

УДК 625.72

М.В.Кони́к

## ІНФОРМАТИВНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДОРОЖНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

*Розглядається автомобільна дорога та прилеглий придорожній простір як об'єднане дорожнє середовище. Дорожнє середовище представлено як певна інформаційна система. Наводиться методика мінімізації функціоналу інформативності з врахуванням щільності елементів дорожнього середовища, місця розташування автомобіля, моменту часу та швидкості руху.*

**Ключові слова:** автомобільна дорога, дорожнє середовище, інформаційна система, щільність елементів.

М.В.Кони́к

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНОЙ СРЕДЫ

*Рассматривается автомобильная дорога и прилегающее придорожное пространство как единая дорожная среда. Дорожная среда рассматривается как некая информационная система. Наводится методика минимизации функционала информативности с учетом плотности элементов дорожной среды, места расположения автомобиля, времени и скорости движения.*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, дорожная среда, информационная система, плотность элементов.

М.Кони́к

## INFORMATION CONTENT OF ROAD'S ENVIRONMENT ELEMENTS

*Road environment is an optical corridor along the entire length of the road, which includes the actual road and the adjacent roadside space that gets into the driver's peripheral field of vision. Elements of road environment are the information points that can be major and minor. The driver sees everything as a whole, focusing on the most important elements for the movement on this part of the road, so you need to solve the problem of minimizing the functional information content, taking into account the density of the elements of the road environment. Such optimization of the environment in the "driver - vehicle - road - environment" system is a part of solving the road safety problem.*

*The road and adjacent roadside space are considered as combined road environment. Road environment is presented as a kind of information system. The article gives the method of minimizing the functional information content, taking into account the density of the elements of the road environment, vehicle location, time and speed.*

*The density of the elements of the road environment as spatial variable along the length of architecture and landscape forms is the objective characteristic of road environment. The density of the elements as a variable can be corrected within the roadbed (the presence of an axial partitioning, boundary marking, fenced roadsides, etc.) and by the adjacent landscape elements (parameters that characterize buildings, vegetation, elements of engineering maintenance, etc.) It depends on the time and place of vehicle movement and can be defined by the above formula, solving the task of optimal traffic control environment as spatial system with given distributed parameters, described by a parabolic equation.*

**Key words:** motorway, road environment, information system, density of elements.

**Постановка проблеми.** Дорожнє середовище – є оптичний коридор по всій довжині дороги, в межі якого входить власне дорога та прилеглий ландшафт, який попадає в переферійне поле зору водія. Елементи дорожнього середовища є інформаційними точками, які можуть бути головними та другорядними. Водій сприймає все в цілому, акцентуючи увагу на найбільш важливих елементах для процесу руху на даній ділянці дороги, тому необхідно вирішувати задачу мінімізації функціоналу інформативності з врахуванням щільності елементів дорожнього середовища. Така оптимізація середовища в системі «водій – автомобіль – дорога - середовище» є складовою вирішення проблем безпеки руху.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз досліджень і публікацій по даній тематиці свідчить, що започатковані у 80-х роках дослідження по цій проблематиці[1, 7, 10, 5], поглиблювались та розширювались по мірі розуміння прямого впливу на водія дорожнього середовища і актуальності проблем безпеки руху[8, 9, 11].

**Невирішені раніше частини загальної проблеми.** Дорожнє середовище є інформаційною системою. Раціональна організація дорожнього середовища, тобто її оптимізація, полягає в визначенні кількості інформаційних елементів ( $x$ ) на ділянці дороги ( $l$ ), нормуванні їх параметрів і визначенні місць розташування по довжині архітектурно-ландшафтного басейну дороги. Методика рішення цієї задачі шляхом мінімізації функціоналу інформативності дорожнього середовища наведена в роботі[3]. Але на інформативність ділянки дороги довжиною  $0 \leq x \leq l$  впливає не тільки кількість інформаційних елементів та їх

параметрів, але і щільність концентрації інформаційних елементів  $f(x,t)$ , яка є нерівномірною і буде залежати від місця розташування ( $x$ ) автомобіля по довжині ділянки дороги (фактично то є місце зони фіксації уваги водія), та моменту часу ( $t$ ) руху автомобіля, що змінюється в інтервалі  $0 \leq t \leq T$  при швидкості руху ( $v$ ).

**Мета дослідження.** Метою дослідження є пошук взаємозв'язку кількості елементів дорожнього середовища та характеристики дорожнього середовища по довжині архітектурно – ландшафтного басейну.

**Основний зміст і результати дослідження.** З врахуванням щільності концентрації вираз функціоналу інформативності дорожнього середовища можна записати

$$I(u, f) = \int_0^l |V(x, T, u, f) - y(x)|^2 dx \quad (1)$$

де  $V(x, t, u, f)$  є рішенням рівняння

$$\frac{\partial v}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + f(x, t), \quad (x, t) \in Q \quad (2)$$

при граничних та початкових умовах як в роботі [3]

$$\frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad 0 < t \leq T, \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=l} = v(u(t) - v(l, t)), \quad 0 < t \leq T, \quad (4)$$

$$v \Big|_{t=0} = \varphi(x), \quad 0 \leq x \leq l, \quad (5)$$

де:  $a^2, l, v, T$  - задані величини, що більше 0;

$$a \leq u(t) \leq b, \quad 0 < t \leq T, \quad (6)$$

де:  $a, b$  - відомі числа граничних значень.

Управління  $f = f(x, t) \in L_2(Q)$  таке, що

$$\iint_Q |f(x, t)|^2 dx dt \leq D^2 \quad (7)$$

$D > 0$  - задане число.

Прирошення функціоналу інформативності дорожнього середовища з врахуванням щільності концентрації інформаційних елементів (1) запишеться  $\Delta I = I(u + \Delta u, f + \Delta f) - I(u, f)$ , або у вигляді

$$\Delta I = \int_0^T a^2 v \psi(l, t, u, f) \Delta u(t) dt + \iint_Q \psi(x, t, u, f) \Delta f(x, t) dx dt + R, \quad (8)$$

$$\text{де } R = \int_0^l |\Delta v(x, T)|^2 dx, \quad \Delta v(x, t) = v(x, t, u + \Delta u, f + \Delta f) - v(x, t, u, f).$$

Для остаточного члена  $R$  рівняння (8) можна довести (опускається для скорочення), що є вірною оцінка

$$|R| \leq C_1 \int_0^T |\Delta u(t)|^2 dt + C_2 \iint_Q |\Delta f(x, t)|^2 dx dt \quad (9)$$

де  $C_1, C_2$  – постійні, що більше нуля і які не залежать від вибору  $\Delta u, \Delta f$ .

З оцінки (9) виходить, що перші дві складові в виразі (8) представляють собою головну лінійну частину приросту функціоналу інформативності дорожнього середовища. Якщо позначити пару функцій  $(u(t), f(x, t)) = U$  та ввести скалярний добуток двох пар  $U_1 = (u_1, f_1)$  та

$U_2 = (u_2, f_2)$  наступним чином  $\langle U_1, U_2 \rangle_H = \int_0^T u_1(t) u_2(t) dt + \iint_Q f_1(x, t) f_2(x, t) dx dt$ , то одержимо

гільбертовий інформаційний простір пар  $U = (u, f) \in L_2[0, T] \times L_2(Q) \equiv H$  з нормою

$$\|U\|_H = \left( \int_0^T |u(t)|^2 dt + \iint_Q |f(x, t)|^2 dx dt \right)^{\frac{1}{2}}. \quad \text{Введемо позначення}$$

$$I'(u, f) = \{a^2 v \psi(l, t, u, f), \psi(x, t, u, f)\} \in H \quad (10)$$

Формула (10) є виразом градієнта функціоналу інформативності дорожнього середовища, причому перша компонента пари тут є аналогом похідної по перемінній ( $u$ ) – кількості інформаційних елементів середовища, а друга компонента пари є аналогом похідної по перемінній ( $f$ ) – щільності концентрації інформаційних елементів.

Тоді з врахуванням щільності концентрації формулу приросту функціоналу інформативності дорожнього середовища (8) можемо записати у вигляді  $\Delta I \approx I'(u, f), \Delta U >_H + O(\|\Delta U\|_H)$ .

Зрозуміло, що прийняття рішення по оптимізації інформативності дорожнього середовища та побудові раціональної композиції по довжині архітектурно-ландшафтного басейну ділянки автомобільної дороги має бути тільки після попереднього обстеження існуючих дорожніх умов на ділянці.

Потрібно мати інформацію про кількість наявних інформаційних елементів в архітектурно-ландшафтному басейні автомобільної дороги.

Тобто вважаємо, що наближення  $U_n = (u_n(t), f_n(x, t))$  нам відомо. Тоді  $n+1$  наближення запишеться  $U_{n+1} = (u_{n+1}(t), f_{n+1}(x, t))$ . Як доведено в роботі [4], по методу проекції градієнта для  $\bar{u}_{n+1}(t)$  запишемо

$$u_{R+1}(t) = \begin{cases} u_n(t) - \alpha_n a^2 v \psi(l, t, u_n), & \text{якщо } a \leq u_n(t) - \alpha_n a^2 v \psi(l, t, u_n) \leq b, \\ a, & \text{якщо } u_n(t) - \alpha_n a^2 v \psi(l, t, u_n) < a, \\ b, & \text{якщо } u_n(t) - \alpha_n a^2 v \psi(l, t, u_n) > b. \end{cases} \quad (11)$$

А вираз для визначення щільності концентрації інформаційних елементів та методу проекції градієнта буде мати вигляд:

$$f_{n+1}(x, t) = \begin{cases} f_n(x, t) - \alpha_n \psi(x, t, u_n), \\ \text{якщо } \iint_Q |f_n(x, t) - \alpha_n \psi(x, t, u_n)|^2 dx dt \leq D^2, \\ \frac{D(f_n(x, t) - \alpha_n \psi(x, t, u_n))}{\left(\iint_Q |f_n(x, t) - \alpha_n \psi(x, t, u_n)|^2 dx dt\right)^{\frac{1}{2}}}, \\ \text{якщо } \iint_Q |f_n(x, t) - \alpha_n \psi(x, t, u_n)|^2 dx dt > D^2. \end{cases} \quad (12)$$

При заснуванні методу умовного градієнту [2], для визначення  $\bar{U}_n = (\bar{u}_n(t), \bar{f}_n(x, t))$  в задачі, що розглядається запишемо

$$\begin{aligned} & \int_0^T a^2 v \psi(l, t, u_n) \bar{u}_n(t) dt + \iint_Q \psi(x, t, u_n) \bar{f}_n(x, t) dx dt = \\ & = \min_{(u, f) \in V} \left( \int_0^T a^2 v \psi(l, t, u_n) u(t) dt + \iint_Q \psi(x, t, u_n) f(x, t) dx dt \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Тоді вираз для визначення  $\bar{f}_n(x, t)$  буде мати вигляд

$$\bar{f}_n(x, t) = \frac{D \psi(x, t, U_n)}{\left(\iint_Q |\psi(x, t, U_n)|^2 dx dt\right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (14)$$

В результаті теоретичних досліджень ітераційний процес зміни кількості елементів дорожнього середовища та щільності їх концентрації в часі руху та місці розташування по довжині ділянки дороги, запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} u_{n+1}(t) &= u_n(t) + \alpha_n (\bar{u}_n(t) - u_n(t)), \\ f_{n+1}(x,t) &= f_n(x,t) + \alpha_n (\bar{f}_n(x,t) - f_n(x,t)), \quad 0 \leq \alpha_n \leq 1. \end{aligned} \quad (15)$$

Значення  $\alpha_n$  може бути знайдене одним із відомих способів для певних обмежень [6]. За методом умовного градієнта величина  $\alpha_n$  знайдеться:

$$\alpha_n^* = \frac{\int_0^T a^2 v \psi(l,t, U_n) (u_n(t) - \bar{u}_n(t)) dt + \iint \psi(x,t, U_n) (f_n(x,t) - \bar{f}_n(x,t)) dx dt}{2 \iint \left| v(x, T, \bar{U}_n) - v(x, T, U_n) \right|^2 dx} \geq 0 \quad (16)$$

тут  $\psi(x,t, U_n)$  та  $v(x,t, U)$  - рішення граничних задач [3], що відповідають вибраним  $U = (u(t), f(x,t))$ .

**Висновки.** Таким чином щільність елементів дорожнього середовища, як просторова перемінна по довжині архітектурно-ландшафтного басейну, є об'єктивною характеристикою дорожнього середовища. Щільність елементів, як величина перемінна, може коректуватись елементами в межах земляного полотна (наявність осьової розмітки, крайової розмітки, укріплених узбіч тощо) та елементами прилеглої ландшафту (параметри, що характеризують забудову, рослинність, елементи інженерного забезпечення тощо). Вона залежить від часу та місця руху автомобіля і може бути визначеною за наведеними формулами, при вирішенні задачі оптимального управління дорожнім середовищем, як просторової системи із заданими розподіленими параметрами, що описуються параболічними рівняннями.

1. Бегма И.В. Учет психофизиологии водителя при проектировании дорог. / И.В. Бегма, Э.В. Гаврилов, Я. А. Калужский. – М.: Транспорт, 1976. - 204с.
2. Гайдукевич В.А. Використання методу умовного градієнта в задачах оптимізації дорожнього середовища. / В.А. Гайдукевич. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1999 - Вип.58 - С. 127-132.
3. Гайдукевич В.А. До питання про оптимізацію дорожнього середовища. / В.А. Гайдукевич. // Вісник УТУ. – 1999 - С.75 - 78.
4. Гайдукевич В.А. Метод проекції градієнта в задачі оптимізації дорожнього середовища. / В.А. Гайдукевич. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2000 - Вип.59 - С.130-133.
5. Гайдукевич В.А. Экспериментальные исследования распределение внимания водителей. / В.А. Гайдукевич. // Автотранспортник Украины. – 1983 - №4 – С.50 – 51.
6. Ладыженская О.А. Краевые задачи математической физики. / О.А. Ладыженская. - М.: «Наука», 1973 - 82с.
7. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя. / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1980. – 311с.
8. Романов А.Н. Автотранспортная психология. / А.Н. Романов. – М.: Изд-во «Академия», 2002. – 224с.
9. Селюков Д.Д. Видимость, режимы и безопасность движения. / Д.Д. Селюков // Вираз. – 1994 - №8 – С.18-19.
10. Селюков Д.Д. Рекомендации по оценке сложности движения на автомобильных дорогах. Деп. БЕЛНИИТИ. / Д.Д. Селюков, В.В. Суходоев. – 1982 - № 379. - 21с.
11. Шахова Ю.А. Топологическое моделирование работоспособности водителя с позиций теории катастроф. / Ю.А. Шахова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009 - №4 – С.3-5.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2014.