



Л. П. Гащук, П. М. Гащук, А. М. Домінік, М. І. Сичевський

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5522-2757> – Л. П. Гащук

<https://orcid.org/0000-0002-2345-4879> – П. М. Гащук

<https://orcid.org/0000-0003-0139-2002> – А. М. Домінік

<https://orcid.org/0000-0002-0401-3058> – М. І. Сичевський



dominik.andrij@ukr.net

ЕНЕРГООЩАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ CRUISE-КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЮ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЮ ТЕХНІКОЮ

Рух автомобільної аварійно-рятувальної машини здійснюється в умовах істотно змінних вітрового потоку, нахилу подовжнього профілю дороги, кривини траси в плані, якості дорожнього полотна, перешкодонасиченості в транспортному потоці. Так що завжди існують чинники, що провокують вимушено неусталені режими роботи всіх систем мобільної машини, а відтак і зайві енерговитрати. Швидкісну неусталеність руху машини покликана усунути система cruise-керування, яка сприяє істотному заощадженню фізичної, емоційної, інтелектуальної енергії водія-оператора. Але завжди стоїть питання, в якій мірі cruise-керування сприяє підвищенню енергетичної ефективності (паливної ощадності) власне мобільної машини?

В роботі із застосуванням варіаційного числення виявлено, в яких випадках рух машини зі сталою швидкістю є оптимальним за енергоощадністю, а в яких ознаки оптимальності зникають. Оптимізаційна задача розглядається в термінах так званого виродженого функціонала. Доведено, що загалом cruise-керування не є засобом заощадження енергії власне мобільної машини (не є засобом заощадження споживаного пального). Невпорядковані вітрові потоки зокрема не дають підстав вважати рух машини з усталеною швидкістю енергетично оптимальним. Рух машини з усталеною швидкістю не є енергетично оптимальним і в деяких інших випадках складного дорожнього опору. Подібно ж проявляє себе й перешкодонасиченість в транспортному потоці.

Але у разі так званої адитивної природи дорожнього опору, за дії упорядкованого вітру, в умовах вільного руху cruise-керування насправді сприяє підвищенню енергетичної ефективності машини. До того ж, cruise-керування – це засіб штучної інтелектуалізації мобільності, що неминуче охопить увесь транспорт. Так звані круїз-контроль і адаптивний круїз-контроль – це окремі дуже важливі кроки на шляху до цілковито самокерованого мобільного руху.

Ключові слова: автомобільна аварійно-рятувальна техніка, енергоощадність, круїз-керування (cruise-керування), інформаційні принципи круїз-керування

L. P. Hashchuk, P. M. Hashchuk, A. M. Dominik, M. I. Sychevsky

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ENERGY ECONOMY ASPECTS OF APPLICATION CRUISE-CONTROL BY AUTOMOBILE FIRE-RESCUE TECHNIQUE

The movement of the car rescue vehicle is carried out in conditions of significantly variable wind flow, the slope of the longitudinal profile of the road, the curvature of the route in the plan, the quality of the road surface, and noise saturation in the traffic flow. So there are always factors that provoke forced unstable modes of operation of all mobile machine systems, and hence unnecessary energy consumption. The speed instability of the car is designed to eliminate the cruise control system, which contributes to significant savings in the physical, emotional, and intellectual energy of the driver-operator. But there is always the question of the extent to which cruise control helps to increase the energy efficiency (fuel economy) of the actual mobile machine?

In the work with the use of variational calculus, it is revealed in which cases the movement of the machine at a constant speed is optimal in terms of energy savings, and in which the signs of optimality disappear. The optimization problem is considered in terms of the so-called degenerate functional. It is proved that in general cruise control is not a means of saving energy of the mobile machine itself (it is not a means of saving fuel consumption). Disordered wind currents, in particular, do not give grounds to consider the movement of the machine at a steady speed energetically optimal. The movement of the

car at a steady speed is not energetically optimal and in some other cases complex road resistance. The congestion in the traffic flow is similar.

But in the case of the so-called additive nature of road resistance, under the action of orderly wind, in the conditions of free movement cruise control helps to increase the energy efficiency of the machine. In addition, cruise control is a means of artificially intellectualizing mobility that will inevitably cover all transport. The so-called cruise control and adaptive cruise control are some very important steps towards fully self-driving mobile traffic.

Keywords: car rescue equipment, energy-saving, cruise control (cruise control), cruise control information principles.

Вступ/зачин. Разом з невинним зростанням мобільної активності та попиту на послуги транспорту все гостріше й гостріше постають перед людством енергетичні, екологічні та безпекові клопоти [1]. В ЄС, приміром, автомобільний транспорт споживає 24,2 % енергії, спричиняє 16,7 % викидів парникових газів та провокує понад 25 000 смертей щороку [2, 3]. 2020 року у США в дорожньо-транспортних пригодах загинуло понад 38 тис. осіб, що на 7,2%, більше, ніж у 2019 році, хоча річний обсяг поїздок, скоротився на 13%. У Національній адміністрації безпеки дорожнього руху (*National highway traffic safety administration – NHTSA*) США вважають, що основними причинами зростання смертності стало порушення Правил дорожнього руху: перевищення швидкісного режиму і відмова від використання пасків безпеки. Це якби теракт, що стався 11 вересня 2001 року, повторювався щомісяця поспіль впродовж десь цілого року. У Китаї, в якому проживають 1,39 млрд. осіб, в автокатастрофах щорічно втрачають життя 260 тис. людей. А загалом у світі за оцінкою Всесвітньої організації охорони здоров'я щорічно в автокатастрофах гине 1,25 млн. осіб. Автомобільному транспортові ще й потрібно витримати конкуренцію з іншими видами транспорту: упродовж 2007-2017 років Китай, приміром, побудував практично з нічого мережу швидкісних залізниць, протяжність яких перевищує сумарну протяжність такого штибу залізниць в усьому світі.

Врятувати ситуацію могли б безпілотні транспортні засоби. Вони, без сумніву, підвищили б ефективність перевезень, логістики й господарювання (економіки). Хоча буде втрачено багато робочих місць і обов'язково з'являться розчаровані, зневірені, безпорадні люди, серед яких, що дуже прикро, – водії таксівок, вантажівок, автобусів... Неминуче виникатимуть критичні ситуації й аварії за участі самокерованих автомобілів, а відтак поставатимуть нерозв'язні морально-етичні клопоти: кого рятувати від загибелі перш за все; як ранжувати загрози життю власника транспортного засобу та життю всіх інших, що мимоволі стали учасниками спільної скрутної ситуації; як, формуючи закони, оминати осуд моралістів, а далі уникнути затяжних судових тяганин (хоча дуже ймовірно, що штучний інтелект підпорядкує собі також і судочинство).

Механізми штучної інтелектуалізації неминуче охоплюють увесь транспорт. Але на шляху до цілковито самокерованого транспорту потрібно розв'язати низку суто технічних задач. Пристрої, про які є сенс говорити в рамках такого штибу задач, позначаються доволі специфічними термінами. До таких, зокрема, належить так звані круїз-контроль і адаптивний круїз-контроль.

Є терміни, які спочатку були пов'язані суто з морською справою, але згодом стали потрібними в автомобільній (і загалом у всій транспортній) царині. Зокрема, таким є термін *круїз* (англ. *Cruise*, від франц. *croiser* – пересікати) – переважно морська подорож (зазвичай замкненим маршрутом). Згадаймо також похідний термін *круїс-пеленг* (голл. *Kuis-peiling*) – спосіб визначення місцеположення корабля за двома пеленгами на той самий предмет (приміром, на маяк) через певний проміжок часу. Повсюдно відомим є тепер так званий круїз-контроль (англ. *Cruise Control* [kru:z kən'troul] – система керування крейсерським, маршовим, гоновим режимом пересування, нім. відповідник – *Tempomat*) – пристрій, що автоматично підтримує технічно задану/обрану оператором-водієм постійну швидкість руху транспортного засобу. Зауважмо: *контроль* (французькою *contrôle*, від *contrerôle* – подвійний список) – це облік, перевірка, спостереження/нагляд за чимось, заключна функція керування. Англійською *Control* – 1) управління, керування, 2) нагляд; контроль, перевірка; 3) регулювати, володіти, розпоряджатися... В українській мові термін *контроль* лише віддалено натякає на щось, пов'язане безпосередньо з керуванням чи регулюванням, а відтак термін *круїз-контроль* якийсь каламутний та невідповідний законам словотворення в українській. Технічній термінології краще пасував би, скажімо, термін *Tempomat*. Але є так, як є... – українська поки що не готова запропонувати свій термін. Тому поряд з пересічно застосовуваними термінами використовуватимемо терміни *круїз-керування* чи *cruise-керування*, що найкраще, як здається, відповідають англійському *Cruise Control*.

Мета дослідження – оцінити потенційні можливості інтелектуалізації взаємин між автомобілем і водієм-оператором за посередництва системи круїз-контролю. При цьому важливо з'ясувати, у якій мірі стабілізація швидкості автомобіля на догоду водієві сприяє заощадженню

енергії. Відомо ж бо, що циклічний рух транспортної машини завжди енерговитратніший за рівномірний [4]. Зазвичай цей факт віддавна доводять, істотно спрощуючи структуру транспортного циклу [5-8]. Та це не викликає принципівих застережень. Але чи можна перенести такий висновок на рівномірне й нерівномірне, але нециклічне, пересування машини? Разом з тим існує думка, що насправді круїз-контроль – це загалом аж ніяк не засіб для заощадження енергії в реальних умовах руху – як в індивідуальному, так і транспортно-потоківому вимірах [9]. Тож дуже важливо впевнитися в цьому суто формальними засобами.

Автомобільний круїз-контроль.

Автомобільний круїз-контроль запатентував американський інженер Ральф Тітор (Ralph Teetor) у 1950 році. Швидкість руху автомобіля у його пристрої визначалась через частоту обертання карданного вала, а керування дросельною заслінкою двигуна внутрішнього згоряння доручалось реверсивному електродвигуну через гвинтовий механізм. Винахід називали по-різному: *Controlmatic*, *Touchomatic*, *Pressomatic*, *Speedostat*...

Першим серійним автомобілем із системою круїз-контролю став легковий *Chrysler Imperial* 1958 року випуску. Система, що отримала (занадто претензійну) назву *Auto-Pilot*, знову ж таки за

допомогою електродвигуна керувала положенням дроселя двигуна внутрішнього згоряння, відповідним чином реагуючи на швидкості обертання карданного вала трансмісії та троса спідометра.

Перший електронного штибу круїз-контроль 10 років потому виготовила американська компанія RCA Corporation – виробник електроніки різного призначення. Помітного поширення круїз-контроль набув після нафтової кризи 1973 року, оскільки власне сподівалися завдяки йому заощаджувати паливе. Уже в 1974 році корпорації *AMC*, *GM*, *Chrysler* та *Ford* за доплату 60-100 доларів США почали пропонувати круїз-контроль як опцію для всіх своїх моделей автомобілів.

Сучасний круїз-контроль функціонує, по суті, так само, як і на *Chrysler Imperial* 1958 року. Наочно відбиває в собі загальну ідею круїз-контролю, приміром, так звана система *Electro-Cruise*. **Принципи технічного втілення ідеї круїз-контролю. Система Electro-Cruise.** На рис. 1 для прикладу наведено схему пристрою, що здатен виконувати функції чутника (давача, первинного перетворювача) рівня відхилення фактичної швидкості руху машини від деякого заданого (бажаного) значення. В основу його конструкції покладено тахометричний вузол класичного автомобільного спідометра [10, 11].

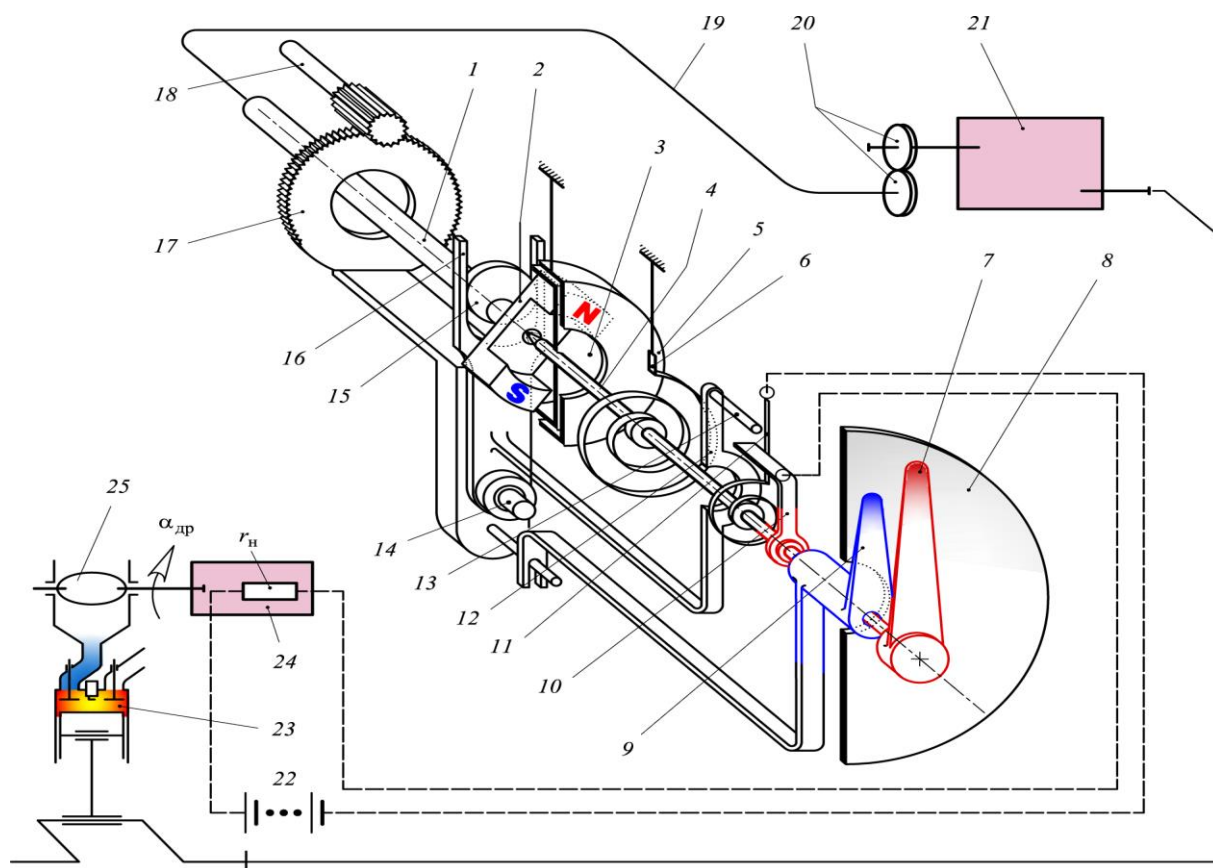


Рисунок 1 – Схема регулятора швидкості руху автомобіля з тахометричним вузлом магнітоіндукційного штибу

Первинний вал 1 з постійним магнітом 2 , картушка 3 з немагнітного матеріалу, що жорстко з'єднана із вторинним валом 4 , екран 5 з магнітом'якого матеріалу, а також спіральна пружина 6 , один кінець якої закріплений на валу 4 , а другий – у нерухомому корпусі, – усі ці деталі разом складають звичайний чутник швидкості обертання магнітоіндукційного штибу. У разі обертання магніту 2 відносно картуша 3 в її тілі наводяться вихрові струми, що створюють, своєю чергою, вторинне магнітне поле. Концентрована екраном 5 взаємодія вторинного (що виникає в картуші) і первинного (створюваного магнітом) магнітних полів спрямована на усунення відносного обертання картуша й магніту. Але обертання картушки синхронно з обертанням магніту перешкоджає пружина 6 . Чим більша швидкість обертання магніту, тим більший обертовий момент повинна створити пружина, щоб утримати в нерухомому стані картушку. У свою чергу цей обертовий момент тим більший, чим більша деформація пружини, а отже й кут повертання вала 4 . Тож за кутом повертання жорстко закріпленої на вторинному валу 4 стрілки 7 відносно циферблата 8 можна оцінити швидкість обертання первинного вала 1 . Якщо за допомогою гнучкого вала 19 і передавального механізму 20 з'єднати вал 1 із вторинним валом скриньки передач 21 , то описаний пристрій у разі відповідного градуювання циферблата 8 виконуватиме функції показчика швидкості руху автомобіля.

У конструкцію показчика швидкості руху автомобіля можна впровадити додаткову стрілку 9 , зв'язану за допомогою важелів з кільцем-

шестернею 17 , а на валу 4 змонтувати важільний 10 і пружинний 11 електроконтакти, ізолюючи кожний з них від тіла вала. Окрім цього, доречно передбачити здатний розмикати контакти $10, 11$ важіль 12 зі штирем 13 з електроізоляційного матеріалу, що має можливість стикатися з вусом пружинного контакту 11 . Важіль 12 за задумом повинен здійснювати коливальний рух навколо вісі пальця 14 , розміщеного на важелі кільця 17 . Тож для приводу важеля 12 слугує ексцентрик 15 , що є одним цілим з валом 1 , а також додатковий важіль 16 . Частота коливань важеля 12 збігається з частотою обертання вала 1 .

Стрілка 9 однозначно визначатиме середнє положення важеля 13 , а стрілка 7 – конкретне положення контакту 10 , рис. 2: α_0, α_1 – кути, що визначають відхилення стрілок $7, 9$ від їхнього вертикального положення; φ – кут, на який необхідно повернути стрілку 7 , щоби сумістити її зі стрілкою 9 . Важіль 13 має можливість відхилитися відносно свого середнього положення в один і другий бік на кут β у секторі, вершиною якого є вісь обертання стрілок $7, 9$. Від взаємного розташування стрілок залежать значення кутів φ_c замкнутого і φ_δ розімкнутого станів ($\varphi_c + \varphi_\delta = 2\beta$) контактів $10, 11$ за один оберт вала 1 : якщо $-\beta < \varphi < \beta$ ($|\varphi| < \beta$), то $\varphi_c > 0$ і $\varphi_\delta = 2\beta - \varphi_c > 0$ (рис. 2, *a*); якщо ж $\varphi > \beta$ чи $\varphi < -\beta$, то у першому випадку контакти постійно розімкнені ($\varphi_c = 0; \varphi_\delta = 2\beta$, рис. 2, *б*), а в другому – постійно замкнені ($\varphi_c = 2\beta, \varphi_\delta = 0$, рис. 2, *в*).

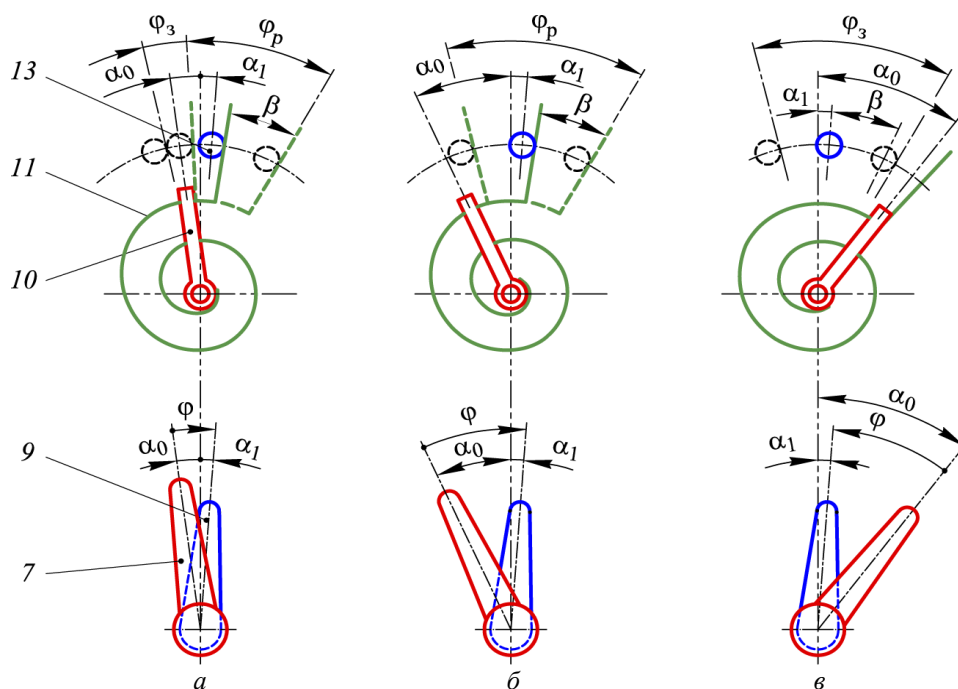


Рисунок 2 – Можливі стани електроконтактної системи

Через контакти 10, 11, що періодично розмикаються/змикаються можна забезпечити електроживленням від джерела постійного струму 22 силовий елемент 24 приводу дросельної заслінки 25 системи живлення двигуна 23 (рис. 1, 3). Через контакти тахометричного вузла перетікають невеликі струми (в межах кількох міліамперів). Силовий елемент (3, а) створює в

електричному колі активне навантаження r_n , середній спад напруги U_i на якому кусками лінійно залежить від значення φ (рис. 3, б: U – номінальна напруга на джерелі живлення; n – частота обертання первинного вала чутника швидкості; u_i , φ_i – поточні значення спаду напруги і величини φ ; $u_{\text{ср}} = \varphi_{\text{ср}}/2\beta = u_i$).

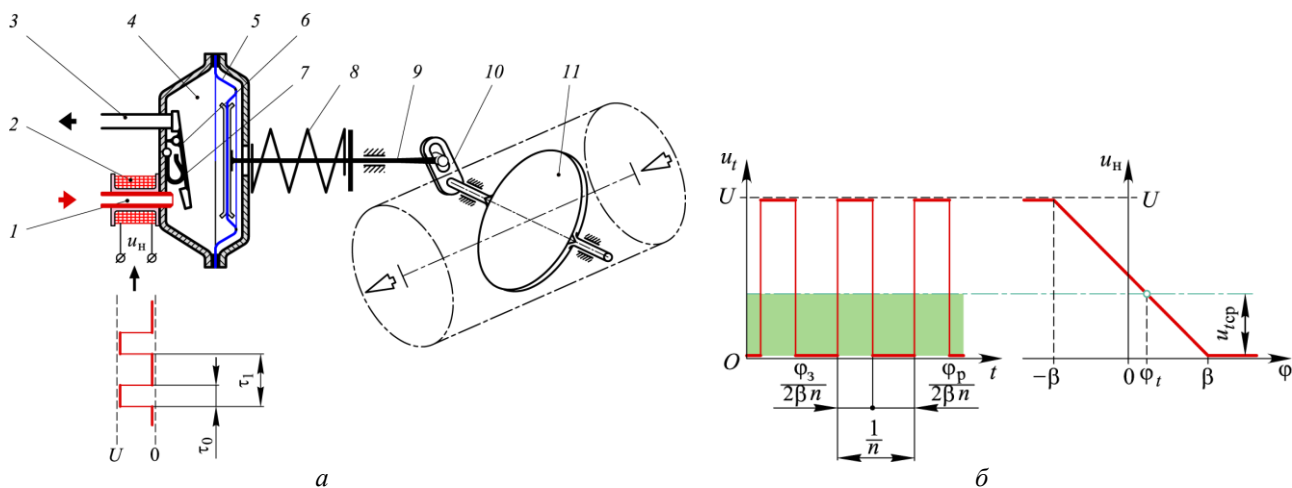


Рисунок 3 – Схема, що ілюструє принцип керування дросельною заслінкою двигуна

На основі описаного пристрою було побудовано [10] систему автоматичної стабілізації швидкості пересування транспортної машини, що дозволяє водієві-операторові підтримувати постійно будь-яку можливу за конкретних умов швидкість руху, не беручи особистої участі в керуванні подачею палива у циліндри двигуна. Зокрема, у відомій системі Electro-Cruise фірми АС (США) [10, 11], швидкість задається за допомогою ручки керування, посадженої на вал 18, а її значення відлічується за стрілкою 9 на циферблаті 8 спідометра (див. рис. 1). Вмикання системи автоматичної стабілізації швидкості здійснюється спеціальною кнопкою, яку необхідно втримувати в натиснутому стані доти, поки швидкість машини в процесі її розгону не досягне заданого значення. Далі водій кнопку відпускає і задана швидкість підтримується автоматично з певною точністю $\Delta v = \pm k\beta$ ($k = \text{const}$). Якщо поточне значення швидкості машини в цю мить часу перевищує задане, то автоматична система включається в роботу відразу ж після натискання кнопки.

З моменту вмикання системи автоматичної стабілізації швидкості керування дросельною заслінкою здійснюється за допомогою електровакуумного приводу (рис. 3, а). Привід являє собою пневмокамеру, робоча порожнина 4 якої через канал 1 має змогу з'єднуватися з атмосферою, а через канал 3 – з вакуумним ресивером або із впускним колектором двигуна.

Канали 1, 3 закриваються/відкриваються клапанами, розміщеними на двоплечому важелі 6. За відсутності струму в котушці електромагніту 2 пружина 7 переміщає важіль 6 у положення, при якому канал 3 перекритий, а канал 1 відкритий. Якщо ж у котушці з'являється струм, сердечник електромагніту, у якому утворено канал 1, притягує важіль-якір 6. Канал 1 перекривається, а канал 3 відкривається.

Залежно від шпаруватості τ_0/τ_1 імпульсів напруги, що подається на навітку (навій, навівку, котушку) електромагніту, у порожнині 4 пневмокамери встановлюється цілком певний рівень розрідження. Завдяки цьому діафрагма 5, а разом з нею шток 9, важіль 10, дросельна заслінка 11 починають переміщатися в деяке стійке положення, у якому врівноважується ефект дії розрідження на діафрагму пневмокамери, сила пружності пружини 8, різного роду сили тертя й аеродинамічний ефект впливу на дросельну заслінку потоку паливної суміші. У процесі стабілізації швидкості руху машини шпаруватість імпульсів напруги змінюється, і отже змінюються положення дросельної заслінки, кількість подаваної в циліндри двигуна паливної суміші, частота обертання вала двигуна.

Якщо швидкість руху автомобіля буде меншою від певної заданої, контакти чутника швидкості ЧШ перебуватимуть у замкнутому стані, рис. 4. При цьому транзистор (тріод) V1

підсилювача $Пс$ буде відкритим, і струм від джерела живлення G тектиме через тріод, обвитку (навивку) PO регулювального клапана, увімкнений перемикач режимів $ПРж$, контакти вмикання гальм $КГ$, запобіжник $Зп$, ключ запалювання $КлЗ$ (діод $V2$ захищає тріод $V1$ від перенапруги, жарівка

$Ж$ править за світловий індикатор). Регулювальний клапан перекриває атмосферний отвір у вакуумній камері; тиск у ній падає, а відтак збільшуються кут повороту (ступінь відкриття) дросельної заслінки керування двигуном й відповідно швидкість руху автомобіля.

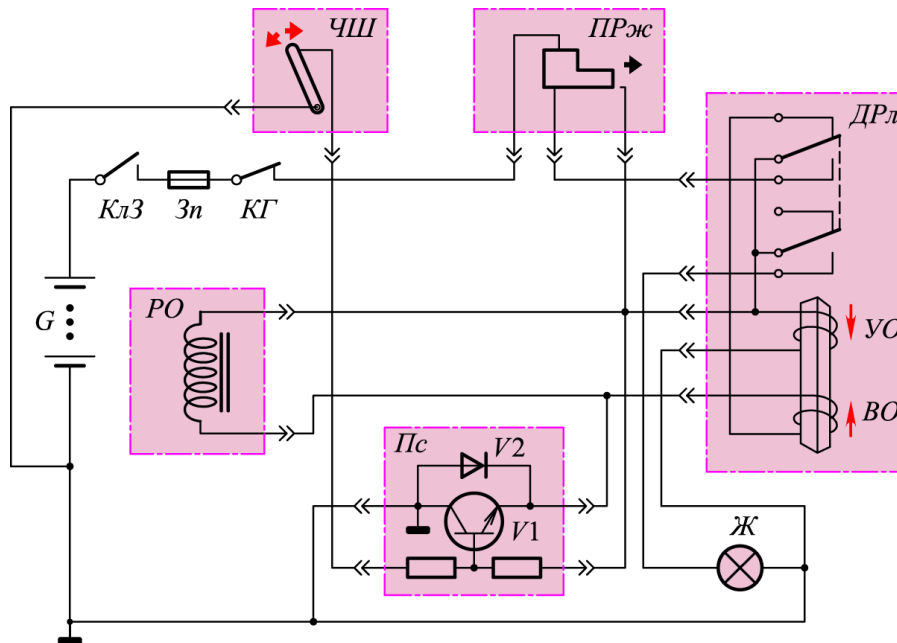


Рисунок 4 – Загальна схема системи Electro-Cruise

Якщо швидкість руху автомобіля перевищує задану, контакт давача швидкості розімкнений, тріод підсилювача закритий, обвитка регулювального клапана знеструмлена, атмосферний отвір у вакуумній камері відкритий, а отже тиск в ній зростає, а відтак кут повороту (ступінь відкриття) дросельної заслінки та швидкість руху автомобіля зменшуються.

У разі замкнутих контактів перемикача режимів $ПРж$ струм перетікатиме на утримувальну обвитку YO диференціального (різницевого) реле $ДРл$. Якщо контакти чутника швидкості $ЧШ$ замкнуті, то через тріод $V1$ буде збуджена й вимикальна обвитка BO , блокуючи вмикання реле поти, поки швидкість руху автомобіля не досягне значення, відповідного деякій області плавного регулювання. Якщо дійсна швидкість руху автомобіля більша за задану, то контакти чутника швидкості розриваються і вимикальна обвитка реле вмикається.

Система регулювання швидкості руху автомобіля відразу вимнеться, як тільки-но, хай навіть короткочасно, знеструмиться стримувальна обвитка реле за допомогою чи вмикача запалення, чи контакту вмикання гальм, чи перемикача режимів. При цьому, звісно, знеструмиться обвитка регулювального клапана, а дросельна заслінка закрититься.

В системі Electro-Cruise задана швидкість руху автомобіля підтримувалась з точністю до ± 4 км/год. Система не повинна спрацьовувати у разі різкого пришвидшення автомобіля (у разі здійснення, скажімо, маневру обгону), коли водію доводиться наполегливо натискати на педаль керування двигуном (на педаль акселератора).

У разі руху автомобіля дорогою зі сталим нахилом поздовжнього профілю кожному усталеному значенню швидкості v , звісно, однозначно відповідатиме певне значення кута h повороту дросельної заслінки (див. статичну характеристику $h = h_s(v)$ на рис. 5; mile/h — миля на годину, 1 mile/h=0,44704 м/с (точно)). При вмиканні системи Electro-Cruise в мить, коли, наприклад, швидкість руху автомобіля (поточний усталений режим R_0) менша за обрану (бажаний усталений режим R), дросельна заслінка вимушено прямуватиме до нового положення відповідно до динамічної характеристики $h = h_d(v)$, яка доволі суттєво відрізнятиметься від характеристики $h = h_i(v)$ гранично інтенсивної зміни режимів (максимальний кут повороту дросельної заслінки тут становить $h_m = 35$ град, що запобігає надмірним з умов безпеки пришвидшенням автомобіля).

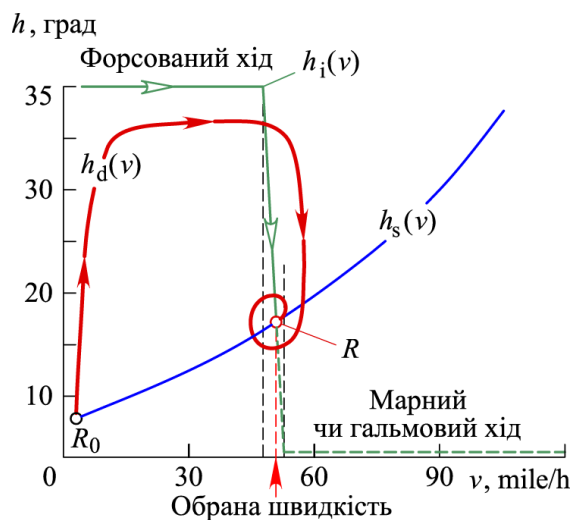


Рисунок 5 – Процес зміни режиму руху автомобіля

Мотивовані на розв'язання нагальних проблем мобільності, так звані удосконалені системи сприяння (допомоги) водію (Advanced Driver Assistance System – ADAS) стали в наш час цілком звичними. І однією з найвикористовуваних функцій ADAS є так званий адаптивний (активний) круїз-контроль (Adaptive Cruise Control – ACC).

Перший адаптивний круїз-контроль з'явився десь на початку 1990-х років в Японії – не дуже досконалий, бо лише попереджав водія про сповільнення руху попереду. «По-справжньому адаптивний» круїз-контроль DISTRONIC розробила в 1999 році компанія Mercedes Benz. Система DISTRONIC оперувала і дросельною заслінкою, і гальмами. Система адаптивного круїз-контролю (ACC-система) сприяє автомобілю підтримувати бажану швидкість руху, аж поки він не надібає попереду повільніший рух. Далі вона сповільнюватиме автомобіль, уникаючи наїзду, а потім за нагоди пришвидшуватиме його, намагаючись відновити бажану швидкість, але не скорочуючи при цьому відстань від повільнішого автомобіля попереду понад безпечне значення. Деякі ACC-системи здатні цілком зупинити рух автомобіля у разі виникнення перешкоди, а потім відновити його, коли перешкода почне віддалятися чи зникне. ACC-системи використовують лазери, радари, сонари, відеокамери... Це дозволяє їм відчувати інші транспортні засоби поруч для визначення відносних швидкостей, а також виявляти перешкоди та уникаючи зіткнень, дотримуватись смуги руху та прогнозувати поведінку інших транспортних засобів.

Далі настав час так званого інтелектуального чи розумного круїз-контролю (Intelligent Cruise Control – ICC чи Smart Cruise Control – SCC) (про це див., приміром, у [12, 13]). Взагалі кажучи, вже до початку 1990-х років виробники автомобілів

почали використовувати цифрові технології з дуже широкими можливостями. Сучасні системи круїз-контролю інтегрують в електроніку автомобіля, покладаючи на них додаткові функції, такі як, приміром, попередження про виїзд зі смуги руху та усування сліпої зони. Вищим рівнем вияву досконалості круїз-контролю стала система автономного водіння, яка в першому наближенні була впроваджена на автомобілі Tesla в кінці 2015 року разом з відповідним програмним оновленням. Наразі це найдосконаліший різновид круїз-керування.

Можна казати, що автопілот – це найсучасніша наразі версія круїз-контролю, запроваджена в масове виробництво компанією «Tesla». Будь-який транспортний засіб, на якому встановлено автопілот, може триматися в межах своєї смуги (пересуваючись цілком автономно дорогою), уникаючи зіткнення за допомогою гальмування і керування кермом, знайти вільне місце та припаркуватися, регулювати свою швидкість залежно від інтенсивності руху транспортного потоку (аж до зупинки транспортного засобу – Stop & Go), змінювати смугу руху на вимогу водія (достатньо увімкнути вказівник повороту)...

Але стрімке поширення ACC-систем у всьому світі посилювало занепокоєння щодо можливого його негативного впливу на енергоощадність автомобілів в реальних сценаріях керування поздовжньою поведінкою автомобіля протягом тривалого часу та на великих відстанях. Відносно давно [11] була задекларована можливість застосування системи автоматичної стабілізації швидкості в складі всережимного регулятора швидкості руху автомобіля. Але, знову ж таки, чи не будуть при цьому зневажені вимоги забезпечення енергоощадності автомобіля? Яким є «енергетичний» вплив адаптивного круїз-контролю в реальних сценаріях реалізації мобільності з участю багатьох автомобілів сукупно?

Суть круїз-керування. Адаптивне cruise-керування – це функціональне удосконалення звичної системи cruise control, яка була призначена суто для автоматичного підтримання обраної водієм швидкості пересування автомобіля. Та з деякого часу інженери почали, що цілком природно, вивчати можливість покладання на ACC-систему додаткових завдань. В [14] та [15, 16], скажімо, розглядають можливість безпосередньо залучити ACC-технологію до процесу зменшення споживання транспортним засобом пального, а в [17] оцінюють можливості догоджати водієві, підлаштовуючи систему керування машиною під його індивідуальні характеристики і уподобання. В роботі [18]

запропоновано оптимальний алгоритм керування транспортним засобом, який безпосередньо спрямований на мінімізацію споживання пального в глобальному сенсі на засадах так званого Predictive (завбачувального, провісного) Cruise Control.

Зрештою, було розроблено багато алгоритмів і способів реалізації функцій cruise-керування [19-22...]. Але спільного, так би мовити, знаменника знайти поки що не вдалося.

Загалом частіше доводять, що круїз-керування позитивно позначається на енергоощадності машини. Приміром, у процесі симуляційного дослідження з'ясовано, що АСС-система дозволяє вантажівці заощадити 5,9 % та 2,2 % пального відповідно в міських умовах та на шосе [20]. Продемонстровано також, що ця система може одночасно сприяти підвищенню як ефективності використання палива, так і загалом якості транспортного потоку [23]. А в експерименті [24] з участю п'яťох транспортних засобів порівнювалась ефективність дій систем круїз-контролю та водіїв-людей в умовах вільного руху. Виявилось, що круїз-контроль здатен забезпечити зменшення споживання пального в середньому на 3,3 %. Але АСС-система і людина-водій зобов'язані відстежувати віддаль до автомобіля попереду в потоці, а отже істотна зміна швидкісного режиму десь попереду в транспортному потоці може стати збуренням, що поширюється уверх вздовж потоку. Отже бажання тримати сталу швидкість пересування не завжди здійсненне.

На протигагу моделюванню чи експериментуванню на тестових трасах в роботі [9] досліджували транспортні сценарії з кооперативною участю транспортних засобів з різними технічними характеристиками та двигунами різного штибу, керованих різними водіями в реальних доволі різних дорожніх умовах і обставинах. Оцінювали при цьому рівень споживання лише так званої тягової енергії, що дозволяло не брати до уваги дуже неоднорідні властивості тягових систем (зокрема двигунів). Обліковувалась лише додатна тягова потужність. Дослідження було організовано так, щоб існувала можливість порівняти ефективність дій АСС-водія і людини-водія як з позицій енергоощадності окремої машини, так і з позицій енергоощадності усіх-разом машин-учасників транспортного сценарію. Відтак з'ясувалось, що: індивідуально АСС-водії витрачали тягову енергію на 2,7...20,5 % більше, ніж люди-водії; в кооперативному вимірі у міру поширення збурення швидкості вгору вздовж потоку спостерігалась тенденція поступового зростання перевитрат

пального АСС-водіями на 11,2...17,3 %. Тож – загальний висновок: АСС-система негативно позначається на ефективності використання тягової енергії.

Звісно, якщо рух мобільної машини з усталеною швидкістю справді є енергоощадним, то будь-яке, з будь-якої причини, відхилення від нього спровокує зайву енерговитратність – тривіальне твердження. Отже будь-яке збурення в упорядкованому транспортному потоці негативно позначиться на енергоощадності кожного його учасника і всіх їх разом. З багатьох міркувань в насиченому транспортному потоці усім потрібно бути «чемними»: протиставлення себе потокові в різних сенсах завжди є збитковим. Чинниками, що збурюють рух, зазвичай є поява в будь-якому перерізі транспортного потоку автомобіля-лідера, зміна нахилу поздовжнього профілю дороги, зміна якості дорожнього покриття, зміна напрямку траси в плані, змінний вітер.

Дорожнє полотно – це складна просторова поверхня, у взаємодії з якою мобільна машина зазнає опору рухові, який (тільки умовно!) можна поділити на адитивні складові: дорожній макропрофільний опір у поздовжньому напрямі (опір, що виникає у взаємодії мобільної машини з поздовжнім узвозом дороги – умовно «від'ємний» на спусках); дорожній макропрофільний опір, який виникає унаслідок взаємодії мобільної машини з поперечним схилом дороги; опір, який виникає унаслідок здійснення машиною повороту на звивистій трасі; мікропрофільний опір коченню коліс (унаслідок дії нерівності поверхні дорожнього покриття). Позначатимемо силу сумарного дорожнього опору через F_r (рис. 6). Поряд з нею за релевантний чинник доведеться брати ще й силу опору рухомого повітря F_w .

Радар (сонар, відео-пристрій) системи круїз-керування (чи водій за допомогою зорового апарату) визначає відстань між аварійно-рятувальною (суб'єктною) машиною і автомобілем (об'єктною машиною), що потенційно може стати лідером-перешкодою у напрямі руху. Цю відстань можна розглядати як різницю $s_{al}(t) - s_a(t)$ між поточними шляхами $s_{al}(t)$ і $s_a(t)$, що їх долають до миті t об'єктна і суб'єктна машини. Вона має перевищувати певний безпечний рівень $l_b(v_a)$, залежний, в ідеалі, принаймні від швидкості «суб'єкта» $v_a(t)$, а краще – ще й від швидкості «об'єкта» $v_{al}(t)$. Про принцип реагування системи круїз-керування на перешкоду попереду тут не йдеться.

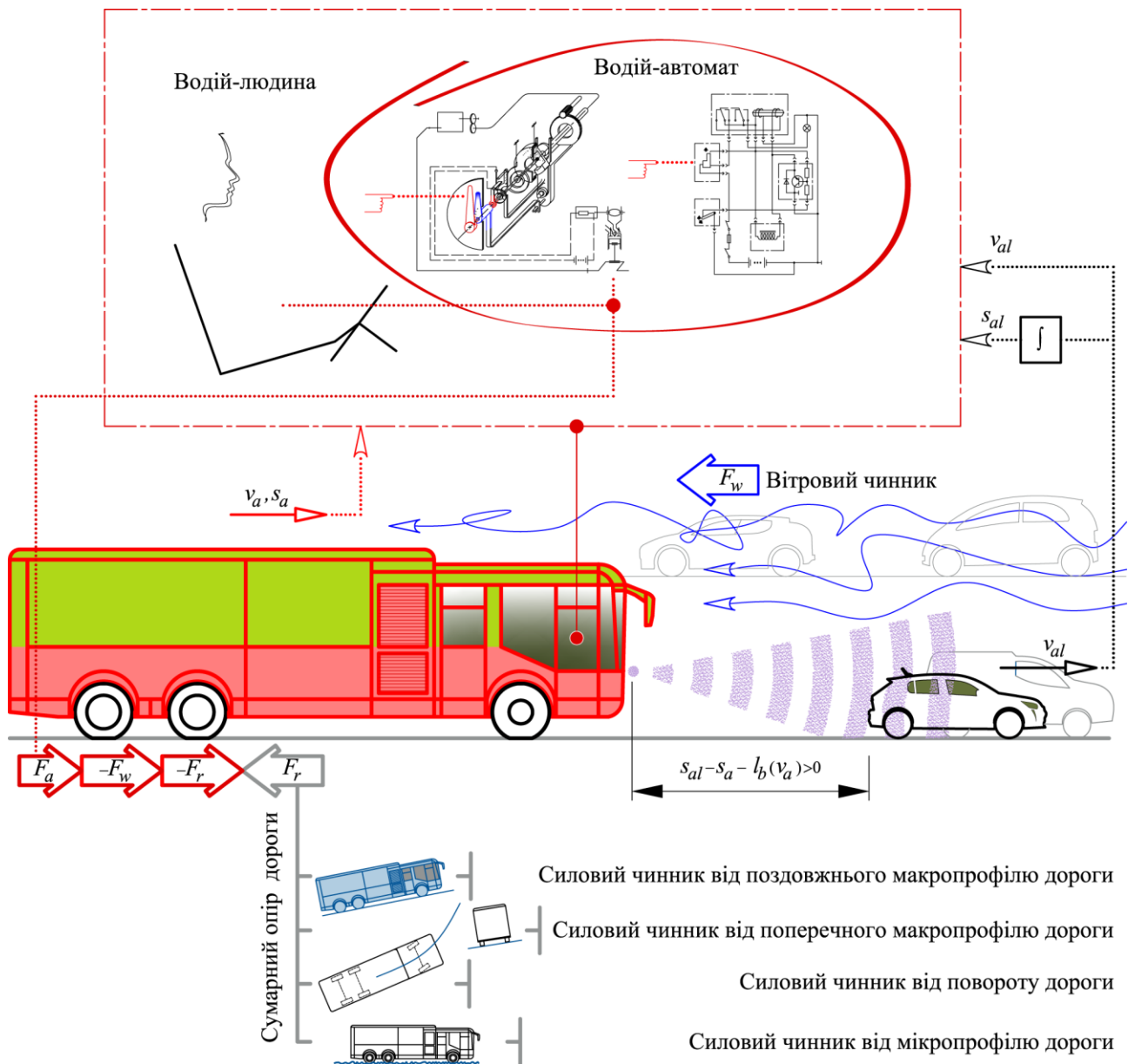


Рисунок 6 – Зарисовка схеми взаємодії мобільної машини з довкіллям

Енергоощадність безпосередньо вимірюють, звісно, витратою пального (чи іншого енергоносія) за певними правилами, за заздалегідь окреслених дорожніх умов та за допустимої кон'юнктури. В дослідженні [19], приміром, оперують майже лінійною (дещо розмитою, не цілком однозначною) залежністю циклової витрати пального двигуном внутрішнього згорання від продукovanого ним обертового моменту. Натомість в [9] за критерій оптимальності програми руху машини править відношення середньої роботи тягової сили до середньої швидкості руху за окреслений проміжок часу, тобто виконана за заданий проміжок часу робота тягової сили, що припадає на одиницю пройденого машиною шляху (в кВт-год/(100 км)).

Зрозуміло, між роботою тягової сили і витратою пального (чи іншого енергоносія) існує певна, хоча й не строго однозначна, монотонна

взаємовідповідність. Оперування саме роботою тягової сили $F_t = F_r + F_w + F_a$ істотно спрощує аналіз ефективності програм руху транспортного засобу, а отримувані висновки робить доволі універсальними, оскільки до уваги не беруться доволі складні властивості тягової системи транспортної машини. Тут F_a частина тягової сили, що протиставляється інерції машини.

Отож ідеться про те, чи справді процес стабілізації швидкості пересування машини в режимі cruise-керування обов'язково сприяє заощадженню енергії – мінімізації роботи тягової сили? Аби з'ясувати, за яких умов пересування зі сталою швидкістю є підстави вважати енергоощадним режимом руху автомобільної машини в пересічних (!) умовах, побудуємо модельну ситуацію, яку можна аналізувати в термінах класичного варіаційного числення.

Оптимальна програма в термінах варіаційного числення. Відомо, що необхідною умовою слабкого екстремуму функціонала

$$J = \int_{t_0}^{t_1} L\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) dt \quad (1)$$

є існування функції (програми) $v = v(t)$, що задовольняє рівняння Ойлера (Ейлера)

$$-\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial a} + \frac{\partial L}{\partial v} = 0 \quad \left(a = \frac{dv}{dt}\right) \quad (2)$$

(t_0, t, t_1 – початкова, поточна, кінцева миті часу).

Якщо функціонал є відношенням

$$J' = \frac{J_1}{J_2} = \frac{\int_{t_0}^{t_1} L_1\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) dt}{\int_{t_0}^{t_1} L_2\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) dt} \quad (3)$$

чи добутком

$$J'' = J_1 J_2 = \int_{t_0}^{t_1} L_1\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) dt \int_{t_0}^{t_1} L_2\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) dt \quad (4)$$

функціоналів $J_1 = \int_{t_0}^{t_1} L_1\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) dt$ і

$J_2 = \int_{t_0}^{t_1} L_2\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) dt$, то його варіація в першому

випадку визначається як $\delta J' = \frac{\delta J_1 J_2 - J_1 \delta J_2}{J_2^2}$, а в

другому – як $\delta J'' = \delta J_1 J_2 + J_1 \delta J_2$. Хай $v = v_{\text{extr}}(t)$ приносить екстремум чи функціоналу (3), чи функціоналу (4). В такому разі чи $\delta J' = 0$, чи $\delta J'' = 0$, звідки випливає, що рівняння Ойлера записуються для функцій відповідно чи

$$L = L_1\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) - \lambda_J L_2\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right),$$

чи

$$L = L_1\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right) + \lambda_J L_2\left(t, v, \frac{dv}{dt}\right),$$

де стала λ_J визначається за формулою

$$\lambda_J = \frac{J_1(v_{\text{extr}})}{J_2(v_{\text{extr}})}.$$

Варіаційна задача стає дуже простою, коли функціонал (1) набуває вигляду

$$J = \int_{t_0}^{t_1} (Q(t, v)a + R(t, v)) dt. \quad (5)$$

Функціонал штибу (5), у якого інтегрант $L = Q(t, v)a + R(t, v)$ є лінійним відносно

похідної $a = \frac{dv}{dt}$, зазвичай називають виродженим.

Оскільки в цьому випадку

$$\frac{\partial L}{\partial a} = Q(t, v), \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial a} = \frac{Q(t, v)}{\partial t} + \frac{Q(t, v)}{\partial v} a,$$

$$\frac{\partial L}{\partial v} = \frac{\partial Q(t, v)}{\partial v} a + \frac{\partial R(t, v)}{\partial v},$$

то необхідна умова екстремуму (2) (рівняння Ойлера) у разі виродженого функціонала набуває вигляду

$$-\frac{Q(t, v)}{\partial t} + \frac{\partial R(t, v)}{\partial v} = 0. \quad (6)$$

Виявляється, доволі простий вигляд має й достатня умова мінімуму виродженого функціонала (5):

$$\frac{\partial}{\partial v} \left(-\frac{Q(t, v)}{\partial t} + \frac{\partial R(t, v)}{\partial v} \right) > 0 \quad (7)$$

(нерівність протилежного змісту правила б за достатню умову максимуму функціонала).

Оптимальна програма руху мобільної машини. Моделюючи рух автомобіля, братимемо до уваги силу опору дороги $F_r = \psi m_a g$ та силу аеродинамічного опору рухові

$F_w = c_w A_w \rho_w \frac{v_a^2}{2} = k_w v_a^2$. Тут $\psi = \text{const}$ – коефіцієнт

опору дороги, m_a – повна маса автомобіля, g – прискорення вільного падіння в полі земного тяжіння, c_w і A_w – коефіцієнт аеродинамічності і площа вітрильності мобільної машини, ρ_w – густина повітря, k_w – коефіцієнт обтічності мобільної машини, v_a – швидкість її пересування. Якщо взяти до уваги ще й швидкість вітру $w = w(t) < v_a(t)$, то силу тяги доведеться визначати за формулою

$$F_i = \frac{M_e \eta_a}{u_a r_d} = \delta_a m_a \frac{dv_a}{dt} + \psi m_a g + k_w (v_a - w(t))^2, \quad (8)$$

де M_e – обертовий момент двигуна, η_a – коефіцієнт корисної дії тягової системи, u_a – передатне відношення трансмісії, r_d – динамічний радіус колісних рушіїв, δ_a – коефіцієнт, що обліковує інерцію оберткових мас машини, $\frac{dv_a}{dt} = a_a$ – пришвидження автомобіля.

Йтиметься загалом про довільні режими руху автомобіля, але без застосування гальм. Хай здійснюється мінімізація тягової роботи

$$J_0 = \int_0^T L_0 dt = \int_0^T P_t dt = \int_0^T F_t v_a dt \quad (9)$$

за умови

$$J_S = \int_0^T L_S dt = \int_0^T v_a dt = S, \quad (10)$$

де T і S – задані тривалість і шлях пересування автомобіля, $P_t = F_t v_a$ – потужність тяги. Застосовуючи принцип Лагранжа, згорнімо функціонали (9) і (10) в один штибу (1)

$$J = \int_0^T (\lambda_0 L_0 + \lambda_S L_S) dt = \int_0^T (\lambda_0 F_t v_a + \lambda_S v_a) dt, \quad (11)$$

у якому за підінтегральний вираз правитиме функція

$L = \lambda_0 (\delta_a m_a v_a a_a + \psi m_a g v_a + k_w v_a (v_a - w(t))^2) + \lambda_S v_a$, де $\lambda_0 \geq 0$ і λ – так звані множники Лагранжа, що ніби «зважують» в новому функціоналі підінтегральні функції функціоналів (9) і (10). Вони, аби оптимізаційна мала сенс, не можуть одночасно дорівнювати нулю. Новий критерій-функціонал (11), виявляється, належить саме до вироджених штибу (5):

$$Q = \lambda_0 \delta_a m_a v_a,$$

$$R = \lambda_0 (\psi m_a g v_a + k_w v_a (v_a - w(t))^2) + \lambda_S v_a.$$

Відтак необхідна умова оптимальності (6) має вигляд

$$-\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial R}{\partial v_a} = \lambda_0 (\psi m_a g + k_w (v_a - w(t))(3v_a - w(t))) + \lambda_S = 0.$$

У разі $\lambda_0 = 0$ нулем стає й множник λ_S . Аби запобігти цьому, зручно прийняти $\lambda_0 = 1$. Тож умови оптимальності (6), (7) матимуть вигляд

$$-\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial R}{\partial v_a} = \psi m_a g +$$

$$+ k_w (v_a - w(t))(3v_a - w(t)) + \lambda_S = 0, \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial v_a} \left(-\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial R}{\partial v_a} \right) = 2k_w (3v_a - 2w(t)) > 0. \quad (13)$$

Очевидно, що друга умова (13) справджується беззастережно через те, що за домовленістю $v_a > w(t)$. Перша ж умова (12) чітко засвідчує, що швидкість руху автомобіля залежить від швидкості вітру і може бути сталою тільки у разі сталої швидкості вітру.

Якщо ж не помічати вітру, то умова (12) зведеться до рівності

$$\psi m_a g + 3k_w v_a^2 + \lambda_S = 0,$$

Поєднуючи її з (10) та елімінуючи λ_S , доходимо очевидного результату: $v_a = \frac{S}{T} = \text{const}$.

Відповідно до принципу взаємності, якщо величина тягової роботи (9) є фіксована, то екстремаль забезпечує максимум пройденого шляху(10).

Але зазвичай величина ψ не обов'язково є сталою – поздовжній профіль дороги вздовж неї може істотно змінюватись. В такому разі в описі (8) слід вважати, що $\psi = \psi(s)$ (де s – поточний шлях), та долучити до нього умови

$$\frac{ds}{dt} = s' = v_a, \quad s(t=0) = s(0) = 0,$$

$$s(t=T) = s(T) = S. \quad (14)$$

Тож тепер ідеться про варіаційну задачу

$$J = \int_0^T L dt = \int_0^T \left(F_t v_a + \lambda_s \left(\frac{ds}{dt} - v_a \right) \right) dt \rightarrow \min$$

за умов (14). Множник Лагранжа λ_s тут трактується як функція часу ($\lambda_s = \lambda_s(t)$), а не число.

Екстремалі цієї нової задачі відображають рівняння Ойлера

$$\frac{\partial L}{\partial v_a} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial a_a} = \psi(s) m_a g +$$

$$+ k_w (v_a - w(t))(3v_a - w(t)) - \lambda_s = 0,$$

$$\frac{\partial L}{\partial s} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial s'} = \frac{d\psi(s)}{ds} m_a g v_a - \frac{d\lambda_s}{dt} = \frac{d}{dt} (\psi(s) m_a g - \lambda_s) =$$

$$= 0 \Leftrightarrow \psi(s) m_a g - \lambda_s = C, \quad C - \text{число}.$$

Відтак, елімінуючи з них $\lambda_s(t)$, доходимо співвідношення

$$k_w (v_a - w(t))(3v_a - w(t)) + C = 0, \quad (15)$$

яке загалом подібне до (12).

Тож виявляється, що змінний профіль дороги в оптимальній програмі руху автомобіля ніяк не простежується. У разі змінного вітру, як зазначалось, енергоощадна програма зміни швидкості пересування автомобіля має бути відповідно змінною: $v_a = v_a(t) = \text{var}$. Але якщо швидкість вітру стала, то відповідно до (15) оптимальна швидкість пересування автомобіля також має сталою: $v_a = S/T = \text{idem}$.

В загальному випадку можна припустити, що опір поверхні дороги коченню коліс, опір рухові машини, що виникає на повороті та узвозі дороги, сукупно характеризується коефіцієнтом $\psi = \psi(s, v_a)$. В такому разі рух автомобіля зі

сталою швидкістю виявиться неоптимальним. Натомість в менш загальному адитивному випадку $\psi = \psi_s(s) + \psi_v(v_a)$ режим пересування машини з усталеною швидкістю вже матиме ознаки енергетично оптимального.

Зауважмо, в [9], як зазначалося раніше, йдеться про мінімізацію функціонала (див. також (9), (10))

$$J = \frac{J_0/T}{J_s/T} = \frac{J_0(L_0)}{J_s(L_s)} = \frac{\int_0^T P_t dt}{\int_0^T v_a dt}, \quad (16)$$

тобто функціонала штибу (3). Якщо вважати швидкість вітру w сталою, то мінімізація критерію (16) приведе до результату $v_a(v_a - w) = 0$, який нас ніяк не влаштовує.

Отже вітер як таке собі – дуже «реальне», дуже «природне» – збурення «не визнає» енергоощадною програму усталеного руху автомобіля. «Руйнується» зазначений принцип енергоощадності й унаслідок систематичної появи автомобіля-лідера в насиченому транспортному потоці. Тож дослідження ефективності cruise-керування в реальних дорожніх умовах і за наближеними до реальності сценаріями не завжди дає логікою вивірену й об'єктивну інформацію про енергоефективність власне cruise-керування. Слід зазначити, що вітрові потоки загалом завжди негативно позначаються на енерговитратності автомобілів в транспортних потоках, неалежно від того, яким чином ці транспортні та вітрові потоки сформувались (не буває так, щоб вітер в середньому енергетично сприяв транспортним потокам). Тому сьогодні доречно висувати вимоги вітрозахисності транспортної інфраструктури.

Сприйняття й розуміння внеску в енергоощадність цілком змінюється, якщо збагнути, що необхідно брати до уваги й енергозатрати власне водія, пов'язуючи їх як завгодно з безпечністю: подолання наслідків однієї небезпек, що таки зреалізувалася, завжди є істотно витратним (зокрема, й енерговитратним) процесом. Отож загалом хоч так, хоч так режими cruise-керування є бажаними і загалом ефективними. До того ж, залучення послуг cruise-системи — це не просто автоматизація автомобіля, а крок до інтелектуальної автоматизації трафіку.

Резюме. Новітні технології круїз-контролю – це вагомні кроки у напрямі до неминуче автономних автомобілів. Компанія Google першою розробила технологію автономного керування автомобілем, та до комерційного її впровадження ставилась вкрай обережно, вишукуючи різні додаткові удосконалення, які б усунули щонайменші сумніви щодо можливості перевершити людину-водія за

рівнем безпечності. Натомість компанія Tesla навздогін не без ризиків та окремих невдач за найменшої нагоди бралася до покрокового, поетапного втілення своєї власної технології автомобільного самокерування, сповідуючи принцип, що автономні системи вже й так є надійнішими за людей-водіїв.

Оскільки живильним ресурсом штучного інтелекту, що вибудовується на засадах глибинного навчання, є чим більший обсяг даних, стратегія компанії Tesla виявилася ефективнішою, оскільки саме її підхід дозволяв нагромаджувати істотно більший обсяг корисної інформації і вишукувати цінні приховані кореляції. Тож етапи розвитку технології автономного керування автомобілем, виразниками яких є cruise-керування як таке та АСС-водії зокрема, виявилися в загальному підсумку надзвичайно корисними і плідними. Зараз у зв'язку з істотним зростанням трафіку на дорожній мережі застосування практично на всіх автомобілях адаптивного круїз-контролю дозволяє втілити додаткову корисну функцію – забезпечити автоматичне регулювання швидкості руху кожного окремо автомобіля в насиченому транспортному потоці та транспортного потоку як цілісного утворення (відтак можна умовно говорити про кооперативний адаптивний круїз-контроль).

Слід мати на увазі, що повноцінне впровадження технології автономного керування автомобілями потребує конструктивного впливу також і на інфраструктурне середовище. Приміром, у США сприятливою обставиною є значна кількість довгих автомагістралей, що сполучають передмістя мегаполісів. У Китаї, натомість, вбачають доцільність побудови взагалі нових «розумних» супермагістралей спеціально для безпілотного транспорту. Йдеться навіть про будівництво нових особливих міст, пристосованих суто для використання автономного транспорту.

Тож цілком зрозуміло, що cruise-керування має перспективу дуже тривалого застосування спочатку само по собі, а згодом – в складі системи автономного керування автомобілем. Вагомою ознакою корисності cruise-керування є, без сумніву, його здатність забезпечити вищий рівень взаємодопоміжності й екологічності автомобільного транспорту.

З'ясувалось, що беззастережно наполягати на тому, що пересування автомобіля зі сталою швидкістю є енергоощаднішим за рух автомобіля з тією самою в середньому, але локально змінною в часі швидкістю, нема загальних підстав. Таке твердження стає хибним у разі дії на автомобіль вітру змінної швидкості (і напрям), а також сил дорожнього опору рухові, нелінійно залежних одночасно від швидкості руху і доланого шляху. Але якщо сила дорожнього опору буде адитивною

– також доволі загальний випадок, то рух зі сталою швидкістю буде найенергоощаднішим.

Об'єктивно оцінити ефективність програми руху автомобіля було б добре через витрату енергоносія. Це підсилює аргументацію добутих висновків.

Справді, паливовитратна характеристика, скажімо, двигуна внутрішнього згоряння зазвичай (і це природно) є вгнутою функцією обертового моменту та швидкості обертання робочого вала. Згадаймо, під вгнутою (на противагу опуклій) розуміють таку означену на якомусь відрізьку $[a, b]$ функцію $f(x)$, яка справджує рівність

$$\frac{f(x_1) + f(x_2)}{2} \geq f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right) \quad \forall x_1, x_2 \in [a, b], x_1 \neq x_2.$$

З цієї причини, коливання поточних режимів роботи двигуна навколо якогось середнього неминує супроводжується вищою витратою пального, порівняно з тією, яка б спостерігалася б у разі постійної роботи двигуна на цьому середньому режимі.

Універсальний метод реалізації будь-якої, зокрема й оптимальної, програми – це застосування регулятора зі зворотним зв'язком (зворотною в'яззю). Аби канал зворотного зв'язку завжди був активним, має постійно існувати хоч-якесь відхилення від бажаної програми. Отже має існувати перевитрата енергії (пального) в «малому». Але це аж ніяк не криза сенсу, це плата за користь у «великому». Тим не менш, актуальним залишається пошук оптимального зворотного зв'язку, а не просто засобу відтворення оптимальної, програми.

Список літератури:

1. Jia D., Lu K., Wang J., Zhang X., Shen X. A survey on platoonbased vehicular cyber-physical systems // *IEEE Communication Surveys and Tutorials*. – 2016. – Vol. 18(1). – P. 263–284. DOI: 10.1109/COMST.2015.2410831
2. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A European Strategy for Low-Emission Mobility. – 2016. – 13 p.
3. Zhao W., Ngoduy D., Shepherd S., Liu R., Papageorgiou M. A platoon based cooperative eco-driving model for mixed automated and human-driven vehicles at a signalised intersection. // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – 2018. – Vol. 95. – P. 802–821. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.05.025>
4. Гащук П. Н. Оптимизация топливно-скоростных свойств автомобиля. – Львів: Вища школа, 1987. – 168 с.
5. Borrmeister J. Der Personenkraftwagen mit Diesel Motor. T. 2 // *Kraftfahrzeugtechnik*. – 1980. – No 1. – S. 11–17.
6. Gwinner D. Möglichkeiten der Reduktion des Energieverbrauchs durch Maßnahmen auf fahrzeugtechnischen Gebiet // *Verkehr Anholen*. – 1980. – No 2. – S. 15–23.
7. Lange K.-H., Hofmann R. Verminderung des Kraftstoffverbrauchs von PKW // *Automobilindustrie*. – 1977. – No 2. – S. 23–28.
8. Wobst M. Einfluß der Fahrweise auf den Streckenkraftstoffverbrauch // *Kraftfahrzeugtechnik*. – 1980. – No 9. – S. 271–272.
9. He Y., Makridis M., Fontaras G., Mattas K., Xu H., Ciuffo B. The Energy Impact of Adaptive Cruise Control in Real-World Highway Multiple-Car-Following Scenarios // *European Transport Research Review*. – 2020. – Vol. 12:17. – P. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00406-w>
10. McDougal J. A. Electro-cruise speed control system // *SAE Preprints*, s. a. – 1963. – No 617. – P. 1–5.
11. Гащук П. Н. Энергетическая эффективность автомобиля. – Львів: Світ, 1992. – 208 с.
12. Corona D., Lazar M., De Schutter B., Heemels M. A hybrid MPC approach to the design of a smart adaptive cruise controller // *In Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications*. – 2007. – [4067256] Institute of Electrical and Electronics Engineers. – P. 231–236. <https://doi.org/10.1109/CACSD-CCA-ISIC.2006.4776651>
13. Corona D., De Schutter B. Adaptive Cruise Control for a SMART Car: A Comparison Benchmark for MPC-PWA Control Methods // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. – 2008. – Vol. 16(2). P. 365–372. DOI: 10.1109/TCST.2007.908212
14. Tsugawa S. An Overview on Energy Conservation in Automobile Traffic and Transportation with ITS // *Proceedings of the IEEE International Vehicle Electronics Conference, Japan, IVEC*. – 2001. – Cat. No.01EX522. – P. 137–142. DOI: 10.1109/IVEC.2001.961741
15. Ioannou P., Stefanovic M. Evaluation of the ACC Vehicles in Mixed Traffic: Lane Change Effects and Sensitivity Analysis // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. — 2005. – Vol. 6(1). – P. 79–90. DOI:10.1109/TITS.2005.844226
16. Bose A., Ioannou P. Mixed manual/semi-automated traffic: A macroscopic analysis // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – 2003. – Vol. 11(6). – P. 439–462. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2002.04.001>
17. Marsden G., McDonald M., Brackstone M. Towards an understanding of adaptive cruise control // *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies*. – 2001. – Vol. 9(1). – P. 33–51. DOI: 10.1016/S0968-090X(00)00022-X
18. Lattemann F., Neiss K., Terwen S., Connolly T. The Predictive Cruise Control – A System to Reduce Fuel Consumption of Heavy Duty Trucks. // *SAE*

Technical Paper, – 2004. – 2004-01-2616 – 10 p.
<https://doi.org/10.4271/2004-01-2616>.

19. Hellstrom E., Aslund J., Nielsen L.. Design of an efficient algorithm for fueloptimal look-ahead control // *Control Engineering Practice*. – 2010. – Vol. 18(11). – P. 1318–1327. DOI:10.1016/j.conengprac.2009.12.008

20. Li S., Li K., Rajamani R., Wang J. Model Predictive Multi-Objective Vehicular Adaptive Cruise Control // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. – 2011. – Vol. 19(3). – P. 556–566. DOI:10.1109/TCST.2010.2049203

21. Zhang, J., & Ioannou, P. Longitudinal control of heavy trucks in mixed traffic: Environmental and fuel economy considerations // *IEEE Trans. Intel. Transport. Syst.* – 2006. – Vol. 7(1). – P. 92–104. DOI: 10.1109/ITSC.2004.1398998

22. Yi K., Kwon Y. Vehicle-to-vehicle distance and speed control using an electronic-vacuum booster // *JASE Rev.* – 2001. – Vol. 4. – P. 403–412. DOI:10.1016/S0389-4304(01)00123-0

23. Mamouei M. H., Kaparias I., Halikias G. A framework for user- and system-oriented optimisation of fuel efficiency and traffic flow in Adaptive Cruise Control // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – 2018. – Vol. 92. – P. 27–41. DOI:10.1016/J.TRC.2018.02.002

24. Park S., Rakha H., Ahn K., Moran K. Fuel Economy Impacts of Manual, Conventional Cruise Control and Predictive Eco-Cruise Control Driving // *International Journal of Transportation Science and Technology*. – 2013. – Vol. 2(3). – P. 227–242. DOI:10.1260/2046-0430.2.3.227

References:

1. Jia, D., Lu, K., Wang, J., Zhang, X., & Shen, X. (2016). A survey on platoonbased vehicular cyber-physical systems. *IEEE Communication Surveys and Tutorials*, 18(1), 263–284. DOI: 10.1109/COMST.2015.2410831

2. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. (2016). A European Strategy for Low-Emission Mobility. 1–13.

3. Zhao, W., Ngoduy, D., Shepherd, S., Liu, R., & Papageorgiou, M. (2018). A platoon based cooperative eco-driving model for mixed automated and human-driven vehicles at a signalised intersection. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 802–821. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.05.025>

4. Hashchuk, P. M. (1987). Fuel and Speed Properties Optimization of Automobile. Lviv, Vyshcha shkola. (in Russ.)

5. Borrmeister, J. (1980). Der Personenkraftwagen mit Diesel Motor. *Kraftfahrzeugtechnik*, 2(1), 11–17.

6. Gwinner, D. (1980). Möglichkeiten der Reduktion des Energieverbrauchs durch Maßnahmen auf fahrzeugtechnischen Gebiet. *Verkehrs Anholen*. 2, 15–23.

7. Lange, K.-H., & Hofmann, R. (1977). Verminderung des Kraftstoffverbrauchs von PKW. *Automobilindustrie*, 2, 23–28.

8. Wobst, M. (1980). Einfluß der Fahrweise auf den Streckenkraftstoffverbrauch. *Kraftfahrzeugtechnik*, 9, 271–272.

9. He, Y., Makridis, M., Fontaras, G., Mattas, K., Xu, H., & Ciuffo, B. (2020). The Energy Impact of Adaptive Cruise Control in Real-World Highway Multiple-Car-Following Scenarios. *European Transport Research Review*, 12:17, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00406-w>

10. McDougal, J. A. (1963). Electro-cruise speed control system. *SAE Preprints*, s. a., 617, 1–5.

11. Hashchuk, P. M. (1992). Vehicle energy efficiency. Lviv: Svit. (in Russ.)

12. Corona, D., Lazar, M., De Schutter, B., & Heemels, M. (2007). A hybrid MPC approach to the design of a smart adaptive cruise controller. In *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications*, [4067256] Institute of Electrical and Electronics Engineers, 231–236. <https://doi.org/10.1109/CACSD-CCA-ISIC.2006.4776651>

13. Corona, D., & De Schutter, B. (2008). Adaptive Cruise Control for a SMART Car: A Comparison Benchmark for MPC-PWA Control Methods. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 16(2), 365–372. DOI: 10.1109/TCST.2007.908212

14. Tsugawa, S. (2001). An Overview on Energy Conservation in Automobile Traffic and Transportation with ITS. *Proceedings of the IEEE International Vehicle Electronics Conference, Japan, IVEC 2001 (Cat. No.01EX522)*, 137–142. DOI: 10.1109/IVEC.2001.961741

15. Ioannou, P., & Stefanovic, M. (2005). Evaluation of the ACC Vehicles in Mixed Traffic: Lane Change Effects and Sensitivity Analysis. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 6(1), 79–90. DOI:10.1109/TITS.2005.844226

16. Bose, A., & Ioannou, P. (2003). Mixed manual/semi-automated traffic: A macroscopic analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 11(6), 439–462. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2002.04.001>

17. Marsden, G., McDonald, M., & Brackstone, M. (2001). Towards an understanding of adaptive cruise control. *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies*, 9(1), 33–51. DOI: 10.1016/S0968-090X(00)00022-X

18. Lattemann, F., Neiss, K., Terwen, S., & Connolly, T. (2004). The Predictive Cruise Control – A System to Reduce Fuel Consumption of Heavy Duty

Trucks. SAE Technical Paper 2004-01-2616, 1–10. <https://doi.org/10.4271/2004-01-2616>.

19. Hellstrom, E., Aslund, J., & Nielsen, L. (2010). Design of an efficient algorithm for fuel optimal look-ahead control. *Control Engineering Practice*, 18(11), 1318–1327. DOI:10.1016/j.conengprac.2009.12.008

20. Li, S., Li, K., Rajamani, R., & Wang, J. (2011). Model Predictive Multi-Objective Vehicular Adaptive Cruise Control. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 19(3), 556–566. DOI: 10.1109/TCST.2010.2049203

21. Zhang, J., & Ioannou, P. (2006). Longitudinal control of heavy trucks in mixed traffic: Environmental and fuel economy considerations. *IEEE Trans. Intel. Transport. Syst.*, 7(1), 92–104. DOI: 10.1109/ITSC.2004.1398998

22. Yi, K., & Kwon, Y. (2001). Vehicle-to-vehicle distance and speed control using an electronic-vacuum booster. *JASE Rev.* 4, 403–412. DOI:10.1016/S0389-4304(01)00123-0

23. Mamouei, M. H., Kaparias, I., & Halikias, G. (2018). A framework for user- and system-oriented optimisation of fuel efficiency and traffic flow in Adaptive Cruise Control. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 92, 27–41. DOI:10.1016/J.TRC.2018.02.002

24. Park, S., Rakha, H., Ahn, K., & Moran, K. (2013). Fuel Economy Impacts of Manual, Conventional Cruise Control and Predictive Eco-Cruise Control Driving. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2(3), 227–242. DOI:10.1260/2046-0430.2.3.227

© Л. П. Гашук, П. М. Гашук, А. М. Домінік,
М. І. Сичевський, 2022.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 06.04.2022.

Прийнято до публікації 17.05.2022.