

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ДАЛЬНІСТЬ ВИДИМОСТІ ДОРОЖНІХ ОБ'ЄКТІВ В ТЕМНУ ПОРУ ДОБИ ПРИ ЕКСПЕРТИЗИ ДТП

*Виконано обґрунтування комплексу параметрів впливу на дальність видимості, зазначені причини вибору найбільш вагомих факторів впливу, враховуючи необхідність визначення значень обраних параметрів на місці пригоди при складанні протоколу ДТП чи проведенні інших слідчих дій.*

**Ключові слова:** дорожні об'єкти, ДТП, дальність видимості.

**Вступ. Постановка проблеми.** Не дивлячись на те, що в темну пору доби інтенсивність руху транспортних засобів і пішоходів падає в 15–20 разів, аварійність скорочується значно менше, а важкість ДТП зростає [1]. В цей період суттєво зростає ймовірність наїздів автомобіля на пішоходів, велосипедистів і нерухомі перешкоди, тобто тих видів ДТП, для яких видимість має вирішальне значення. За статистичними даними біля 50 % ДТП (в темну пору доби до 90 %) складають наїзди на пішоходів, які й були вибрані в роботі в якості основних тест-об'єктів розрізнення. Найбільша кількість пішоходів, потерпілих внаслідок транспортного нещасного випадку з розрахунку на 100 тис. осіб зафіксована на Житомирщині – 8,8, найменша на Закарпатті – 2,5. Щодо частки осіб, що знаходились у легковому автомобілі, потерпіли внаслідок транспортного нещасного випадку, то найбільша кількість з розрахунку на 100 осіб зафіксована в Запорізькій області – 6,0, а найменша в Івано-Франківській – 2,8. Щодо третього розглянутого показника – потерпілих від інших транспортних нещасних випадків, то найвищий рівень летальних випадків демонструє Київщина – 7,6, а найменший – Луганська область з показником 1,9 на 100 тис. осіб. Також завдання оцінки дальності видимості виникає при проведенні автотехнічної експертизи ДТП. Від точності її визначення залежить об'єктивність прийняття рішення про винність або не винність водія.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вчасне прийняття водієм заходів щодо гальмування навіть за умов відсутності технічної можливості запобігання ДТП може засвідчувати, що водій прийняв необхідні міри, але в потрібний момент не міг запобігти пригоді. Вибір методики вирішення цього питання залежить від обставин пригоди, вихідних матеріалів справи. Розслідування ДТП, які сталися в темну пору доби включає в себе вирішення наступних головних питань [1, 2]: 1) чи відповідає вибрана водієм швидкість руху автомобіля відстані видимості дороги; 2) чи мав водій автомобіля технічну можливість запобігти ДТП в момент виникнення небезпеки (перешкоди) для руху; 3) у випадку перевищення водієм швидкості, що визначається за дальністю видимості дороги, чи знаходиться дане перевищення в причинному зв'язку з фактом даного ДТП? Для знаходження відповідей на поставлені запитання необхідно знати: дальність видимості дороги чи відстань загальної видимості, дальність видимості перешкоди чи відстань конкретної видимості. Дані величини визначаються експериментально. При визначенні дальності видимості, необхідно враховувати велику кількість якісних і кількісних факторів впливу (1), які характеризують: 1) об'єкт розрізнення (кутовий розмір  $\delta$ , коефіцієнт відбиття світла  $\rho$ ); 2) засліплюючу дію джерел (яскравість вуалізуючої завіси  $\beta$  чи коефіцієнт засліплення  $C$ ); 3) світлотехнічні параметри світлового приладу (силу світла  $I_{\text{св}}$ , кути розсіювання  $\alpha$  і  $\beta$ ); 4) рівень зорового сприйняття водія (контраст об'єкта розрізнення з фоном  $K_{\text{фак}}$ , яскравість адаптації  $B_a$ , нерівномірність розподілення яскравості в полі зору  $\gamma$ ) [3]:

$$S_e = f(\delta, \rho, I_{\text{св}}, \alpha, \beta, K_{\text{фак}}, B_a, \gamma, C). \quad (1)$$

Враховуючи, що найголовнішим показником ефективності автомобільних фар і інтегральною характеристикою процесу зорового сприйняття водія є дальність видимості дорожніх об'єктів, доцільно сконцентрувати увагу на факторах, що чинять вплив на дальність видимості та визначають швидкість і рівень безпеки руху в темну пору доби [1, 4].

**Мета даної роботи** – обґрунтування комплексу найбільш вагомих параметрів впливу на дальність видимості для подальшої розробки математичної моделі оцінки дальності видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби, яка б дозволяла визначати її без проведення дорожніх експериментів з достатньою точністю для формулювання висновку експерта-автотехніка.

**Викладення основного матеріалу. Структуризація факторів впливу та їх аналіз.** Для проведення структурної ідентифікації [5] дальності видимості дорожніх об'єктів слід розробити схему залежності дальності видимості від факторів впливу, беручи за основу розроблену схему внутрішніх та зовнішніх факторів впливу (рис. 1). Отже, створена структурна схема якісних і кількісних показників впливу на дальність видимості, яка розроблена згідно з (1), представлена на рисунку 1. На основі його необхідно

попередньо розробити загальну структуру моделі визначення дальності видимості, яка, в свою чергу, є занадто складною на даному етапі створення для практичної реалізації (рис. 2).

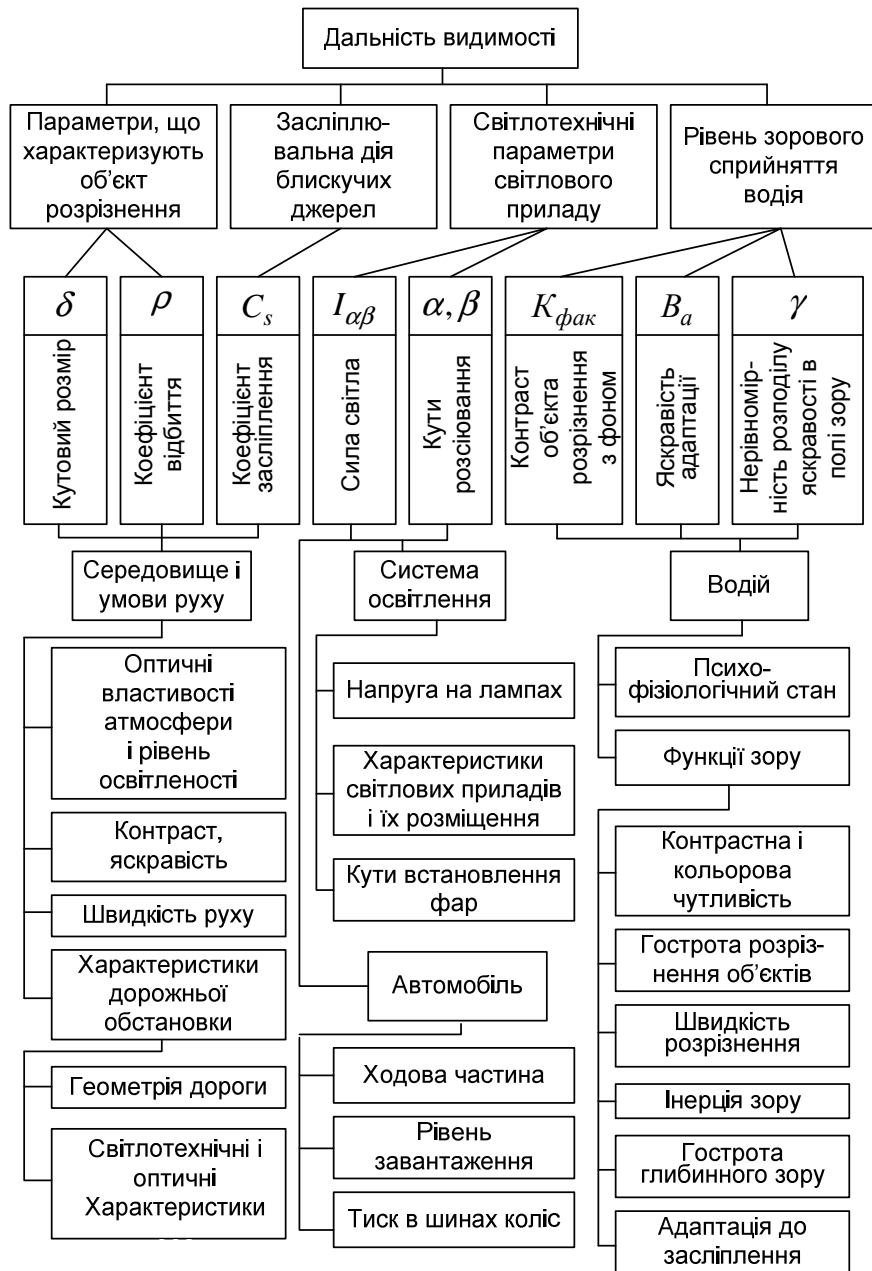
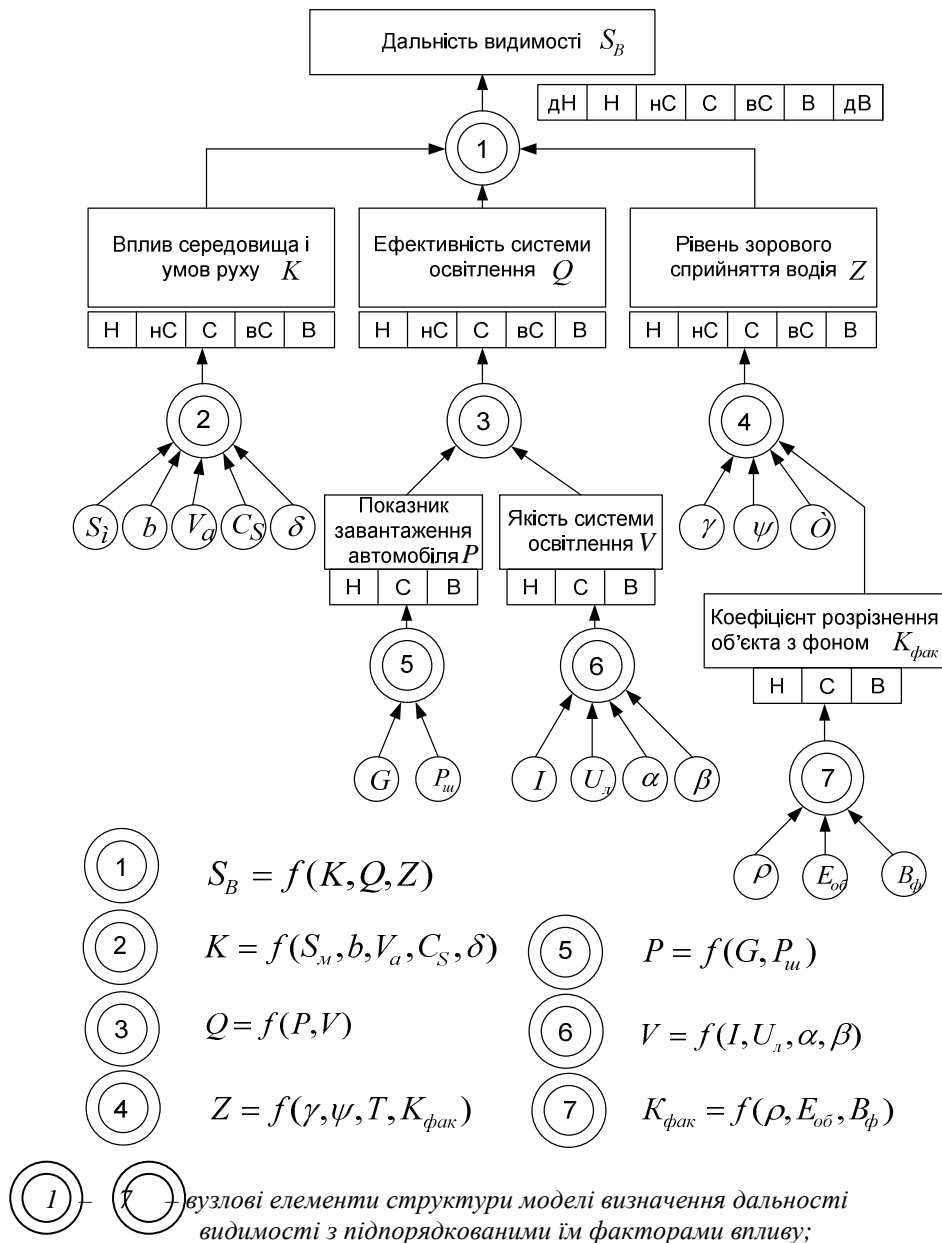


Рис. 1. Структурна схема якісних і кількісних показників впливу на дальність видимості

Отже обґрунтуємо вибір обраних факторів впливу.



дН, Н, нС, С, вС, В, дВ – відповідні якісні терми для оцінки факторів впливу: дуже низький, низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий, дуже високий

Рис. 2. Загальна структура моделі визначення дальності видимості

З розглянутого вище можна зробити висновок, що на дальність видимості впливають наступні параметри, що характеризують:

- 1) Об'єкт розрізнення:
  - кутовий розмір  $\delta$ ;
  - коефіцієнт відбиття світла  $\rho$ .
- 2) Засліплюючу дію блискучих джерел (система освітлення):
  - яскравість вуалізуючої завіси  $\beta$  чи коефіцієнт засліплення  $C$ .
- 3) Світлотехнічні параметри світлового приладу:
  - силу світла  $I$ ;
  - кути розсіювання  $\alpha$  і  $\beta$  у вертикальній і горизонтальній площинах;
  - тип лампи та стан робочих елементів фари і розсіювача фари.
- 4) Рівень зорового сприйняття водія:
  - гострота зору водія  $B$ ;

- контраст об'єкта розрізнення з фоном  $K_{\text{фак}}$  ;
  - яскравість адаптації  $B_a$  ;
  - нерівномірність розподілення яскравості в полі зору  $\gamma$  ;
  - тривалість роботи за кермом  $T$  .
- 5) Вплив середовища і умов руху:
- загальна дальність видимості для конкретних дорожніх умов  $W$
  - розташування перешкоди відносно осі автомобіля  $F$
  - оптичні властивості атмосфери;
  - геометрія дорожнього полотна.
- 6) Стан автомобіля:
- рівень завантаженості автомобіля  $G$  ;
  - тиск в шинах коліс  $P$  ;
  - висота встановлення центрів фар  $h$  ;
  - напруга на лампах фар  $U$  ;
  - стан контактної-перемикаючої системи та напруга акумуляторної батареї.

Розглянемо більш детально лише ті фактори впливу, які були відхилені при розробці моделі, як ті, що не чинять значного впливу на дальність видимості або їх вплив враховують інші фактори.

Розрізняють об'єкти великих ( $\delta = 30 \dots 60'$ ) та малих ( $\delta < 20'$ ) кутових розмірів. В даній роботі об'єктами розрізнення обрані пішоходи, які в свою чергу є об'єктами малих кутових розмірів (усереднена площа  $Q = 0,2 \text{ м}^2$ ) і залишаються сталими.

Коефіцієнт відбиття світла  $\rho$  – для темного об'єкту складає  $0,1 \dots 0,08$  і буде врахований в моделі опосередковано через контраст об'єкта розрізнення з фоном  $K_{\text{фак}}$  .

Сила світла фари  $I$  характеризує просторовий розподіл його випромінювання і напряму залежить від типу лампи, стану елементів фари, контактної-перемикаючої системи та стану акумуляторної батареї. Для кращого розуміння представимо процес розподілу ближнього і дальнього світла фар (рис. 3).

Оскільки на силу світла фар впливає велика кількість факторів пов'язаних зі станом електрообладнання автомобіля, то ефективність світлорозподілу будемо визначати за рівнем освітленості, яка створюється фарами, адже освітленість напряму пов'язана з силою світла.

В реальних умовах експлуатації фар сила світла визначається (2):

$$I = E \cdot L / \cos \lambda, \quad (2)$$

де  $E$  – освітленість у точці, виміряна люксометром, лк;  $L$  – відстань від джерела світла до місця вимірювань, м;  $\lambda$  – кут між світловим променем і перпендикуляром до екрану в цій точці,  $^\circ$ .

Наведемо допустимі значення максимальної сили дальнього світла фар у таблиці 1.

Таблиця 1

Допустимі значення максимальної сили дальнього світла фар

Документ	Правила КВТ ЄЕК ООН		ГОСТ 3544-75	SAF J579e (США)	Проекти правил КВТ ЄЕК ООН; ГОСТ 8769-75
	№ 1	№ 20			
Значення максимальної сили дальнього світла двох фар, кд.	40	60–300	43,75	75–150	200, 225, 300

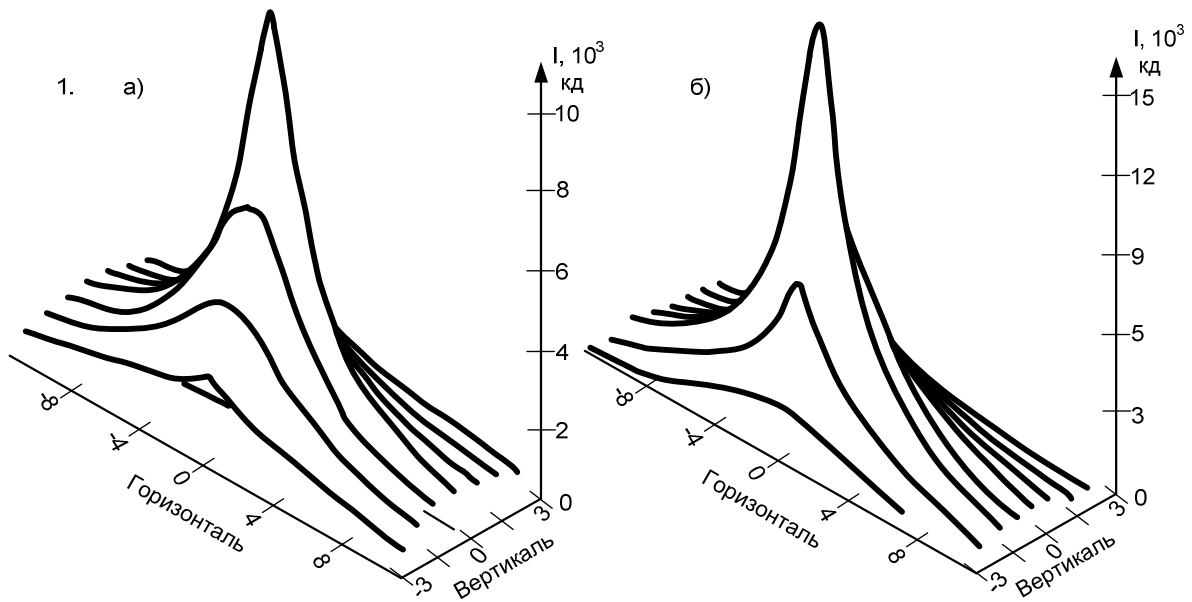


Рис. 3. Об'ємний розподіл світла фар: а) ближнє світло фар; б) дальнє світло фар

Вплив критичної освітленості дорожнього об'єкта на відстань видимості до нього.

За експериментальними даними визначено, що рівень  $E_{кр}$  зростає зі збільшенням відстані до об'єкта не лінійно, а за формулою (3):

$$E_{кр} = 10^{\frac{S_B - 40}{170}}. \quad (3)$$

Дальність видимості об'єкта тим більша, чим вищий рівень вертикальної освітленості його поверхні:

$$S_B = 170 \lg E_{кр} + 40. \quad (4)$$

На рисунку 4 представлені результати експериментального дослідження критичної освітленості об'єкта, які показали, що необхідна для розрізнення об'єкта освітленість зростає зі збільшенням відстані до нього, тобто вважати значення освітленості постійним невірно.

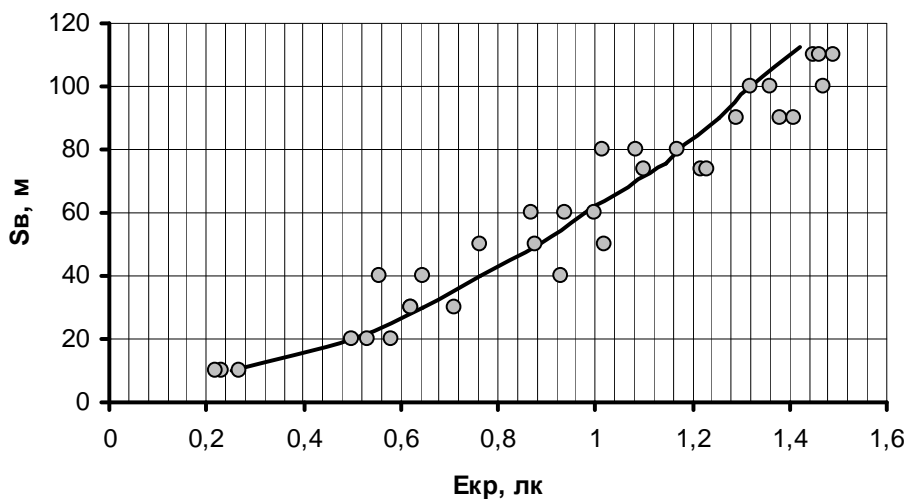


Рис. 4. Експериментальна залежність дальності видимості  $S_B$  від критичної освітленості об'єкта  $E_{кр}$

Вважаючи, що для забезпечення безпечних режимів руху освітленість об'єкта повинна бути забезпечена на відстані зупиночного шляху автомобіля ( $S_B = S_{зуп}$ ), мінімальну необхідну силу світла фар можна визначити за формулою (5):

$$I = E \cdot S_{зуп}^2 \quad (5)$$

Кути розсіювання  $\alpha$  і  $\beta$  у вертикальній і горизонтальній площинах в математичній моделі не враховуються, так як вважаємо, що автомобіль знаходиться в технічно справному стані і значення кутів регулювання фар відповідають вимогам заводу-виробника. Вплив даних параметрів на дальність видимості характеризує рівень завантаженості автомобіля, оскільки в результаті завантаження пружні елементи підвіски і шини деформуються, що призводить до зміни положення кузова відносно дороги і орієнтації світлового пучка фар.

Функції зору підвищуються зі збільшенням яскравості адаптації  $B_a$  (яскравості фону  $L_\phi$ ). Цей параметр слід визначати як середню яскравість ділянки дорожнього покриття, що освітлюється фарами:

$$L_\phi = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{n} \quad \text{чи} \quad L_\phi = \frac{E_{сер} \cdot r_{сер}}{\pi}, \quad (6)$$

де  $L_i$  – яскравість окремої точки освітленої частини дороги, кд/м<sup>2</sup>;  $n$  – кількість точок, у яких проводилися вимірювання яскравості, од;  $E_{сер}$  – середня горизонтальна освітленість дороги, лк;  $r_{сер}$  – середній коефіцієнт яскравості покриття, у. о.

Яскравість фону, на яку адаптується око водія: природне освітлення в безмісячну ніч  $10^{-5} \dots 10^{-4}$  кд/м<sup>2</sup>; освітлення автомобільними фарами  $10^{-2} \dots 10^{-1}$  кд/м<sup>2</sup>.

Яскравість фону для сутінкового зору, який характеризує зорову роботу водія при освітленні автомобільними фарами, знаходиться в межах:  $0,01 \text{ кд/м}^2 \leq L_\phi \leq 10 \text{ кд/м}^2$ .

Отже даний параметр не враховується, а вплив його на дальність видимості достатньою мірою характеризується освітленістю об'єкта.

Нерівномірність розподілення яскравості в полі зору  $\gamma$  не висвітлюється в факторах математичної моделі, так як є сталою величиною 1,09, що передбачає зниження видимості на 10 %.

Це зумовлено тим, що досить важко отримати низькі рівні яскравостей на ділянці дорожнього покриття, що розташована безпосередньо перед автомобілем і рекомендовано вважати, щ допустима нерівномірність розподілення яскравості на дорожньому покритті в межах центрального поля зору не повинна перевищувати співвідношення 10:1.

Через надзвичайну складність і неоднозначність визначення параметрів атмосфери і те, що існуючі методики для визначення оптичних властивостей атмосфери виявились неефективними для автотехнічної експертизи, даний параметр визначається опосередковано за допомогою загальної дальності видимості дорожньої обстановки.

Геометрія дорожнього полотна – в дослідженні прийнято обмеження, що розглядається прямолінійна ділянка дороги. Розташування перешкоди на дорозі  $F$  дає змогу оцінити дальність видимості об'єкта в світлі автомобільних фар – адже при асиметричному «європейському» світлорозподілі ліва та права частини дороги попереду автомобіля освітлюються по різному (рис. 5).

Коефіцієнт засліпленості  $C$ . Експериментальні дослідження показали, що засліпленість проявляється в збільшенні часу розрізнення і, як наслідок, в скороченні відстані видимості дорожніх об'єктів, причому час розрізнення зростає в декілька разів, якщо яскравість адаптації менша  $0,25 \text{ кд/м}^2$ .

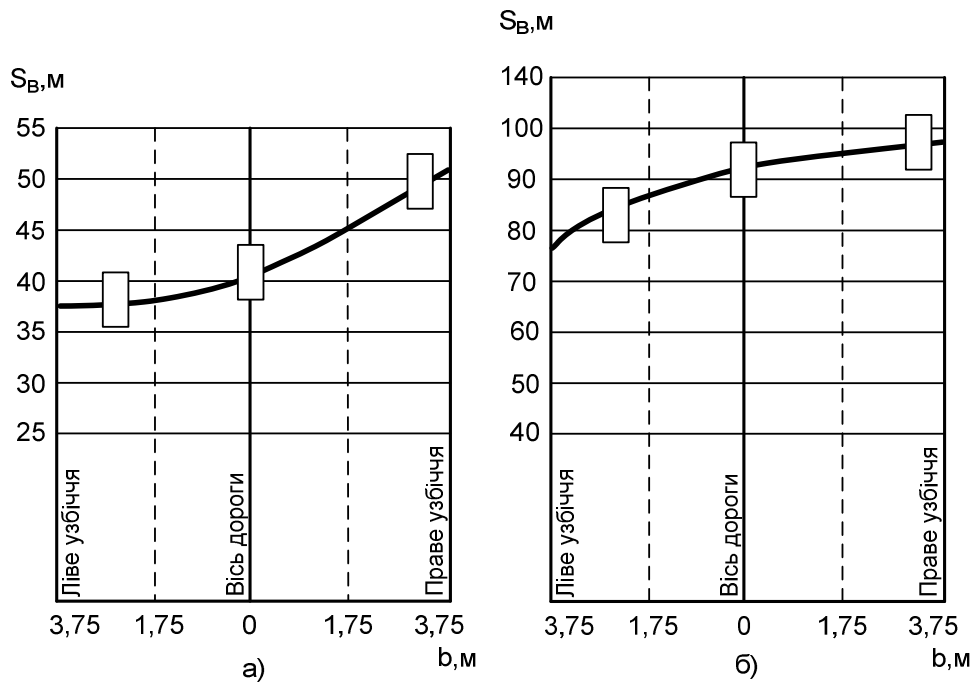


Рис. 5. Залежність дальності видимості від розташування перешкоди на дорозі:  
а – ближнє світло фар; б – дальнє світло фар

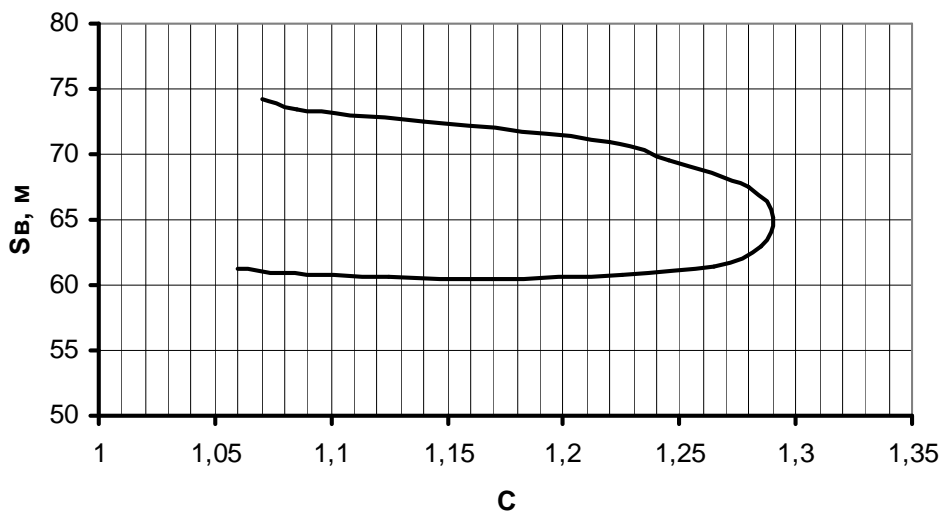


Рис. 6. Залежність дальності видимості  $S_B$  від коефіцієнта засліпленості  $C$

Рівень завантаження автомобіля  $G$  значно впливає на дальність видимості об'єктів на дорозі в темну пору доби. При завантаженні автомобіля дальність видимості незначно збільшується, але при цьому досить суттєво збільшується засліплення водіїв фарами зустрічних автомобілів. Слід також враховувати положення коректора фар, яким оснащені більшість автомобілів, за допомогою якого регулюється світлорозподіл фар в вертикальній площині залежно від завантаження автомобіля.

Контраст об'єкта розрізнення з фоном  $K$  - це контраст яскравості об'єкта з фоном, що забезпечує задану ймовірність виявлення об'єкту і визначається параметрами об'єкта (кутовий розмір і форма), кількісною характеристикою освітлення (яскравість фону) і умовами зорової роботи (час спостереження) (7).

$$K = \frac{|\Delta L|}{L_\phi} = f(\delta, L_\phi, t, P), \quad (7)$$

де  $\Delta L$  – різниця яскравостей об'єкта і фону,  $\text{кд/м}^2$ ;  $L_\phi$  – яскравість адаптації (середня яскравість фону),  $\text{кд/м}^2$ ;  $t$  – час спостереження об'єкта, с (0,4...3,6 с);  $P$  – ймовірність зорового виявлення, розпізнавання об'єкта.

Як відомо при освітленні фарами всі об'єкти здаються срібно-сірими, тому правомірно вважати контраст розрізнення об'єкту з фоном найбільш важливим фактором, який визначає умови видимості і безпеку руху. Значення параметра контрасту об'єкта розрізнення з фоном представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення параметра контрасту об'єкта розрізнення з фоном

Дорожнє покриття		Показник К (силуетна видимість)			
тип	стан	пішохід у світлому одязі	пішохід у темному одязі	пішохід у світлому одязі зі світло-відбиваючими елементами	пішохід у темному одязі зі світло-відбиваючими елементами
Асфальто-бетонне, цементно-бетонне	Сухе	0,8	0,1	0,9	0,4
	Мокре	0,72	0,07	0,82	0,25
	Вкрите снігом	0,08	0,75	0,35	0,88
Грунтова дорога	Сухе	0,7	0,2	0,84	0,3
	Мокре	0,75	0,5	0,87	0,48
	Вкрите снігом	0,08	0,75	0,35	0,89

За відсутності кількісних значень факторів, а також при визначенні величини показника  $K$ , рекомендації для оцінки якого надані в таблиці 2, будемо використовувати принцип термометра. Сутність цього принципу полягає в тому, що експертна оцінка того чи іншого показника здійснюється шляхом закреслення частини шкали (рис. 7), ліва та права границі якої відповідають найменшому та найбільшому рівням показника.



Рис. 7. Оцінка параметра за принципом термометра

Принцип термометра зручно застосовувати в тих випадках, коли експерт не в змозі оцінити деяку змінну ні числом, ні якісним термом, а лише інтуїтивно відчуває її рівень. Зручність такого підходу полягає в тому, що він дозволяє розглядати різні за своєю природою лінгвістичні змінні на єдиній універсальній множині  $U = [U, \bar{U}]$ .

Гострота зору  $B$  характеризується здатністю ока розрізнити дві світні точки, розташовані на мінімальній відстані одна від одної. Серед методів дослідження функцій органа зору практичне значення має дослідження світлової чутливості ока. Ця функція має безпосереднє відношення до роботи паличкового апарату ока, який забезпечує наш зір у сутінках і вночі. Значення яскравості адаптації водія наведені в таблиці 3.

Дослідження сприйняття світла спрямоване на визначення здатності сітківки ока сприймати мінімальний світловий подразник (порог подразнення). Цей показник перебуває залежно від ступеня освітлення. Зміни світлочутливості ока під час змін освітленості називають адаптацією.

Таблиця 3

Яскравість адаптації водія

Дорожні умови	Автомобільні фари, $\text{кд/м}^2$	Автомобільні фари в тумані, $\text{кд/м}^2$
Заміська дорога (магістраль)	0,05–0,5	0,5–5



Визначають два види адаптації: адаптація до світла та адаптація до темноти під час зниження рівня освітленості.

Тривалість роботи за кермом  $T$  також впливає на дальність видимості об'єктів на дорозі в темну пору доби, адже тривале зорове напруження призводить до стомленості очей водія, що проявляється в скороченні дальності видимості. Наведемо залежність кількості пригод на 100 водіїв враховуючи тривалість роботи водія за кермом (табл. 4).

Освітленість об'єкта  $E$ . Важливість вибору даного параметра та його вплив на дальність видимості розглянуто вище при аналізі показника сили світла фар.

Таблиця 4

*Аналіз розподілу ДТП, що скоюються водіями з різною гостротою зору в поєднанні з тривалістю їх роботи за кермом*

Гострота зору очей водія	Кількість пригод на 100 водіїв					
	усього	в тому числі за тривалістю роботи за кермом				
		до 2 год.	2–4 год.	4–8 год.	8–12 год.	більше 12 год.
1,0	0,14	0,01	0,02	0,07	0,03	0,01
0,9–0,8	2,08	0,30	0,35	1,04	0,40	–
0,79–0,6	1,32	0,20	0,46	0,66	–	–

#### Висновки:

1. Оцінка дальності видимості об'єктів на дорозі в темну пору доби являється необхідним елементом проведення автотехнічної експертизи при розслідуванні ДТП, що сталися в цей період.

2. Загальна структура моделі визначення дальності видимості, з найбільш повною кількістю факторів впливу наведена на рисунку 2.

3. Обґрунтовані найбільш вагомі фактори впливу на дальність видимості, з точки зору можливості їх вимірювання безпосередньо на місці ДТП та діапазон їх зміни, які наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

*Фактори впливу, як лінгвістичні змінні*

Позначення і назва фактора	Універсальна множина
$W$ – загальна дальність видимості для дальнього світла фар	(160...300) м
$K$ – контраст розрізнення об'єкта з фоном	(0...0,9) у.о.
$F$ – розташування перешкоди на дорозі	(0...7,5) м
$G$ – рівень завантаження автомобіля	(70...500) кг
$E$ – освітленість дороги	(10...30) лк
$C$ – коефіцієнт засліплення	(1...1,35) у.о.
$B$ – гострота зору водія	(0,6...1) у.о.
$T$ – тривалість роботи за кермом	(0...16) год.

#### Список використаної літератури:

1. Експертний аналіз дорожньо-транспортних пригод / П.В. Галаса, В.Б. Кисельов, А.С. Куйбіда та ін. – К. : Експерт-сервіс, 1995. – 192 с.
2. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП : учеб. пособие / Ю.Б. Суворов. – М. : Экзамен ; Право и закон, 2003. – 208 с.
3. Дьяков А.Б. Безопасность движения автомобилей ночью / А.Б. Дьяков. – М. : Транспорт, 1984. – 200 с.
4. Кужель В.П. Методика зменшення невизначеності в задачах авто технічної експертизи ДТП при ідентифікації дальності видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби : монографія / В.П. Кужель, А.А. Кашиканов, В.А. Кашиканов. – ВНТУ, 2010. – 200 с.
5. Кужель В.П. Оцінка дальності видимості дорожніх об'єктів у темну пору доби при експертизі ДТП за допомогою нечіткої логіки / В.П. Кужель // Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного ун-та. – 2008. – № 41. – С. 91–95.

КУЖЕЛЬ Володимир Петрович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри "Автомобілі та транспортний менеджмент" Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– безпечні режими руху транспортних засобів в умовах недостатньої видимості.

Тел.: (роб.) (0432) 59–84–38; (моб.) 067–502–14–33.

E-mail: kuzhel-2004@rambler.ru.

Стаття надійшла до редакції 04.08.2014