

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД В ЕРГОНОМІЧНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ  
УМОВ РУХУ НА ДОРОЗІ**

**Анотація.** Запропоновано для формування ергономічних умов руху в системі «водій–автомобіль–дорожнє середовище» використовувати математичну модель автоматичного керування, в якій особливості регулювання руху визначають за перехідним процесом, що описується передавальними функціями автомобіля і водія. Пропонована модель дає змогу моделювати процеси регулювання швидкості руху автомобіля згідно з дорожньою обстановкою, вплив якої на водія оцінюється комплексною характеристикою — максимальною ентропією середовища руху.

**Ключові слова:** умови руху, ентропія середовища, швидкість руху, передавальна функція.

**ВСТУП**

Забезпечення умов руху на підставі ергономічної системи «водій–автомобіль–дорожнє середовище» (ВАДС) має істотне значення в поліпшенні виробничого середовища водія та організації його безаварійної роботи на дорозі. Створення комфортних умов праці передбачає гарантування стабільного психічного та психологічного стану водія під час руху дорогою, тобто спрощення перехідного процесу в разі змінювання дорожньої обстановки.

У процесі взаємодії водія з дорожнім середовищем формується той чи інший ступінь ефективності функціонування системи ВАДС. Її ефективність буде визначатися тим, якою мірою елементи системи відповідатимуть один одному в процесі взаємодії. Створюючи умови руху, потрібно брати до уваги всі взаємозв'язки та взаємовпливи, що виникають між елементами системи ВАДС. Дорожнє середовище є безпосереднім чинником формування стану головного компонента системи ВАДС — водія, а параметри дорожнього середовища слід розглядати як інструмент для регулювання умов руху. Вплив дорожнього середовища є значущим, домінантним складником і актуальним аспектом оцінювання адекватності всієї системи.

Середовище руху є джерелом інформації, відповідно до якої водій виконує керувальні дії, пристосовуючись до умов руху, прагнучи витратити найменші фізичні зусилля та уникнути сплеску емоційної напруженості. У разі порушення принципу найменшого примусу, сформульованого Е.В. Гавриловим [1], коли дорожнє середовище організовано таким чином, що під час руху дорогою водій відчуває певний дискомфорт, він здійснює помилкові дії, які призводять до виникнення аварійної ситуації та дорожньо-транспортної пригоди.

Змінювання ситуації на дорозі шляхом зменшення або збільшення кількості інформації призводить до зміни мети дій водія відповідно до його мотивації. Проявом реакції водія в разі впливу на нього інформації дорожнього середовища є змінювання швидкості та траєкторії руху автомобіля. Отже, якщо регулювати кількість інформації, яка чинить вплив на водія під час руху дорогою, засобами організації руху, тобто формувати дорожнє середовище таким чином, щоб воно забезпечувало водієві необхідні умови руху, можна впливати на швидкість руху автомобіля.

Отже, постає питання дослідження процесу регулювання швидкості руху згідно з інформаційним навантаженням водія, яке він отримує від дорожньої об-

становки. Виконати це завдання можна шляхом адекватного опису у формі математичної моделі динаміки поведінки водія і, як результат, режимів руху автомобіля. Побудувати відповідну модель можна із застосуванням теорії автоматичного керування, в якій особливості регулювання руху визначають за перехідним процесом, що описується передавальними функціями, які задають дії водія і відповідні їм зміни режиму руху автомобіля (передавальними функціями автомобіля і водія).

Оперування механізмами інформаційної взаємодії водія з дорожнім середовищем уможливило використання системних критеріїв для оцінювання дорожнього середовища як такого. Зокрема використовують ентропійні характеристики, що забезпечують отримання комплексного результату інформаційного впливу на систему ВАДС. Ентропія є універсальним показником, який властивий різним системам [2]. Її застосовують у разі потреби виокремлення найважливішого параметру, що визначає функціонування системи [3]. Використання методів, що базуються на ентропії, дає змогу розв'язати проблему неоднорідності дорожнього середовища, що містить велику кількість різнорідних елементів, вплив яких на водія може бути визначений по-різному. Таким чином, використовуючи ентропію як комплексний показник на вході в систему ВАДС, можна уникнути труднощів, які виникають під час системної оцінки дорожнього середовища. Отже, ентропія може бути параметром для оцінювання функціонування підсистеми «водій – дорожнє середовище».

#### АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні наукові праці щодо ергономічного облаштування доріг на основі системи ВАДС досліджують водія як людину-оператора та ґрунтуються на теорії керування і математично описують систему за допомогою передавальних функцій [4].

С.А. Осташевський дослідив процес керування автомобілем у системі «водій – автомобіль – дорога», скориставшись теорією інформації з урахуванням динамічних якостей водія як нелінійної системи. Проте дослідження вченого спрямовані на розв'язання задачі забезпечення керованості автомобіля під час повороту кермового колеса і не дають змоги оцінити швидкість руху [5].

Важливим у дослідженнях щодо розв'язання зазначеної проблеми є математичний апарат, запропонований групою вчених на чолі з професором А.А. Хачатуровим. Розроблено структурні лінеаризовані схеми системи керування автомобілем, що поєднують передавальні функції водія і транспортного засобу [6]. Модель системи керування автомобілем, що поєднує передавальні функції водія і транспортного засобу, наведено у роботі С. Саняла та Р. Госвами [7]. Ці моделі також не можна використовувати як базові, тому що вихідним параметром слугує кут повороту керованих коліс або бічний зсув, що ускладнює застосування цих моделей для оцінювання швидкості руху на дорозі.

У роботі Г. Солеймані та М. Камарі [8] модель поведінки водія розглядають як лінійний безперервний зворотній зв'язок, а функції контролю за обстановкою надано у вигляді передавальної функції. У. Майура і К. Такутакі дослідили дії водія щодо вибору водієм швидкості за допомогою передавальної функції, але вплив дорожньої обстановки розглядають не взагалі, а за окремими елементами дороги [9].

Найближче до розв'язання проблеми підійшов А.О. Діаб, який запропонував моделювати ефективність керування автотранспортним засобом за каналом швидкості руху з урахуванням градації інформаційного навантаження водія за трьома ступенями мотиваційного сприйняття дорожньої обстановки [10]. Математично описано властивості та отримано передавальні функції для каналів керування напрямом і швидкістю руху.

Питання взаємодії водія з дорожнім середовищем із застосуванням ентропійних характеристик у своїх дослідженнях розглянув Е.В. Гаврилов, який оцінив надійність взаємодії водія з середовищем руху [1]. С.Х. Креспо застосував ентропійні характеристики поля сприйняття водіїв для оптимізації елементів дорожньої обстановки під час планування заходів щодо підвищення рівня зручності руху [11]. Н.С. Голованенко запропонував використовувати ентропійні характеристики як системоутворювальні фактори для оцінювання поведінки водія (його швидкості руху на дорозі) відповідно до характеристик дорожнього середовища. На підставі проведених досліджень встановлено головні напрями робіт щодо забезпечення умов руху на дорозі [12]. М.В. Саркіян розробив моделі інформаційної взаємодії водія із середовищем руху і алгоритми регулювання функціональних норм швидкостей руху за допомогою спрямованого впливу на умови руху в межах кожного поля сприйняття водія [13]. Проте у представлених дослідженнях відсутній системний підхід до задачі забезпечення умов руху на дорозі, тобто система ВАДС в цілому не розглядалася. Середовище описували як постійну, незмінну величину.

Отже, аналіз досліджень щодо забезпечення умов руху на дорогах, які безпосередньо впливають на режими руху автомобіля, показав, що на сьогодні не розроблено жодної моделі, яка б з одного боку дала змогу описати вплив усіх факторів дорожнього середовища на водія, а з іншого — оцінити швидкість руху автомобіля на підставі передавальних функцій системи ВАДС.

Метою цієї статті є застосування системного підходу до побудови математичної моделі, яка дасть змогу зробити висновок щодо забезпечення умов руху на дорозі на підставі значень швидкості руху водія автомобіля.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання:

- на основі експериментальних даних оцінити комплексний вплив дорожніх умов за допомогою ентропійних характеристик на швидкість руху автомобіля;
- розробити математичну модель системи ВАДС, що дасть змогу моделювати швидкість руху згідно з кількістю інформації дорожнього середовища;
- оцінити результати застосування цієї моделі порівняно з експериментальними даними;
- розробити характеристики, що дають змогу зробити висновок щодо забезпечення умов руху.

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОРОЖНІХ УМОВ

Якщо система ВАДС може перебувати у двох станах — небезпечному та безпечному, тоді максимальну ентропію системи визначають за формулою [1]

$$H_m = n^2. \quad (1)$$

де  $H_m$  — максимальна ентропія;  $n$  — кількість об'єктів поля сприйняття.

Отже, змінювання швидкості руху, на підставі якої мають базуватися напрями реконструкції дорожнього середовища, пов'язується зі зміною максимальної ентропії, що є вхідним параметром для водія.

Експериментальні дослідження здійснено з використанням легкових автомобілів, на яких було розміщено обладнання для безперервної реєстрації швидкості руху та факторів дорожнього середовища. Під час оброблення результатів експерименту на кожному відрізку поля сприйняття водія розраховували максимальну ентропію за формулою (1).

За результатами досліджень побудовано залежність фактичної швидкості руху від максимальної ентропії поля сприйняття водія  $V = f(H_m)$  (рис. 1). Отримана залежність свідчить про те, що зі збільшенням максимальної ентропії швидкість зменшується.

Аналіз залежності  $V = f(H_m)$  оцінено рівнянням лінійної регресії:

$$V = -0.409 H_m + 80.87. \quad (2)$$

Значення коефіцієнта кореляції  $r = 0.830$  свідчить про великий вплив максимальної ентропії поля сприйняття на швидкість руху.

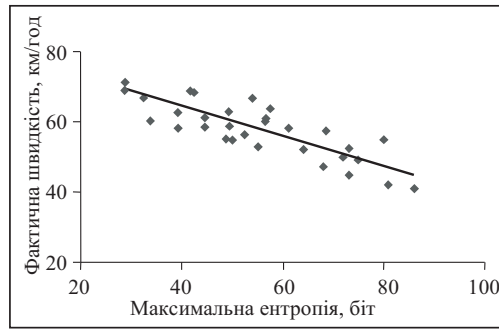


Рис. 1. Залежність фактичної швидкості руху від максимальної ентропії поля сприйняття під час руху у вільному режимі

### ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ВАДС

Побудова математичної моделі має базуватися на визначенні системи ВАДС як слідкувальної. Під час руху водій, оцінюючи дорогу попереду, обирає швидкість безпечного руху автомобіля та його відповідну траєкторію. Таким чином, водій, який є підсистемою в контурі регулювання, одержує інформацію на «вході», переробляє її і надсилає на «вихід». Замикання контуру передачі інформації або забезпечення спрямованої дії контуру є засобом регулювання.

Математичну модель системи автоматичного регулювання руху водія дорогою реалізовано в інтерактивному середовищі для виконання наукових та інженерних розрахунків MATLAB засобами пакета Simulink.

За базу прийнято модель, запропоновану в роботі [4], в якій розглянуто випадок руху автомобіля у транспортному потоці без обгонів, і стан системи ВАДС оцінено в дорожніх умовах з урахуванням тільки стаціонарних об'єктів. Водій у моделі [4] представлений як інтегрально-диференціальна ланка  $W_B(s)$ , яка складається з двох ланок: інтегральної, що характеризує затримку під час виконання керувальних дій з постійною часу  $T_2$ , і диференціальної ланки з постійною часу  $T_1$ , що характеризує прогностичну спроможність водія. Також до схеми додано інерційну ланку  $W_{BR}(s)$ , яка характеризує реакцію водія  $T_4$  на дорожню обстановку.

У разі здійснення обгону хоча б одним учасником руху дорожнє середовище змінюється. Надходження додаткової інформації призводить до виникнення сукупності пристосувальних реакцій водія, що відображається у закономірностях змінювання максимальної ентропії в межах його поля сприйняття.

У цьому разі час реакції водія буде збільшуватися внаслідок затримки, пов'язаної з необхідністю оцінити можливість здійснення відповідного маневру, виконати дії щодо перехоплення рук на кермовому колесі й увімкнути сигнал повороту. Отже, у передавальній функції водія збільшуються значення постійних часу  $T_1$  і  $T_2$ . Значення цих постійних часу обрано на підставі досліджень С.А. Осташевського [3].

Передавальна функція автомобіля, описана в роботі [4], включає час реакції на спрацювання виконавчих пристроїв автомобіля і подана як інерційна ланка.

У цій роботі інерційна ланка доповнена ланкою запізнювання, пов'язаною з реакцією кермового механізму автомобіля, і представлена інерційною ланкою другого порядку

$$W_{AB}(s) = \frac{K_o}{T_3^2 s^3 + 2T_3 s^2 + s}, \quad (3)$$

де  $W_{AB}(s)$  — передавальна функція автомобіля;  $K_o$  — коефіцієнт посилення-перетворення;  $T_3$  — постійна часу, що залежить від швидкості руху, типу транспортного засобу, різновиду приводу та визначається часом спрацювання виконавчих механізмів автомобіля.

Засобами пакета MATLAB Simulink побудовано модель системи автоматичного регулювання (рис. 2).

У моделі (рис. 2) прийнято такі позначення:  $K_i$  — коефіцієнт перетворення вимірника неузгодженості;  $K_y$  — коефіцієнт перетворення формувальної ланки («інтелектуального» керувального пристрою);  $K_{oc1}$  — коефіцієнт негативного зворотного зв'язку «за швидкістю», який розглядають як підсилювач диференціальної ланки, що дає змогу «регулювати» помилку в контурі керування;  $1/s$  — ланка запізнювання, що пов'язана зі зміною поведінкової неузгодженості та ухваленням рішення;  $K_h$  — коефіцієнт негативного зворотного зв'язку загальної системи регулювання;  $K_{oc2}$  — коефіцієнт негативного зворотного зв'язку «за напрямом»;  $K_o$  — коефіцієнт перетворення каналу керування напрямом руху.

Модель (рис. 2) дає змогу обчислювати швидкість руху відповідно до змінювання значення максимальної ентропії під час руху дорогою.

Таким чином, максимальна ентропія  $H_m$  є вхідним параметром для водія, а швидкість руху — вихідним. З огляду на це, загальний вигляд передавальної функції буде таким [2]:

$$W_H(s) = \frac{V_H(s)}{H_m(s)}, \quad (4)$$

де  $W_H(s)$  — загальна передавальна функція всієї системи;  $V_H(s)$  — швидкість руху в операторній формі як значення вихідного сигналу;  $H_m(s)$  — максимальна ентропія в операторній формі як значення вхідного сигналу.

Отже, швидкість руху на виході системи визначається так:

$$V_H(s) = W_H(s) \cdot H_m(s). \quad (5)$$

Періодичне змінювання максимальної ентропії подано у вигляді послідовності прямокутних імпульсів. Систему цих імпульсів описано як суму окремих імпульсів  $h_i(t)$ :

$$H_m(t) = \sum_{i=1}^M h_i(t), \quad (6)$$

де  $h_i(t)$  — окремих імпульс, що розраховується таким чином:

$$h_i(t) = \begin{cases} H_{m_0}, & \text{якщо } (i-1)t_2 < t < (i-1)t_2 + t_1, \\ 0, & \text{якщо } (i-1)t_2 + t_1 < t < t_2, \end{cases} \quad (7)$$

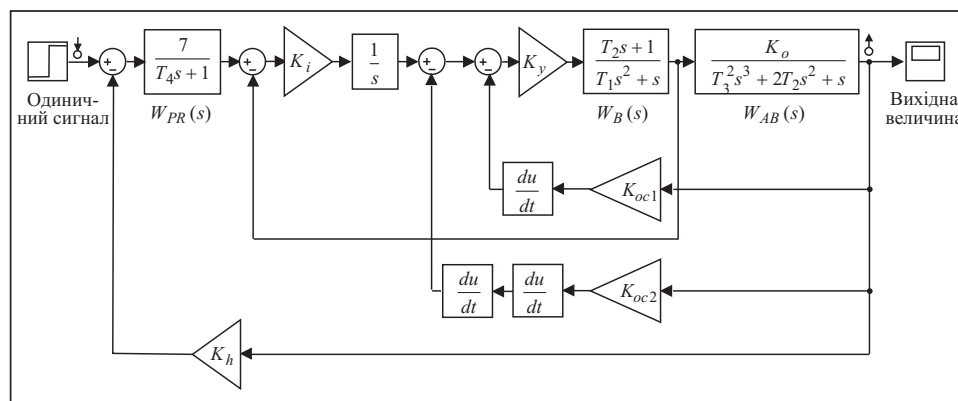


Рис. 2. Модель системи автоматичного регулювання, що формує керувальні дії водія щодо вибору швидкості й напрямку руху

де  $H_{m_0}$  — амплітуда впливу (імпульсу);  $i$  — номер впливу (імпульсу),  $i = 1, 2, 3, \dots, M$ ;  $t_2$  — чергування впливу (тривалість періоду);  $t_1$  — тривалість впливу (частина періоду).

З метою подальшого аналізу переведемо  $h_i(t)$  у простір зображень  $h_i(t) \xrightarrow{\bullet} h_i(s)$ . Тоді вираз (5) з урахуванням (6) набуде такого вигляду:

$$V_H(s) = W_H(s) \sum_{i=1}^M h_i(s). \quad (8)$$

Подамо  $h_i(t)$  як суму двох «протилежних» одиничних імпульсів і, використовуючи функцію Хевісайда  $\eta(t-t_0)$  [14], запишемо

$$h_i(t) = H_{m_0} [\eta(t - (i-1)t_2) - \eta((i-1)t_2 + t_1)]. \quad (9)$$

Перетворення Лапласа для функції (9) буде мати такий вигляд:

$$h_i(s) = \frac{H_{m_0}}{s} [e^{-(i-1)t_2s} - e^{-(i-1)t_2s - t_1s}]. \quad (10)$$

Для суми імпульсів маємо

$$H_m(s) = \sum_{i=1}^M h_i(s) = \sum_{i=1}^M \frac{H_{m_0}}{s} [e^{-(i-1)t_2s} - e^{-(i-1)t_2s - t_1s}]. \quad (11)$$

Беручи до уваги формулу (5), одержимо

$$V_H(s) = W_H(s) \sum_{i=1}^M \frac{H_{m_0}}{s} [e^{-(i-1)t_2s} - e^{-(i-1)t_2s - t_1s}]. \quad (12)$$

У рівнянні (12) функція  $W_H(s)$  є передавальною з невизначеними параметрами. Для визначення параметрів передавальної функції спочатку було проведено дослідження системи щодо реакції на одиничний імпульс. Передавальна функція представленої моделі має постійні параметри:  $T_1 = 0.25$ ;  $T_2 = 0.5$ ;  $T_3 = 0.6$ ;  $T_4 = 0.6$ ;  $K_y = 2$ ;  $K_i = 1$ ;  $K_h = 0.8$ ;  $K_{oc1} = 0,1$ ;  $K_{oc2} = 1 \cdot 10^{-3}$ ;  $K_o = 0.08$ . Перехідний процес системи ВАДС до одиничного сигналу зображено на рис. 3, відповідно до якого вихідні сигнали змінюються як коливання зі загасанням і тяжінням процесу до сталого значення.

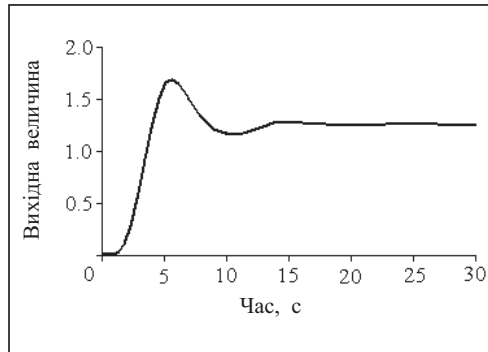


Рис. 3. Перехідний процес системи ВАДС до одиничного сигналу

За допомогою запропонованої моделі автоматичного регулювання для формування керувальних дій водія отримано передавальну функцію системи. Для спрощення передавальної функції використано лінеаризацію моделі та отримано модель, представлену у формі полюсів і нулів.

Передавальна функція лінеаризованої моделі має сім полюсів і нуль. Відповідно до цього передавальна функція лінеаризованої моделі має такий вигляд:

$$W_H(s) = \frac{s+2}{(s+0.294-0.671j)(s+0.294+0.671j)(s+0.4-1.38j)} \times \frac{1}{(s+0.4+1.38j)(s+2.07-0.146j)(s+2.07+0.146j)(s+3.46)}. \quad (13)$$



У результаті перетворення (13) отримуємо

$$W_H(s) = \frac{s+2}{s^7 + 8.99s^6 + 32.25s^5 + 65.75s^4 + 91.46s^3 + 84.74s^2 + 45.51s + 16.5}. \quad (14)$$

Загальний коефіцієнт підсилення дорівнює 8.3.

Таким чином, на основі системи автоматичного регулювання для формування керувальних дій водія отримано передавальну функцію системи ВАДС:

$$W_H(s) = \frac{8.3(s+2)}{s^7 + 8.99s^6 + 32.25s^5 + 65.75s^4 + 91.46s^3 + 84.74s^2 + 45.51s + 16.5}. \quad (15)$$

Формула (8) перетвориться до вигляду

$$V_H(s) = \frac{8.3(s+2)}{s^7 + 8.99s^6 + 32.25s^5 + 65.75s^4 + 91.46s^3 + 84.74s^2 + 45.51s + 16.5} H_m(s), \quad (16)$$

а вираз (16) з урахуванням (6) буде таким:

$$V_H(s) = \frac{8.3(s+2)}{s^7 + 8.99s^6 + 32.25s^5 + 65.75s^4 + 91.46s^3 + 84.74s^2 + 45.51s + 16.5} \sum_{i=1}^M h_i(s). \quad (17)$$

Отже, з урахуванням формули (12) вираз (17) набуде вигляду

$$V_H(s) = \frac{8.3(s+2)}{s^7 + 8.99s^6 + 32.25s^5 + 65.75s^4 + 91.46s^3 + 84.74s^2 + 45.51s + 16.5} \times \sum_{i=1}^M \frac{H_{m_0}}{s} [e^{-(i-1)t_2s} - e^{-(i-1)t_2s - t_1s}]. \quad (18)$$

Знайдемо перетворення

$$V_H(s) = \frac{8.3(s+2)H_{m_0}}{s^7 + 8.99s^6 + 32.25s^5 + 65.75s^4 + 91.46s^3 + 84.74s^2 + 45.51s + 16.5} \times \sum_{i=1}^M \frac{1}{s} [e^{-(i-1)t_2s} - e^{-(i-1)t_2s - t_1s}]. \quad (19)$$

Відповідно до виразу (19) сформовано входні сигнали за допомогою ступінчастих функцій, у яких зміна максимальної ентропії відповідає даним графіка, наведеним на рис. 1, а значення величини збільшення імпульсу дорівнює різниці послідовних значень швидкості руху (рис. 4, де ПШ — початкова швидкість, СС*i* — *i*-й ступінчатий сигнал, *i* = 1, 7).

Як результат на виході системи отримано функцію, що описує змінювання значень швидкості руху відповідно до змінювання максимальної ентропії дорожнього середовища (рис. 5).

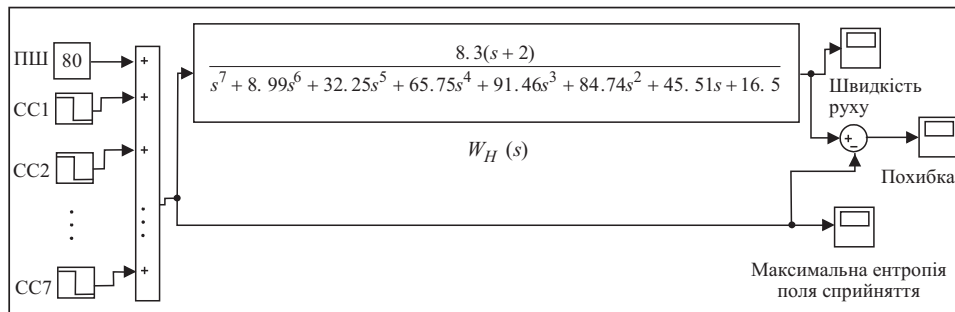


Рис. 4. Модель для визначення значення швидкості руху на виході системи

Адекватність моделі для визначення швидкості руху оцінено за допомогою показника середньої похибки апроксимації, що набуває значення 6.623 %. Це задовольняє умову адекватності і свідчить про великий ступінь збігу результатів моделювання й експерименту.

Якщо говорити про характеристику самих умов, то в [15] встановлено оптимальне значення максимальної ентропії  $H_m = 64$  біт, яке відповідає згідно з формулою (1) восьми об'єктам поля сприйняття — за цими характеристиками організм водія перебуває в нормі або у стані функціонального комфорту. На підставі експериментальних даних відповідна безпечна швидкість руху становить 55 км/год. Отже, створюючи умови на дорозі, потрібно забезпечити оптимальне значення кількості елементів дорожньої обстановки в межах поля сприйняття водія і тим самим гарантувати безпечну швидкість руху.

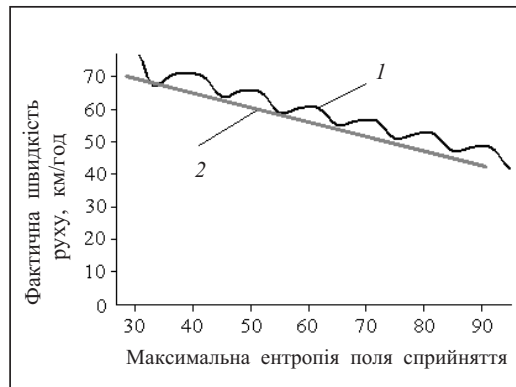


Рис. 5. Результати моделювання: за моделлю (1), експеримент (2)

## ВИСНОВКИ

1. Проведені експериментальні дослідження дали змогу оцінити комплексний вплив дорожніх умов на систему ВАДС на підставі значень максимальної ентропії. Отриманий зв'язок цього показника і швидкості руху свідчить про те, що зі збільшенням максимальної ентропії швидкість зменшується.

2. Створено математичну модель системи ВАДС, яка дає змогу обчислювати швидкість руху відповідно до впливу інформації дорожнього середовища на систему ВАДС за комплексною характеристикою — максимальною ентропією. Отримана передавальна функція уможливує визначення швидкості руху в загальному транспортному потоці з обгонами в певні моменти часу в різних дорожніх ситуаціях.

3. Порівняно результати моделі з експериментальними даними за допомогою показника середньої похибки апроксимації. Результати свідчать про адекватність запропонованої моделі.

4. Доведено, що створюючи умови на дорозі, потрібно забезпечити оптимальне значення кількості елементів дорожньої обстановки в межах поля сприйняття водія, що дорівнює восьми, і тим самим гарантувати безпечну швидкість руху.

5. Напрямом подальшої роботи є дослідження системи ВАДС у різних погодних умовах, які суттєво впливають на режими руху автомобіля.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гаврилов Э.В., Гридчин А.М., Ряпухин В.Н. Системное проектирование автомобильных дорог. Белгород: АСВ, 1998. 138 с.
2. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами. Москва: Наука, 2003. 428 с.
3. Соколова И.С. Использование энтропийно-вероятностного моделирования в задачах мониторинга и управления сложными системами. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование: науч.-техн. сб. Иркут. гос. ун-та путей сообщения. 2012. № 4. С. 35–39.
4. Кульбашная Н.И., Сорока К.А. Разработка модели выбора скорости движения водителем с учетом дорожной обстановки. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2016. Вып. 3/2 (81). С. 22–28.
5. Осташевский С.А. Определение понятий «управляемость автомобилей» и «вождение машины» в системе «водитель – автомобиль – дорога». Вестник ХНАДУ. 2013. Вып. 61–62. С. 300–303.
6. Хачатуров А.А. и др. Динамика системы «дорога – шина – автомобиль – водитель». Москва: Машиностроение, 1976. 535 с.



7. Sanyal S., Goswami R., Nath A. Stability improvement in automobile driving through feedback loop and compensator. *Research Inventy: International Journal of Engineering and Science*. 2012. Vol. 1, Iss. 10. P. 54–58.
8. Soleymani G., Kamari N.M., Afkar A. Simulation of driver model for traffic safety considering road conditions. *J. Mater. Environ. Sci.* 2015. Vol. 6, N 7. P. 1957–1964.
9. Miura Y., Tokutake H., Fukui K. Handling qualities evaluation method based on actual driver characteristics. *Vehicle System Dynamics*. 2007. Vol. 45, N. 9. P. 807–817.
10. Дяб А.О. Поведенческое моделирование эффективности управления автотранспортными средствами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2013. 21 с.
11. Креспо С.Х. Планирование мероприятий по повышению уровня удобства движения на двухполосных автомобильных дорогах: дис. ... канд. техн. наук. Харьков, 1991. 278 с.
12. Голованенко Н.С. Оценка эргономического качества автомобильных дорог и условий движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харьков, 1983. 25 с.
13. Саркісян М.В. Удосконалення методів психологічного і примусового регулювання швидкостей руху на автомобільних дорогах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харків: ХНАДУ, 2003. 20 с.
14. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К., Лановий О.Т., Линник І.Е., Поліщук В.П. Системологія на транспорті: у 5 кн. Кн. 2: Технологія наукових досліджень і технічної творчості. Київ: Знання України, 2007. 318 с.
15. Кульбашная Н.И. Соответствие условий дорожной среды функциональному состоянию водителя. *Коммунальное хозяйство міст*. 2017. Вип. 134. С. 108–112.

*Надійшла до редакції 03.05.2018*

**Н.И. Кульбашная, К.А. Сорока, И.Э. Линник**  
**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ЭРГОНОМИЧНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ**  
**НА ДОРОГЕ**

**Аннотация.** Предложено для формирования эргономичных условий движения в системе «водитель – автомобиль – дорожная среда» использовать математическую модель теории автоматического управления, в которой особенности регулирования движения определяют переходным процессом, описанным передаточными функциями автомобиля и водителя. Предложенная модель дает возможность моделировать процессы регулирования скорости движения в соответствии с дорожной обстановкой, влияние которой на водителя оценивается комплексной характеристикой — максимальной энтропией среды движения.

**Ключевые слова:** условия движения, энтропия среды, скорость движения, передаточная функция.

**N.I. Kulbashna, K.O. Soroka, I.E. Lynnyk**  
**SYSTEMS APPROACH TO ERGONOMIC PROVISION OF ROAD TRAFFIC CONDITIONS**

**Abstract.** It is proposed to use a mathematical model of the automatic control theory, in which the features of traffic control are determined by the transition process described by the transfer functions of the car and the driver, to form ergonomic driving conditions in the system “driver–car–road environment.” The proposed model makes it possible to simulate speed control processes in accordance with the traffic situation whose impact on the driver is estimated by the complex characteristic: the maximum entropy of the traffic environment.

**Keywords:** motion conditions, entropy of the medium, speed of motion, transfer function.

**Кульбашна Надія Іванівна,**  
 кандидат техн. наук, старший викладач Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова, e-mail: kulbakanadia810@gmail.com.

**Сорока Костянтин Олексійович,**  
 кандидат техн. наук, доцент, старший науковий співробітник Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова, e-mail: katoroka@ukr.net.

**Линник Ирина Едуардівна,**  
 доктор техн. наук, профессор Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова, e-mail: linnik.xnugx@gmail.com.