

Кужель В.П., Кашканов А.А., Кашканов В.А., Кукурудзяк Ю.Ю.
Вінницький національний технічний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Розглянуті основні причини виникнення ДТП в темну пору доби і шляхи вирішення цієї проблеми. Проаналізовані передові системи адаптивного освітлення автомобілів. Представлена математична модель, що дозволяє оптимізувати діапазон значень кутів повороту автомобільної фари.

Ключові слова: автомобіль, безпека руху, видимість, система освітлення, адаптивна система, кут повороту фари.

Постановка проблеми. Дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) виникають внаслідок порушення нормального функціонування системи “водій – транспортний засіб – дорога – середовище руху” [1, 2]. У темну пору доби головною причиною виникнення цих порушень є низька ефективність функціонування бортової системи освітлення автомобіля. Використання традиційного підходу до формування ідеальної системи освітлення призводить до необхідності зробити її багатофарною – фари дальнього, ближнього, середнього, бокового, протитуманного світла. Інший підхід – введення поняття адаптивних систем освітлення, які здатні прилаштовуватися до режиму руху і умов експлуатації автомобіля [3].

Основним критерієм при оцінці безпеки руху в темну пору доби є вибір швидкості руху, яка відповідає видимості [1, 3], адже у правилах дорожнього руху України (п. 12.2) зазначено, що в темну пору доби і в умовах недостатньої видимості швидкість руху повинна бути такою, щоб водій мав змогу зупинити транспортний засіб в межах відстані видимості дороги. Таким чином, якщо врахувати, що водій практично отримує тільки зорову (97-99%) і слухову (1-3%) інформацію про оточуючу обстановку, то можна зробити висновок, що безпека руху автомобіля в темну пору доби напряму пов’язана з тим, що водій бачить під час руху [4]. А на це в найбільшій степені впливає ефективність роботи фар автомобіля. Зі спеціальної літератури [1] відомо, що видимістю з місця водія є здатність бачити з місця водія дорожню обстановку на смузі руху транспортного засобу (ТЗ) і по обидві сторони від неї. Виникає необхідність розгляду питань освітлення переломів поздовжнього профілю дороги на кривій в плані. В зарубіжних джерелах досить багато уваги приділяється поворотним фарам, як засобу вирішення цього питання. Різноманітні конструкції систем активного переднього освітлення стають доступними завдяки трьом європейським виробникам автомобілів: Audi, BMW і Mercedes-Benz. Компанія Lexus також пропонує систему поворотних фар, як опцію на моделях RX, IS (починаючи зі швидкості 15-20 км/год. фари повертаються на 5 градусів в правому повороті і на 15 градусів в лівому, причому повертається тільки фара тієї сторони, в яку повертає автомобіль (рис. 1)). Автомобільна компанія Audi і корпорація Hella розробили адаптивне світло поворотних фар для використання на новій моделі Audi A8. Ця система має додаткову статично нерухому лампу, розташовану між фарами дальнього і ближнього світла в конструкції високорозрядної ксенонової фари. Додаткова лампа використовує рефлектор довільної форми і галогенну колбу, встановлену під кутом близько 15° відносно інших фар. Активна система поворотних фар Mercedes-Benz використовує бі-ксенонові проєкторні електронні фари і електричний двигун для налаштування пристрою проєктора. Фари контролюються модулем, який отримує сигнали про параметри руху транспортного засобу. Адаптивна система контролю світла BMW також має бі-ксенонові проєкторні фари. Проєктор обертається в межах від 15° назовні до 8° всередину. Керуючий модуль системи отримує показники про швидкість транспортного засобу, кут повороту рульового колеса, бокове прискорення і дані з навігаційної системи BMW [4]. У автомобілів Citroen поворотні бі-ксенонові фари контролюються електронним блоком і направляються в ту сторону (вправо/вліво до 15 градусів), куди водій повертає руль. Також можливий варіант, коли ксенонові поворотні фари доповнюють протитуманні фари с функцією «Бокове світло». На автомобілях Volvo активні поворотні фари з технологією Dual Xenon збільшують освітлену частину дороги в порівнянні зі звичайними галогенними фарами на 230 відсотків. Використовуючи лампи з електроприводом, які повертаються до 15 градусів в будь-яку сторону, ця технологія підвищує освітленість дороги за

поворотом на 90 відсотків (рис. 2).

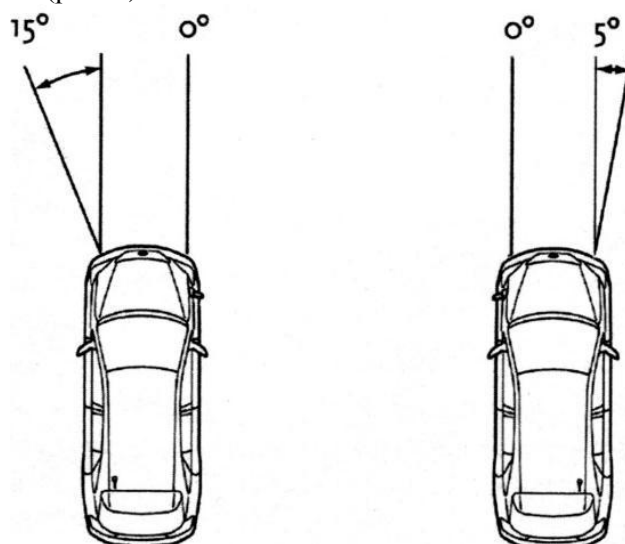


Рис. 1. Кути повороту фар

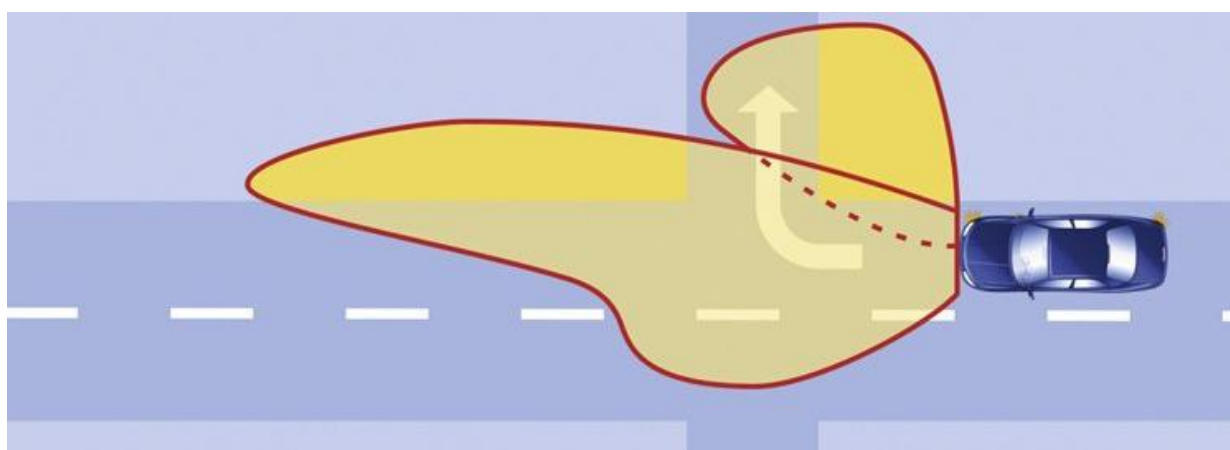


Рис. 2. Результат застосування поворотних фар

Тобто можна зробити висновок, що за останні роки провідні автомобільні компанії активно займаються розробками передових систем головного освітлення, стає зрозуміла актуальність даного питання. Оптимізація роботи системи поворотних фар не можлива без її розгляду з математичної точки зору. Тому метою роботи є постановка задачі визначення аналітичних залежностей кутів повороту фар.

Результати досліджень.

На працездатність фар впливає дві групи факторів: внутрішні, залежні від завантаження, технічного стану автомобіля і його підсистем та зовнішні, обумовлені умовами навколишнього середовища (рис. 3). В математичному вигляді це можна представити так [5-6]:

$$S_g = f(\delta, \rho, J_{\alpha\beta}, \alpha, \beta, K_{\text{фак}}, B_a, \gamma, S). \quad (1)$$

Як видно зі схеми (рис. 3), внутрішні і зовнішні фактори можна розділити на дві самостійні підгрупи: “автомобіль – фари” і “водій – середовище”.

В даній статті основна увага приділена саме підгрупі “автомобіль – фари”, а саме кутам розсіювання фар автомобілів.

Отже на автомобілі має бути система, яка адаптується до макрогеометрії доріг. Для початку слід виявити раціональні кути повороту фари з різним світлорозподілом, а також методику визначення вихідних даних. При визначенні раціонального кута повороту фари необхідно враховувати вимоги безпеки руху, які пов’язані з аналізом допустимих швидкостей руху в реальних

дорожніх умовах (геометрія, якість і стан доріг).

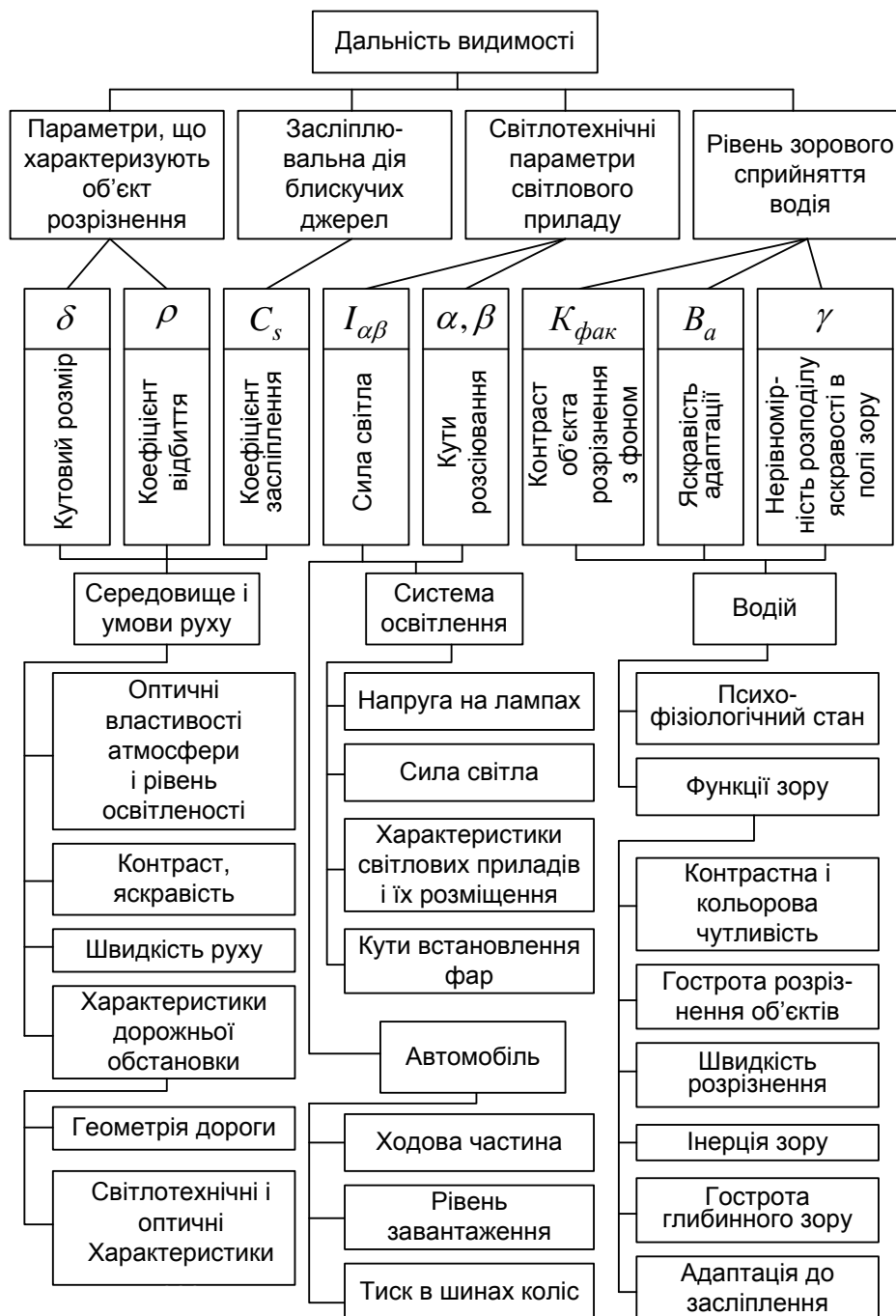


Рис. 3. Структурна схема якісних і кількісних показників впливу на дальність видимості

Максимально допустима швидкість руху на повороті дороги може бути визначена за формулою [7]:

$$V_d = \sqrt{127 \cdot R \cdot (\mu \pm i)}, \quad (2)$$

де V_d – допустима швидкість, км/год.; R – радіус дорожнього заокруглення (з урахуванням ширини проїзної частини), м; μ – коефіцієнт поперечної сили, що діє на автомобіль ($\mu \approx 0,15 \div 0,16$); i – поперечний ухил дороги.

Розглянемо випадок, коли траєкторія руху ТЗ близька до кола (рис. 4), можна вважати, що границя видимості, яка створюється світлом фар автомобіля, повинна проходити вздовж хорди

($a-b$). Хорда ($a-b$) стягує частину кола, яка дорівнює шляху зупинки автомобіля.

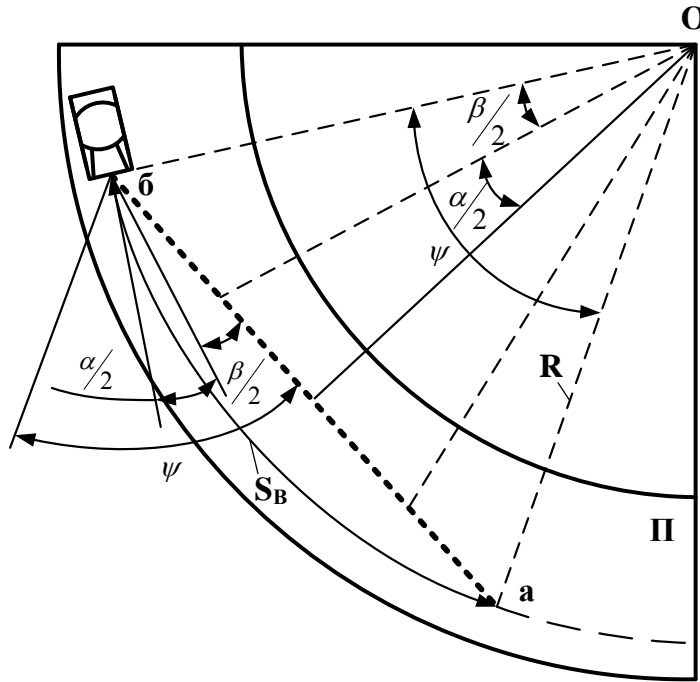


Рис. 4. Схема траєкторії руху автомобіля на заокругленні (до визначення кутів повороту фар)

В даному випадку для розрахунків необхідної відстані видимості слід використати рівність:

$$S_B = S_3 + S_0. \quad (3)$$

Також, вважаючи, що для забезпечення безпечних режимів руху освітленість об'єкта повинна бути забезпечена на відстані зупиночного шляху автомобіля ($S_B = S_3$), мінімальну необхідну силу світла фар можна визначити за формулою [8]:

$$I = E \cdot S_3^2,$$

або

$$I = E \cdot \left((t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot g \cdot \left(\frac{\phi}{K_e} \cos \alpha \pm \sin \alpha \right)} \right)^2, \quad (4)$$

де t_1 – час реакції водія, с; t_2 – час запізнювання спрацювання гальмової системи, с; t_3 – час наростання сповільнення при гальмуванні, с; V_a – швидкість руху автомобіля, км/год.; j – сповільнення при гальмуванні, м/с²:

$$j = g \cdot \left(\frac{\phi}{K_e} \cos \alpha \pm \sin \alpha \right), \quad (5)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²; ϕ – коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриттям; K_e – коефіцієнт ефективності гальмування; α – кут поздовжнього нахилу дороги, ° (знак «+» у формулі приймається при рухові транспортного засобу на підйом, а знак «-» – при рухові на спуск).

Отже, так як смуга руху автомобіля проходить вздовж кола, то для необхідної відстані видимості справедливий також наступний вираз:

$$S_B = \frac{\pi \cdot R \cdot \psi}{180^\circ}, \quad (6)$$

де S_B – необхідна для забезпечення безпеки руху відстань видимості, м; S_3 – повний шлях зупинки автомобіля, м; S_0 – відстань від автомобіля, який зупинився, до виявленої перешкоди, м; ψ – центральний кут, що спирається на хорду, яка стягує ділянку S_B , °.

Неважко довести (див. рис. 4), що:

$$\psi = \alpha + \beta, \quad (7)$$

де α – ефективний кут розсіювання променів фари в горизонтальній площині, °; β – мінімально необхідний подвійний кут повороту фари, °.

В свою чергу кут α в залежності від допустимої швидкості руху автомобіля V_D і інших параметрів системи “автомобіль – дорога” можна визначити за формулою [3]:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{254 \cdot \phi \cdot h}{V_D^2 \cdot K_E} \right), \quad (8)$$

де ϕ – коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою; h – висота встановлення фари на автомобілі, м; K_E – коефіцієнт експлуатаційного стану гальм.

Прирівняємо праві частини виразів, після перетворень перейдемо до залежності для визначення раціонального кута повороту фари:

$$\beta = \frac{0,9 \cdot K_E \cdot \frac{(\mu \pm i)}{\phi} + \sqrt{127 \cdot R \cdot (\mu \pm i)} + 18}{0,01 \cdot \pi} - \alpha. \quad (9)$$

Враховуючи вираз (8), отримаємо:

$$\beta = \frac{0,9 \cdot K_E \cdot \frac{(\mu \pm i)}{\phi} + \sqrt{127 \cdot R \cdot (\mu \pm i)} + 18}{0,01 \cdot \pi} - \arctg \left(\frac{254 \cdot \phi \cdot h}{127 \cdot R \cdot (\mu \pm i) \cdot K_E} \right). \quad (10)$$

Іншим підходом до визначення кута повороту фари β є використання умови рівності відстані видимості шляхові зупинки автомобіля [7]:

$$S_B = S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26j} \quad (11)$$

Нехай T – час, необхідний для приведення гальмової системи в дію, с:

$$T = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3. \quad (12)$$

Тоді, виходячи з залежностей (11-12), величина допустимої (безпечної) швидкості руху автомобіля V_D :

$$V_D = 3,6 \cdot j \cdot T \cdot \left(\sqrt{\frac{2S_B}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right). \quad (13)$$

В цьому випадку аналітичний вираз визначення кута повороту фари (10) можна записати в такому вигляді:

$$\beta = \frac{0,9 \cdot K_E \cdot \frac{(\mu \pm i)}{\phi} + V_d + 18}{0,01 \cdot \pi} - \arctg \left(\frac{254 \cdot \phi \cdot h}{V_d^2 \cdot K_E} \right); \quad (14)$$

або

$$\beta = \frac{0,9 \cdot K_E \cdot \frac{(\mu \pm i)}{\phi} + 3,6 \cdot j \cdot T \left(\sqrt{\frac{2S_B}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right) + 18}{0,01 \cdot \pi} - \arctg \left(\frac{254 \cdot \phi \cdot h}{\left(3,6 \cdot j \cdot T \cdot \left(\sqrt{\frac{2S_B}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right) \right)^2 \cdot K_E} \right).$$

Отримана математична модель дозволяє оптимізувати діапазон значень кутів повороту фари в залежності від геометрії дорожнього заокруглення ($R; i$), експлуатаційного стану автомобіля ($K_E; \mu$), відстані видимості (S_B), а також стану дорожнього покриття (ϕ).

Висновки. На сьогоднішній день поворотні автомобільні фари, як правило, є складовими частинами (об'єднані в одному блоці з іншими елементами) адаптивних систем головного освітлення. На сучасному етапі розвитку автомобільного транспорту і з урахуванням підвищених вимог до активної безпеки поворотними фарами слід оснащувати автомобілі масового виробництва. Дослідження в даному напрямку дають змогу вдосконалювати систему освітлення автомобіля, підвищувати безпеку руху і впроваджувати сучасні розробки в автомобілебудування. Наведена математична модель дозволяє оптимізувати діапазон значень кутів повороту фари в залежності від геометрії дорожнього заокруглення, експлуатаційного стану автомобіля, відстані видимості, а також стану дорожнього покриття. Перспектива покращення засобів і методів підвищення видимості і безпеки руху на дорожніх заокругленнях в темну пору доби полягає в широкому використанні оптимізованих алгоритмів роботи поворотних автомобільних фар.

1. Использование специальных познаний в расследовании дорожно-транспортных происшествий / [Кривицкий А. М., Шапоров Ю. И., Фальковский В. В. и др.] : под общ. ред. : канд. техн. наук Кривицкого А. М. и канд. юрид. наук Шапорова Ю. И. – Мн. : Харвест, 2004. – 128 с. – ISBN 985-13-1859-0.

2. Кашканов А. А. Концептуальні засади підвищення ефективності автотехнічної експертизи ДТП / А. А. Кашканов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – № 8 (1117). – С. 89–95.

3. Центр безпеки дорожнього руху та автоматизованих систем Державної автомобільної інспекції України, Аварійність на автошляхах України [електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.sai.gov.ua/ua/people/5.htm> (дата звернення 25.06.2015). – Назва з екрана.

4. 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 национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. – №41. – С. 91–95.

5. Волков В.П. Совершенствование методов автотехнической экспертизы при дорожно-транспортных происшествиях. Монография / В.П. Волков., В.Н. Торлин, В.М. Мищенко, Кашканов А.А., Кужель В.П. и др. Харьков.: ХНАДУ. 2010. – 476 с.

6. 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. Кашканов, В.А. Кашканов. ВНТУ, 2010. – 200 с.

7. Кашканов А.А. Математична модель кута повороту автомобільної поворотної фари // А.А. Кашканов, В.П. Кужель. - Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. Выпуск 16 – Харьков: ХНАДУ. – 2005. – С 207 – 209.

8. Кужель В.П. Дослідження особливостей сприйняття дорожньої обстановки водієм в темну пору доби / В.П. Кужель // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. №3 (62), Том 2, 2012. – С. 94 – 101.

REFERENCES

1. Krivitskiy, A., Shaporov, Yu. & Falkovskiy, V. (2004). *The use of special knowledge in the investigation of road accidents*. [Ispolzovanie spetsialnykh poznanii v rassledovanii dorozhno-transportnykh proissheshtviy]. Minsk, Harvest Publ., 128 p.
2. Kashkanov, A. (2015). Conceptual bases of improve the efficiency of autotechnical expert examination of road accidents. [Konseptual'ni zasady pidvyshchennya efektyvnosti avtotekhnichnoyi ekspertyzy DTP]. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Automobile and Tractor Building*. Vol. 8 (1117). Kharkiv, NTU «KhPI» Publ., pp. 89-95.
3. Centre for Road Safety and automated systems of the State Automobile Inspection of Ukraine. Accidents on the roads of Ukraine. Available at: <http://www.sai.gov.ua/ua/people/5.htm> (accessed 25 June 2015).
4. Kuzhel, V. (2008). Evaluation of road visibility range of objects in the night-time during the examination road accident using fuzzy logic. [Otsinka dalnosti vidimosti dorozhnykh ob'ektiv u temnu poru dobi pri ekspertizi DTP za dopomogoyu nechitkoyi logiki]. *Bulletin of KhNADU*. Vol. 41. Kharkiv, KhNADU Publ., pp. 91-95.
5. Volkov, V., Torlin, V., Mischenko, V., Kashkanov, A. & Kuzhel, V. (2010). *Improving methods of autotechnical expertise in road accidents*. [Sovershenstvovanie metodov avtotekhnicheskoy ekspertyzy pri dorozhno-transportnykh proissheshtviyah. Monografiya]. Kharkiv, KhNADU Publ. 476 p.
6. Kuzhel, V., Kashkanov, A. & Kashkanov, V. (2010). *Method of decrease uncertainty in problems of autotechnical expert examination of road accidents in the identification of road objects visibility at nighttime*. [Metodika zmeshennya neviznachenosti v zadachah avto tehnicnoi ekspertyzy DTP pri identyfikatsii dalnosti vidimosti dorozhnykh ob'ektiv v temnu poru dobi. Monografiya]. Vinnitsa, VNTU Publ., 200 p.
7. Kashkanov, A. & Kuzhel, V. (2005). Mathematical model of rotation angle of rotary automobile headlight. [Matematichna model kuta povorotu avtomobilnoi povorotnoi fari]. *Automobile transport*. Vol. 16. Kharkiv, KhNADU Publ., pp. 207-209.
8. Kuzhel V. (2012). Research of features of the perception of road conditions by the driver at nighttime. [Doslidzhennya osoblivostey spriynyattya dorozhnoi obstanovki vodiem v temnu poru dobi]. *Bulletin of Zhytomyr State Technological University*. Series: Technical sciences. Issue 3 (62), Vol. 2, pp. 94-101.

Кужель В.П., Кашканов А.А., Кашканов В.А., Кукурудзяк Ю.Ю. Теоретические основы оптимизации функционирования автомобильных систем адаптивного освещения.

Рассмотрены основные причины возникновения ДТП в темное время суток и пути решения этой проблемы. Проанализированы передовые системы адаптивного освещения автомобилей. Представлена математическая модель, позволяющая оптимизировать диапазон значений углов поворота автомобильной фары.

Ключевые слова: автомобиль, безопасность движения, видимость, система освещения, адаптивная система, угол поворота фары.

V. Kuzhel, A. Kashkanov, V. Kashkanov, Yu. Kukurudziak. Theoretical bases of functioning optimization of car adaptive headlights systems.

The main causes of accidents in the dark, and the way to solve this problem are considered. Analyzed advanced adaptive lighting cars. The mathematical model, allowing to optimize the range of turn corners values of car headlight, is presented.

Keywords: car, traffic safety, visibility, illumination system, adaptive system, corner of turn headlight.

АВТОРИ:

КУЖЕЛЬ Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», Вінницький національний технічний університет, e-mail: kuzhel-20014@rambler.ru

КАШКАНОВ Андрій Альбертович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», Вінницький національний технічний університет, e-mail: kashkanov_a@ukr.net

КАШКАНОВ Віталій Альбертович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», Вінницький національний технічний університет, e-mail: kash_2004@ukr.net

КУКУРУДЗЯК Юрій Юрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», Вінницький національний технічний університет, e-mail: uk34@ukr.net

AUTHORS:

Volodymyr KUZHEL, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and transport management Department, Vinnitsa National Technical University, e-mail: kuzhel-2004@rambler.ru

Andriy KASHKANOV, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and transport management Department, Vinnitsa National Technical University, e-mail: kashkanov_a@ukr.net

Vitalii KASHKANOV, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and transport management Department, Vinnitsa National Technical University, e-mail: kash_2004@ukr.net

Yurii KUKURUDZIAK, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and transport management Department, Vinnitsa National Technical University, e-mail: uk34@ukr.net

РЕЦЕНЗЕНТИ:

АНИСИМОВ В.Ф., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний аграрний університет, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання та альтернативних паливних ресурсів, м. Вінниця, Україна.

САХНО В. П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Автомобілі», м. Київ, Україна.

REVIEWERS:

Viktor ANISIMOV, Doctor of Science in Engineering, Professor, Vinnitsa National Agriculture University, Professor of Internal Combustion Engines and Alternative Fuel Resources Department, Vinnitsa, Ukraine.

Volodymyr SAKHNO, Doctor of Science in Engineering, Professor, National Transport University, Head of Automobiles Department, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла в редакцію 20.05.2015р.