносної організації і максимальної ентропії поля сприйняття водія на фактичну швидкість руху й коефіцієнт пригод під час руху у вільному режимі і в колоні. Доведено, що значення цих показників характеризують ділянки дороги з погляду безпечності умов роботи водія, що уможлиблює їх використання для узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг.

6. Встановлено закономірності впливу відносної організації і максимальної ентропії поля сприйняття водія на його функціональний стан. Встановлено оптимальні значення відносної організації поля сприйняття водія ($R_{nc} = 0,364$) і максимальної ентропії ($H_m = 64$ біт), за яких організм водія перебуває в нормі або в стані функціонального комфорту. Визначено, що оптимальна кількість факторів дорожньої середовища, які перебувають у межах поля сприйняття і не сприяють виникненню у водія стану напруженості, дорівнює восьми.

7. Розроблено характеристики для узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг за відносною організацією та максимальною ентропією поля сприйняття водія. Встановлено, що умови руху на суміжних ділянках вважаються узгодженими, якщо значення відносної організації відрізняються не більше ніж на 84,5 %, а значення максимальної ентропії – не більше ніж на 84 %. На підставі оцінки ентропійних характеристик швидкостей руху встановлено зв'язок коефіцієнта пригод з відношенням значень відносної організації взаємодії учасників руху з середовищем та між собою на суміжних ділянках, який дозволяє стверджувати, що для узгодження суміжних ділянок значення відносної організації взаємодії учасників руху, при яких забезпечується нормальний режим роботи, мають відрізнятися не більше ніж на 21–22 %.

8. Розроблено методики узгодження умов руху на суміжних ділянках доріг за відносною організацією, максимальною ентропією поля сприйняття водія та ентропійними характеристиками швидкості руху.

9. Результати досліджень було використано під час розроблення містобудівного обґрунтування розташування комплексу об'єктів аеропорту та паспортів улаштування земельних ділянок для організації парковок транспортних засобів, виконаних проектною фірмою ТОВ «Авуар» м. Харкова, в лекційних курсах та практичній підготовці студентів ВНЗ, двох держбюджетних науково-дослідних роботах. Результати дослідження можна застосовувати для вирішення завдання оптимального облаштування дорожнього середовища і використання під час розроблення проектів будівництва й реконструкції автомобільних доріг і транспортних мереж міст.

10. Можливими напрямками продовження дослідження є вивчення закономірностей забезпечення умов руху на суміжних ділянках в регламентованих режимах роботи водія, що дає змогу оцінити його поведінку стосовно загальної швидкості транспортного потоку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Кульбашная Н. И. Применение информационных характеристик в моделях восприятия водителем дорожной обстановки / Н. И. Кульбашная, И. Э. Линник // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2015. – Вып. 3/3 (75). – С. 27–32.

2. Кульбашная Н. И. Энтропийные характеристики в моделях согласования смежных участков дорог / Н. И. Кульбашная // Наука и техника : междунар. науч.-техн. журн. Серия 1: Машиностроение. – Минск : БНТУ, 2016. – Т. 15. – № 1. – С. 78–84.

3. Кульбашная Н. И. Разработка модели выбора скорости движения водителем с учетом дорожной обстановки / Н. И. Кульбашная, К. А. Сорока // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков : Технологический центр, 2016. – Вып. 3/2 (81). – С. 22–28.

Статті у фахових виданнях:

4. Кульбашная Н. И. Новые подходы к оценке безопасности движения в городских условиях / Н. И. Кульбашная // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техника, 2006. – Вып. 69. – С. 165–171.

5. Кульбашная Н. И. Прогрессивный метод оценки аварийности участков городских дорог / Н. И. Кульбашная // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техника, 2008. – Вып. 84. – С. 307–311.

6. Кульбашная Н. И. Согласование смежных участков дорог / Н. И. Кульбашная // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техника, 2007. – Вып. 76. – С. 324–328.

7. Линник И. Э. Концепция исследований, связанных с разработкой модели согласования смежных участков дорог / И. Э. Линник, Н. И. Кульбашная // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – Киев : Техника, 2009. – Вып. 90. – С. 389–393.

8. Кульбашная Н. И. Формирование информационных характеристик среды движения на участках дорог / Н. И. Кульбашная // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету : наук.-техн. зб. – Харків : ХНАДУ, 2013. – Вип. 61– 62. – С. 243–247.

9. Кульбашная Н. И. Согласование смежных участков дорог по относительной организации взаимодействия участников движения / Н. И. Кульбашная // Вісник Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля: наук. журн. : в 2 ч. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2013. – Ч 2. – №15 (204). – С. 191–195.

10. Кульбашная Н. И. Соответствие условий дорожной среды функциональному состоянию водителя / Н. И. Кульбашная // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків : ХНУГХ ім. О. М. Бекетова, 2017. – Вип. 134. – С. 108–112.

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Кульбашна Н. І. Розробка методів узгодження суміжних ділянок міських доріг / Н. І. Кульбашна // XXXIII науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ : прогр. и тез. докл. : в 3 ч. (г. Харьков, 11–13 мая 2006 г.). – Харьков : ХНАГХ, 2006. – Ч 2 : Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов. – С. 36–38 (очна).

12. Кульбашная Н. И. Учет суммарного информационного воздействия среды движения на водителя при согласовании смежных участков дорог / Н. И. Кульбашная // XXXIV науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ : прогр. и тез. докл. : в 3 ч. (г. Харьков, 12–14 мая 2008 г.). – Харьков : ХНАГХ, 2008. – Ч 2 : Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов. – С. 26–27 (очна).

13. Линник И. Э. Экспериментальная оценка связи коэффициента происшествий с относительной организацией R / И. Э. Линник, Н. И. Кульбашная // XXXV науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ : прогр. и тез. докл. : в 3 ч. (г. Харьков, 22–23 апреля 2010 г.). – Харьков : ХНАГХ, 2010. – Ч 1 : Строительство, архитектура, экология, общественные науки. – С. 16–18 (очна).

14. Кульбашная Н. И. Обеспечение условий дорожной среды по функциональному состоянию водителя / Н. И. Кульбашная // Теорія і практика сучасної науки : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. : у 2 ч. (м. Дніпро, 24–25 лютого 2017 р.). – Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2017. – Ч. 1. – С. 120–124 (інтернет-конференція).

15. Кульбашная Н. И. Модель определения скорости движения в изменяющейся дорожной среде / Н. И. Кульбашная // Информатика та системні науки : матер. VIII Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Полтава, 16–18 березня 2017 р.). – Полтава : ПУЕТ, 2017. – С. 167–170 (заочна).

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

16. Кульбашная Н. И. Организация взаимодействия участников дорожного движения и число дорожно-транспортных происшествий / Н. И. Кульбашная, Н. А. Храмцова // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техника, 2004. – Вып. 55. – С. 157–161.

17. Кульбашная Н. И. Спектрально-корреляционный анализ энтропийных характеристик скоростей движения на участках дорог / Н. И. Кульбашная // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків : ХНАМГ, 2013. – Вип. 109. – С. 128–132.

АНОТАЦІЯ

Кульбашна Н. І. Ергономічне забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.04 – ергономіка. – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, 2017.

Розроблено науковий підхід щодо забезпечення умов руху на суміжних ділянках доріг за ергономічними показниками, який базується на узгодженні програм поведінки водіїв у вигляді значень відносної організації і максимальної ентропії поля сприйняття водія.

Встановлено закономірності впливу відносної організації і максимальної ентропії поля сприйняття водія на фактичну швидкість руху й коефіцієнт пригод під час руху у вільному режимі і в колоні. Встановлено, що умови руху на суміжних ділянках вважаються узгодженими, якщо значення відносної організації відрізняються не більше ніж на 84,5 %, а значення максимальної ентропії – не більше ніж на 84 %. На підставі ентропійних характеристик взаємодії учасників руху з дорожнім середовищем, отриманих за варіабельністю значень швидкості, встановлено, що ці характеристики на суміжних ділянках доріг мають відрізнятися не більше ніж на 21–22 %.

На підставі закономірності впливу відносної організації і максимальної ентропії поля сприйняття водія на його функціональні показники: зсуви частоти серцебиття й дихання та гістографічний показник визначено оптимальне значення відносної організації – 0,364, оптимальне значення максимальної ентропії – 64 біт та оптимальне число факторів дорожнього середовища, за яких організм водія перебуває в нормі або в стані функціонального комфорту.

Удосконалено моделі забезпечення умов руху за відносною організацією, що описують рух на ділянці в колоні та за максимальною ентропією, що описують рух у вільному режимі на ділянці з обгонами. Отримано такі передавальні функції моделі автоматичного регулювання для формування керівних дій водія: щодо вибору швидкості під час руху в колоні за відносною організацією; щодо вибору швидкості й траєкторії під час вільного руху за максимальною ентропією.

Ключові слова: дорожнє середовище, умови руху, сприйняття інформації, ергатична система, дії водія, узгодження, суміжна ділянка дороги, ентропійні характеристики.

АННОТАЦИЯ

Кульбашная Н. И. Эргономическое обеспечение условий движения на смежных участках дорог. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.01.04 – эргономика. – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, Харьков, 2017.

Создание условий движения, которые обеспечивали бы сохранение оптимального уровня протекания психологических процессов водителя при движении по дороге и не приводили к развитию аварийных ситуаций, является актуальной задачей. Поэтому в диссертационной работе предлагается решить эту задачу путем обеспечения и согласования условий движения на смежных участках дорог.

Разработан научный подход для согласования смежных участков дорог, в котором согласовываются программы поведения водителей. В качестве программ поведения водителей предлагается на первом этапе исследования использовать значение относительной организации, на втором – максимальной энтропии поля восприятия водителя. Согласно первого этапа, программа поведения на смежных участках дороги рассматривается при движении в колонне, когда координаты водителя не меняются, согласно второго – в свободном режиме (движение с обгонами), когда изменяются координаты водителя.

Установлены закономерности влияния относительной организации и максимальной энтропии поля восприятия водителя на его функциональное состояние, фактическую скорость движения и коэффициент происшествий при движении в свободном режиме и в колонне. Установлено, что относительная организация и максимальная энтропия поля восприятия характеризуют участки дороги с точки зрения безопасных условий работы водителя, что позволяет использовать эти показатели для согласования условий движения на смежных участках. Установлено, что условия движения на смежных участках считаются согласованными, если значение относительной организации поля восприятия отличаются не более чем на 84,5 %, а значение максимальной энтропии – не более чем на 84 %.

На основе оценки функционального состояния водителя установлено оптимальное значение относительной организации – 0,364, и оптимальное значение максимальной энтропии – 64 бит, при которых организм водителя находится в норме или в состоянии функционального комфорта. Установлено, что оптимальное число факторов дорожной среды, находящихся в пределах поля восприятия и не способствуют возникновению у водителя состояния напряженности, равно восьми.

Усовершенствованы модели обеспечения условий движения по относительной организации, описывающие движение на участке в колонне, и по максимальной энтропии, описывающие движение в свободном режиме на участке с обгонами. Модели построены в рамках пакета MATLAB Simulink – они дополнены инерционным звеном, характеризующим реакцию водителя на дорожную обстановку, которая оценивается им по обобщенным характеристикам – относительной организации или максимальной энтропии дорожной среды. Получены передаточные функции модели автоматического регулирования для формирования управляющих действий водителя: для выбора скорости при движении в колонне по относительной организации поля

восприятия; для выбора скорости и траектории при свободном движении по максимальной энтропии поля восприятия водителя.

Измерение скорости движения в процессе опытных заездов позволило по вариабельности значений скорости определить относительную организацию взаимодействия участников движения между собой и дорожной средой. Зависимость коэффициента происшествий от отношения значений относительной организации взаимодействия на смежных участках позволила установить, что энтропийные характеристики должны отличаться не более чем на 21–22 %.

Таким образом, разработаны методики согласования условий движения на смежных участках дорог по относительной организации, максимальной энтропии поля восприятия водителя и энтропийным характеристикам скорости движения.

Ключевые слова: дорожная среда, условия движения, восприятие информации, эргатическая система, действия водителя, согласование, смежный участок дороги, энтропийные характеристики.

ABSTRACT

Kulbashna N. I. Ergonomic provision of traffic conditions on adjacent sections of roads. – The manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of engineering sciences, specialty 05.01.04 – Ergonomics. – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, 2017.

A scientific approach to provide the traffic conditions on the adjacent sections of roads by ergonomic criteria based on the harmonization of the driver's behaviour programmes expressed through the values of the relative organization and maximum entropy of the driver's field of perception has been developed.

The regularities of the relative organization and maximum entropy influence of the driver's field of perception with the actual speed of movement and the coefficient of accidents when moving in a free mode and in a column are established. It is ascertained that the traffic conditions on the adjacent sections of road are considered to be consistent if the values of the relative organization differ by not more than 84,5%, and the maximum entropy values differ by no more than 84%. Based on the entropy characteristics of the interaction of road users with the road environment, obtained according to the variability of the values of speed, it is established that these characteristics should differ by no more than 21–22%.

Based on the regularity of the influence of the relative organization and maximum entropy of the driver's field of perception on his functional parameters, namely, the shifts in frequency of heart rate and respiration and the histogram indicator, the optimal value of the relative organization – 0,364, the optimal value of the maximum entropy – 64 bits and the optimal number of factors of the road environment at which the body of the driver is in a normal state or in a state of functional comfort are recognized.

The models for providing the traffic conditions by the relative organization of the driver's field of perception describing the traffic along the road section in a column, and by the maximum entropy of the driver's field of perception describing the traffic in a free mode along the road section with overtaking, are improved. The transfer functions of the automatic control model to form the driver's control actions by selecting the speed while driving in a column according to the relative organization of the field of perception and by selecting the speed and trajectory during a free motion with the maximum entropy are derived.

Key words: road environment, traffic conditions, information perception, ergatic system, driver's actions, coordination, adjacent sections of roads, entropy characteristics.

КУЛЬБАШНА Надія Іванівна

**ЕРГОНОМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ РУХУ
НА СУМІЖНИХ ДІЛЯНКАХ ДОРІГ**

Спеціальність 05.01.04 – ергономіка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск Д. П. Понкратов

Підп. до друку 06.11.2017 Формат 60×84 /16
Друк на ризографі Ум. друк. арк. 1,4
Зам. № 9966 Тираж 100 прим.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК 5328 від 11.04.2017 р.