

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КУТА ПОВОРОТУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ПОВОРОТНОЇ ФАРИ

А.А. Кашканов, к.т.н., доцент, В.П. Кужель, аспірант  
Вінницький національний технічний університет

*Анотація.* Розглянуті основні причини недостатньої ефективності автомобільних фар і шляхи вирішення цієї проблеми. Проаналізовані передові системи адаптивного освітлення автомобілів. Представлена математична модель кута повороту автомобільної поворотної фари.

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

### Вступ

Дорожно-транспортні пригоди (ДТП) виникають внаслідок порушення нормального функціонування системи “водій – транспортний засіб – дорога – середовище руху” [1]. 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 багатofарною – фари дальнього, ближнього, середнього, бокового, протитуманного світла. Інший підхід – введення поняття адаптивних систем освітлення, які здатні прилаштовуватися до режиму руху і умов експлуатації автомобіля [2].

### Аналіз публікацій

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. Таким чином, виникає необхідність розгляду питань освітлення переломів поздовжнього профілю дороги на кривій в плані. В зарубіжних джерелах [3] досить багато уваги приділяється поворотним фарам, як засобу вирішення цього питання. Ще в 1948 році Корпорація Tucker виготовила понад 50 транспортних засобів, які мали центральну фару, що саморегулювалася в залежності від повороту рульового колеса. 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 330 2004 року. Автомобільна компанія Audi і

корпорація Hella розробили адаптивне світло поворотних фар для використання на новій моделі 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  $15^\circ$  відносно інших фар. Це дає змогу освітлювати зону розташовану поруч з ближнім світлом фар під кутом  $90^\circ$  по відношенню до середньої лінії автомобіля. Контрольний модуль системи використовує дані про швидкість транспортного засобу, кут повороту рульового колеса, сигнал повороту та визначає необхідність вмикання поворотної лампи. Активна система поворотних фар Mercedes-Benz використовує бі-ксенонові проекторні електронні фари і електричний двигун для налаштування пристрою проектора. Фари контролюються модулем, який отримує сигнали про параметри руху транспортного засобу. Адаптивна система контролю світла BMW також має бі-ксенонові проекторні фари. Проектор обертається в межах від  $15^\circ$  назовні до  $8^\circ$  всередину. Керуючий модуль системи отримує показники про швидкість транспортного засобу, кут повороту рульового колеса, бокове прискорення і дані з навігаційної системи BMW [3].

### Ціль і постановка задачі

Дорожні заокруглення і дорожні перетини є місцями зосередження ДТП. Для підвищення безпеки руху в таких умовах деякі європейські фірми вже з кінця 50-х років почали рекомендувати так звані “поворотні” фари. 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 доцільною є постановка задачі визначення аналітичних залежностей кутів повороту фар.

### Математична модель кута повороту автомобільної фари

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).

Максимально допустима швидкість руху на повороті дороги може бути визначена за формулою [5]:

$$V_d = \sqrt{127 \cdot R \cdot (\mu \pm i)}, \quad (1)$$

де  $V_d$  – допустима швидкість, км/год.;  $R$  – радіус дорожнього заокруглення (з урахуванням ширини проїзної частини), м;  $\mu$  – 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. 1), 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. В даному випадку для розрахунків необхідної відстані видимості слід використати рівність:

$$S_B = S_3 + S_0 \quad (2)$$

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

$$S_B = \frac{\pi \cdot R \cdot \psi}{180^\circ}, \quad (3)$$

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;  $\psi$  – центральний кут, що спирається на хорду, яка стягує ділянку  $S_B$ , °.

Неважко довести (див. рис. 1), що:

$$\psi = \alpha + \beta \quad (4)$$

де  $\alpha$  – ефективний кут розсіювання променів фари в горизонтальній площині, °;  $\beta$  – мінімально необхідний подвійний кут повороту фари, °.

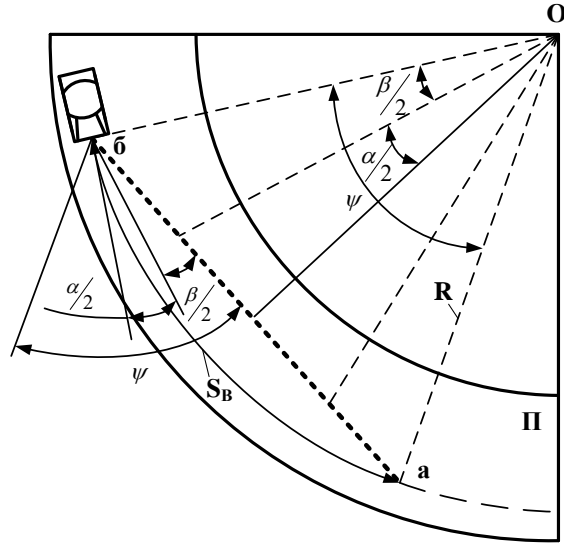


Рис. 1. Схема траєкторії руху автомобіля на заокругленні (до визначення раціональних кутів повороту фар)

В свою чергу кут  $\alpha$  в залежності від допустимої швидкості руху автомобіля  $V_d$  і інших параметрів системи “автомобіль – дорога” можна визначити за формулою [2]:

$$\alpha = \arctg \left( \frac{254 \cdot \varphi \cdot h}{V_d^2 \cdot K_E} \right), \quad (5)$$

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

Прирівняємо праві частини виразів (2) і (3) та з урахуванням формул (1), (4) після перетворень перейдемо до залежності для визначення раціонального кута повороту фари:

$$\beta = \frac{0,9 \cdot K_E \cdot \frac{(\mu \pm i)}{\varphi} + \sqrt{127 \cdot R \cdot (\mu \pm i)} + 18}{0,01 \cdot \pi} - \alpha. \quad (6)$$

Враховуючи вираз (5), отримаємо:

$$\beta = \frac{0,9 \cdot K_E \cdot \frac{(\mu \pm i)}{\varphi} + \sqrt{127 \cdot R \cdot (\mu \pm i)} + 18}{0,01 \cdot \pi} - \arctg \left( \frac{254 \cdot \varphi \cdot h}{127 \cdot R \cdot (\mu \pm i) \cdot K_E} \right). \quad (7)$$

Іншим підходом до визначення кута повороту фари  $\beta$  є використання умови рівності відстані видимості шляхові зупинки автомобіля [6]:

$$S_B = S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26j}, \quad (8)$$

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/с<sup>2</sup>:

$$j = g \cdot \left( \frac{\varphi}{K_E} \cos \gamma \pm \sin \gamma \right), \quad (9)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\gamma$  – кут поздовжнього нахилу дороги, ° (знак «+» у формулі (9) приймається при рухові транспортного засобу на підйом, а знак «-» – при рухові на спуск).

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

$$T = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3. \quad (10)$$

Тоді, виходячи з залежностей (8-10), величина допустимої (безпечної) швидкості руху автомобіля  $V_d$ :

$$V_d = 3,6 \cdot j \cdot T \cdot \left( \sqrt{\frac{2S_B}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right). \quad (11)$$

В цьому випадку аналітичний вираз визначення кута повороту фари (7) можна записати в такому вигляді:

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

або

$$\beta = \frac{0,9 \cdot K_E \cdot \frac{(\mu \pm i)}{\varphi} + 3,6 \cdot j \cdot T \cdot \left( \sqrt{\frac{2S_B}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right) + 18}{0,01 \cdot \pi} - \arctg \left( \frac{254 \cdot \varphi \cdot h}{\left( 3,6 \cdot j \cdot T \cdot \left( \sqrt{\frac{2S_B}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right) \right)^2 \cdot K_E} \right). \quad (12)$$

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 ( $\varphi$ ).

## Висновки

1. Сучасні поворотні автомобільні фари, як правило, є складовими частинами (об'єднані в одному блоці з іншими елементами) адаптивних систем головного освітлення. Дослідження в даному напрямку дають змогу вдосконалювати систему освітлення автомобіля, підвищувати безпеку руху і впроваджувати сучасні розробки в автомобілебудування.

2. 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 ( $\varphi$ ).

3. 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.

4. На сучасному етапі розвитку автомобільного транспорту і з урахуванням підвищених вимог до активної безпеки поворотними фарами слід оснащувати автомобілі масового виробництва.

## Література

1. 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. Использование специальных познаний в расследовании дорожно-транспортных происшествий. – Мн.: Харвест, 2004. – 128 с.
2. Левитин К.М. Безопасность движения автомобилей в условиях ограниченной видимости, - 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1986. - 166 с.
3. [http://www.i-car.com/html\\_pages/about\\_icar/current\\_events\\_news/advantage.html](http://www.i-car.com/html_pages/about_icar/current_events_news/advantage.html)
4. Зайцева Л.Н., Левитин К.М. Экономическая эффективность применения противотуманных фар. – «Автотракторное оборудование», 1971, № 6, С. 3 – 6.
5. Иларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля. М., «Машиностроение», 1966. 277 с.
6. Вплив засліпленості водія на вибір безпечних режимів руху / А.А. Кашканов, В.П. Кужель // Вісник ВПІ. – 2003. – № 5. – С. 63–66.