

УДК 681.513

О.В. Збруцький, М. Кавешгар,  
В.Г. Лукомський

## МОДАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РУХОМ АВТОМОБІЛЯ

### Вступ

Інтелектуальна транспортна система є однією із сучасних тем досліджень для різних галузей науки і промисловості. Сьогодні збільшується кількість автомобілів і, відповідно, зростає кількість аварій, що змушує точно і швидко вирішувати цю проблему. На нашу думку, автоматизація руху на дорогах приведе до її розв'язання.

Цією проблемою займаються багато компаній та організацій. Серед результатів їх роботи – адаптивна система контролю руху компанії “Bosch” [1], що дає можливість адаптувати швидкість автомобіля до швидкості автомобіля, що рухається попереду. В статті [2] для правильної організації руху вимагається контроль за різними знаками на дорозі. У [3] використовується система нічного бачення. Одна із сучасних систем контролю руху використовує активне детектування та здатна змінювати напрямку руху [4].

### Постановка задачі

Метою даної статті є дослідження системи керування, яка дасть можливість контролювати швидкість руху відповідно до ситуації і підготувати автомобіль до зміни напрямку руху або повороту, для того щоб уникнути зіткнення з предметом на дорозі. Наведена система використовує систему активного детектування – скануючу лазерну систему.

### Скануюча лазерна система

Наявність точної системи отримання інформації є першим і важливим кроком до створення автономної системи. У статті пропонується використовувати скануючу лазерну систему, що складається з лазера, оптичної системи та приймача. Інфрачервоний лазерний промінь від твердотілого лазера сканує дорогу попереду автомобіля. Такий промінь може бути

отриманий за допомогою оптичного параметричного генератора, коли промінь проходить через нелінійний кристал і його довжина хвилі змінюється таким чином, що не є небезпечною для очей людини. Лазерний промінь проходить через галілеївський телескоп, який є розширювачем пучка. Гальванометричні дзеркала як скануючий пристрій є частиною контрольного блока. Відбитий від об'єкта лазерний імпульс повертається до приймача і приймається лавинним фотодіодом. Імпульс, що повертається, несе інформацію про відстань до перешкоди і якість її поверхні. Отримана інформація обробляється за допомогою алгоритмів розпізнавання об'єктів і може відображатися на дисплеї. Моделювання такої системи наведено у статті [5].

### Математична модель системи

Після виявлення об'єкта і визначення відстані від нього до автомобіля контрольною системою керування приймається рішення про зменшення швидкості руху автомобіля до необхідної величини. Це зменшення швидкості має відбуватися із врахуванням комфорту і безпеки пасажирів. Система керування швидкістю повинна діяти таким чином, щоб при наявності предмета на шляху руху автомобіля його швидкість змінювалася оптимально плавно і в мінімальному проміжку часу. Крива зменшення швидкості буде залежати від поточної і кінцевої швидкостей і відстані до перешкоди. Для регулювання швидкості використовується електронна дросельна заслінка.

Система регулювання швидкості наведена на рис.1.

На рис. 1 позначено:  $m$  – маса автомобіля;  $\delta_{об}$  – коефіцієнт обертової маси автомобіля;  $\beta$  – кут відкриття дросельної заслінки;

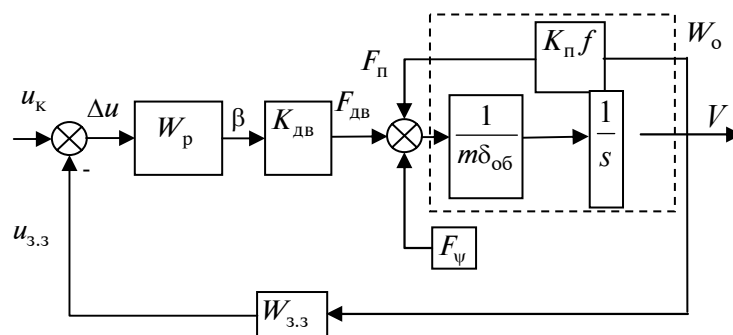


Рис. 1. Функціональна схема автомобіля з керування швидкістю

$K_{дв}$  – коефіцієнт, що зв'язує величини відкриття дросельної заслінки із силою двигуна;  $F_{дв}$  – сила тяги двигуна;  $F$  – сила опору кочення коліс та  $F_{п}$  – сила опору повітря;  $V$  – швидкість автомобіля;  $u_k, u_{3.3}, \Delta u$  – сигнали для контролю відкриття дросельної заслінки;  $W_o = \frac{K_o}{TS+1}$  – передавальна функція автомобіля;  $W_{3.3}$  – блок зворотного зв'язку;  $W_p$  – блок регулювання.

Система керування має передавальну функцію

$$\Phi_u^v = \frac{v}{u_k} = \frac{K_{дв} W_p W_o}{1 + K_{дв} W_p W_{3.3} W_o} = \frac{K_{дв} W_p^4 W_o^4 W_{3.3}^3}{W_o^3 W_{3.3}^3 W_p^3 + K_{дв} W_p^4 W_o^4 W_{3.3}^4} \quad (1)$$

Для того щоб одержати оптимальні умови зменшення швидкості (особливо для пасажирів), необхідно вибирати графік зміни швидкості заздалегідь. За таким графіком створюється система керування.

**Синтез системи керування**

Синтез системи керування проведемо методом модального керування [6]. Враховуючи неповну інформацію про вектор стану, використовуємо метод стандартних коефіцієнтів, які отримані в результаті мінімізації функціонала

$$I = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt,$$

що являє собою інтеграл від добутку абсолютного значення похибки  $|e(t)| = |1 - x(t)|$  на час  $t$  (рис. 2, а). Виходячи з (1) та рис. 1, обираємо систему 3-го порядку як найбільш прийнятну за коливальністю та швидкодією (рис. 2, б). Таким чином, швидкість зменшується за мінімальний проміжок часу та з мінімальною коливальністю.

Використовуючи знаменник фор-

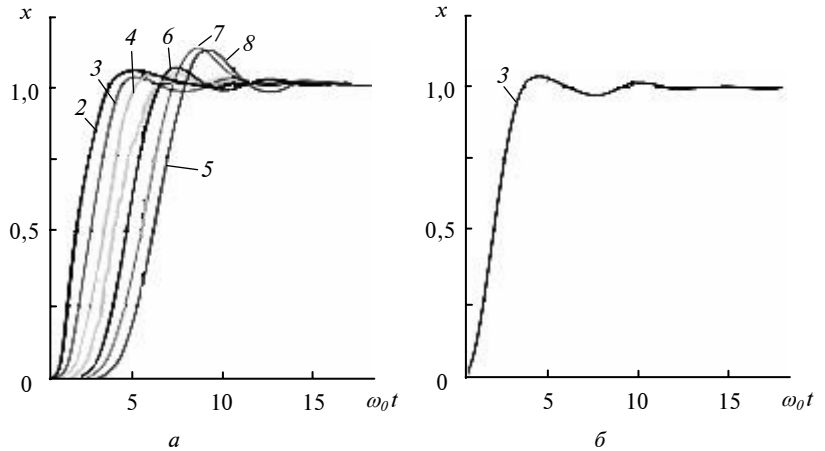


Рис.2. Перехідні характеристики оптимальних систем (а); б – крива 3

мули (1) та характеристичний поліном 3-го порядку оптимального рівняння, отримуємо

$$W_o^3 W_{3.3}^3 W_p^3 + K_{дв} W_p^4 W_o^4 W_{3.3}^4 = s^3 + 1,75\omega_0 s^2 + 2,15\omega_0^2 s + \omega_0^3 \quad (2)$$

Передавальну функцію для регулятора візьмемо у вигляді

$$W_p = K_{p1} + K_{p2} \frac{1}{s} = K_p \frac{T_p S + 1}{S} \quad (3)$$

Передавальна функція зворотного зв'язку із врахуванням (1) і (2) має вигляд

$$W_{3.3} = K_{3.3} + \frac{K_1 S}{T_1 S + 1} = K_{3.3} \frac{T_{3.3} S + 1}{T_1 S + 1}, \quad T_{3.3} = T_1 + \frac{K_1}{K_{3.3}} \quad (4)$$

Структурна схема системи керування показана на рис. 3.

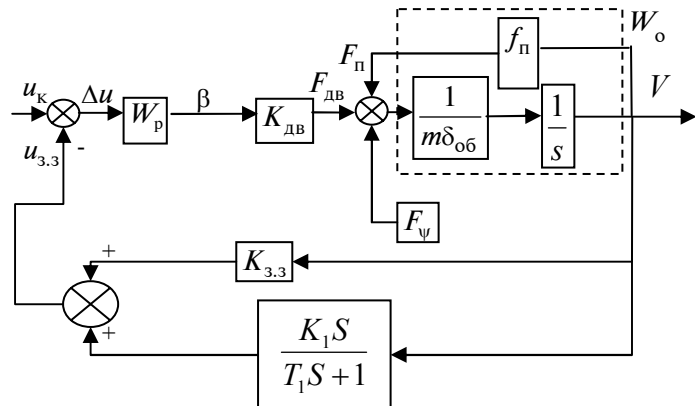


Рис. 3. Структурна схема системи керування

Тоді з (3) і (4) знайдемо коефіцієнти передавальної функції зворотного зв'язку та регулятора:

$$K_{p1} = \frac{1,75\omega_0 T T_1 - (T + T_1)}{K_{дв} K_0 T_{3.31}},$$

$$K_{p2} = \left( \frac{T T_1}{K_{3.3}} \right) \frac{\omega_0^3}{K_{дв} K_0},$$

$$T_{3.31} = K_{3.3} T_{3.3} = \frac{-b \pm \Delta}{2}, \quad (5)$$

$$b = \frac{1 - 2,15\omega_0^2 T T_1 K_{3.3}}{T T_1 \omega_0^3},$$

$$c = \frac{K_{3.3}^2 (1,75\omega_0 T T_1 - (T + T_1))}{T T_1 \omega_0^3},$$

$$\Delta = \sqrt{b^2 - 4ac}.$$

З рис. 2, б для припустимого перерегулювання та необхідного часу перехідного процесу  $t$  знаходимо  $\omega_0$  і відповідні коефіцієнти для передавальної функції зворотного зв'язку та регулятора (5).

На рис. 4 наведено реакцію системи з параметрами  $K_{3.3} = 1$ ,  $T_1 = 0,05$ ,  $m\delta_n = 1500$  (кг), опір повітря  $f_n = 0,86$ , опір кочення  $F_\psi = 10$ ,  $K_{дв} = 1500$  на ступінчастий вплив, змодельовану за допомогою пакета SIMULINK, для різних значень часу перехідного процесу  $t$ , та відстань  $d_{пов}$ , яку проходить автомобіль до повороту.

На основі графіка швидкості вибирається контрольна модель, яка для відстані до повороту  $d_{пов}$  за час  $t$  (час перехідного процесу) всти-

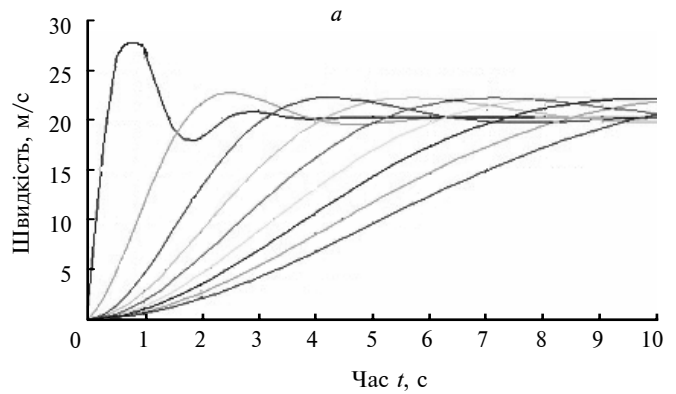
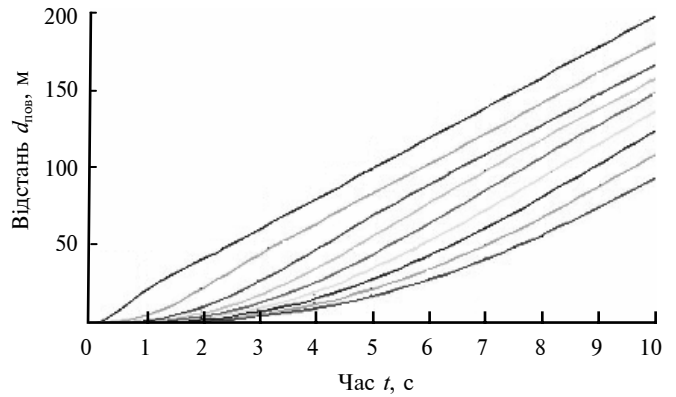


Рис. 4. Реакції на ступінчастий вплив

гне зменшити швидкість та завершити перехідний процес.

**Оцінка впливу завад й інерційностей**

Розглянемо вплив завад на роботу системи. Нехай сигнал одометра має заваду типу “білого шуму”. На рис. 5 наведено реакцію системи з шумом, середньоквадратичне відхилення якого дорівнює 10 % від значення вхід-

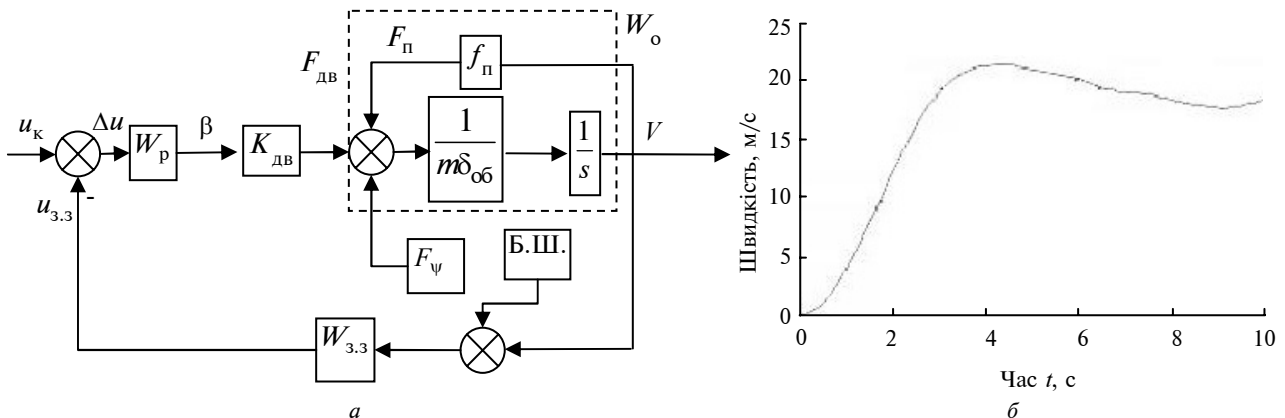


Рис.5. Блок-схема системи із врахуванням “білого шуму” (а) та її реакція на ступінчастий вплив (б)

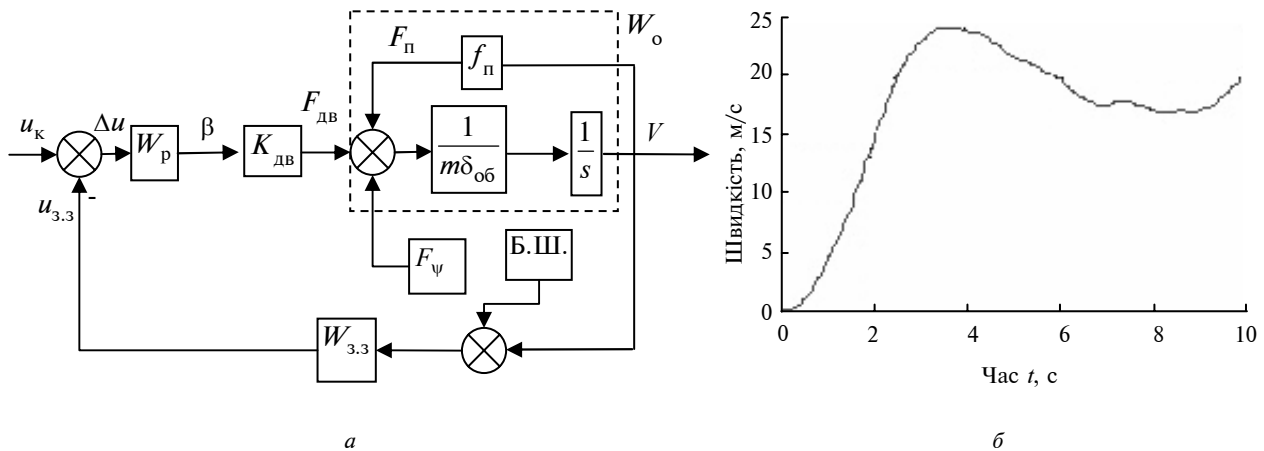


Рис.6. Блок-схема системи із врахуванням шуму та інерційності (а) і реакція системи із врахуванням цих факторів (б)

ного впливу.

Як видно, вплив шумів одометра неістотний. Оцінимо вплив інерційності вимірювачів. Запізнювання, що вноситься інерційністю блока зворотного зв'язку, призводить до спотворення процесу керування порівняно з ідеальними ланками, що має враховуватися при синтезі. Врахуємо інерційність одометра передавальною функцією  $\frac{1}{TS+1}$  (рис. 6).

На рис. 6, б показана реакція системи на ступінчастий вплив із врахуванням "білого шуму" та інерційності одометра, з якої впливає значний вплив інерційності датчика.

## Висновки

За допомогою отриманої оптимальної системи керування швидкість автомобіля може кон-

тролюватися для виконання повороту у випадку об'єкта, що знаходиться на дорозі. До початку зменшення швидкості автомобіль рухається з оптимальною швидкістю, яка приводить до мінімальної витрати палива.

Інерційність виконавчих і вимірювальних блоків призводить до спотворення отриманих оптимальних властивостей. Тому необхідна ідентифікація динамічних моделей цих блоків і їх врахування при синтезі. Завади вимірювачів типу "білого шуму" не сильно спотворюють оптимальну картину на розглянутих порівняно невеликих інтервалах часу руху.

А.В. Збруцкий, М. Кавешгар, В.Г. Лукомский

### МОДАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ АВТОМОБИЛЯ

Разработана и исследована система автоматического управления автомобилем для обеспечения безопасного движения. Методами модального управления синтезированы законы управления и получены структурные схемы системы. Проведено моделирование системы управления в пакете SIMULINK при типовых воздействиях. Исследовано влияние шумов и инерционности измерительных устройств.

O.V. Zbrutski, M. Kaveshgar, V.G. Lukomski

### MODAL CONTROL APPLICATION FOR AUTOMOBILE CRUISE CONTROL

This paper deals with the system of automatic car control to ensure safety traffic. The cruise control system is designed utilizing the standard coefficients and incorporating the mathematical models of modal control. The automatic control system is simulated in SIMULINK. Moreover, we study the step response of this system taking into account white noise and inertia of the measuring instruments.

1. *Bosch automotive handbook* 5<sup>th</sup> edition, Robert Bosch Gmbh, 2000. – 992 с.
2. *Ollivier E., Parent M.* Odometric navigation with matching of landscape features // ICARCV, Singapore – Dec. 2002. – P. 757–762.
3. *Tsuji T., Hattori H., Watanabe M., Nagaoka N.* Development of night-vision system // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2002. – 3. – P. 203–209.
4. *Kato S., Tsugawa S., Tokuda K.* Vehicle control algorithms for cooperative driving with automated vehicle and intervehicle communications // Ibid. – P. 155–161.
5. *Кавешгар М.* Застосування скануючої лазерної системи для керування автомобілем // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2004. – № 6. – С. 79–82.
6. *Кузовков Н.Т.* Системы стабилизации летательных аппаратов (баллистических и зенитных ракет): Учеб. пос. для вузов. – М.: Высш. шк., 1976. – 304 с.

Рекомендована Радою факультету  
авіаційних і космічних систем  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
12 травня 2009 року