

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"**  
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Пельо Роман Андрійович**

**УДК 629.113.001**

**ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВООЩАДНОСТІ АВТОТРАНСПОРТНОГО  
ЗАСОБУ ФОРМУВАННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗАКОНІВ ТА  
АЛГОРИТМІВ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ ТРАНСМІСІЇ**

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Гащук Петро Миколайович,**  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, завідувач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Шуляк Михайло Леонідович,**  
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, професор кафедри тракторів і автомобілів;

кандидат технічних наук,  
**Дембіцький Валерій Миколайович,**  
Луцький національний технічний університет, старший викладач кафедри автомобілів і транспортних технологій

Захист відбудеться «29» листопада 2019 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.20 у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1, корпус XIV, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «28» жовтня 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В. В. Ковалишин

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми досліджень.** Підвищення ефективності комерційної експлуатації сучасних автотранспортних засобів з одночасним покращенням їхніх паливоощадності та безпеки експлуатації невід'ємно пов'язане з вирішенням проблем автоматизації управління агрегатами автомобілів і, передусім, агрегатами трансмісії.

Найраціональнішим щодо співвідношення розмірів коробки передач, кількості сходинок і можливості перемикання передач без розривання потоку потужності є застосування роботизованих коробок передач з перемиканням за допомогою індивідуальних фрикціонів чи синхронізаторів.

Сьогодні найпоширеніші планетарні гідромеханічні передачі, що дають змогу, по-перше, знизити динамічні навантаження в системі «двигун-трансмісія» за рахунок забезпечення плавності перебігу перехідних процесів, по-друге, порівняно простими засобами автоматизувати процеси, пов'язані з управлінням передавання потужності від двигуна до ведучих коліс. Завдяки цьому спрощується управління автомобілем, знижується втомлюваність водія внаслідок зменшення обсягу його фізичного навантаження, він має змогу уважніше спостерігати за дорожньою обстановкою. Все це забезпечує підвищення безпеки руху, а також знижує ступінь впливу кваліфікації та індивідуальних особливостей водія на експлуатаційні показники автомобіля.

Однак у гідромеханічних передачах є й суттєві недоліки, такі як наявність гідротрансформатора - вузла, з низьким ККД (коефіцієнтом корисної дії), великими осьовими і радіальними розмірами, тому необхідно використовувати велику кількість робочої рідини для ефективної роботи (стільки ж, скільки на систему мащення та керування). У зв'язку з цим провідні світові виробники автоматичних коробок передач останніми роками намагаються відмовитися від використання гідротрансформаторів, однак його відсутність призводить до звуження динамічного діапазону коробки передач, тому доводиться збільшувати кількість ступенів.

Ще один напрям розвитку сучасних автоматичних коробок передач - відмова від пристроїв плавного вмикання фрикціонів. Це пов'язано з тим, що сучасна коробка передач повинна відпрацьовувати перемикання в будь-яких дорожніх умовах і бути недорогою. А усі додаткові гідравлічні елементи, такі як пристрої плавного вмикання і, зокрема, гідроакумулятори значно підвищують металоємність і розміри коробки передач, а отже, і її вартість, зменшуючи надійність.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки «Дослідження і оптимізація експлуатаційних властивостей автомобілів і їхніх систем, технічного обслуговування та транспортних процесів».

Роботу виконано в межах науково-дослідної роботи: «Оптимізація законів та алгоритмів перемикання передач в сходинчастих трансмісіях автомобіля» (номер державної реєстрації 0107V009525) та «Аналіз і синтез інтелектуальних систем автомобіля» (номер державної реєстрації 0114U001688).

**Мета і завдання роботи.** Мета дисертаційної роботи — розробити методіку синтезу оптимальних законів перемикання передач у системі «двигун — сходи́нча́ста (ступенева) механічна трансмісія — автомобіль», в межах якої моменти перемикання вибирають залежно від умов паливної економності, заданого водієм режиму руху та організації процесу перемикання передач за допомогою фрикціонів без розриву силового потоку і відповідного автоматичного корегування режиму роботи двигуна.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі поставлено такі завдання:

- здійснити критичний огляд науково-методологічних принципів і критеріїв оцінювання оптимальності/досконалості, якими переважно керуються у пошуках раціональних підходів до автоматизації сходи́нча́стих трансмісій автомобіля;

- розробити алгоритми активного керування системами автоматичної одночасно механічною трансмісією і двигуном внутрішнього згоряння під час перемикання передач з умов максимального дотримання режиму руху, який задає водій;

- розробити методіку формування/розрахунку оптимальних моментів перемикання передач сходи́нча́стої (ступеневої) механічної трансмісії з умов паливоощадності для режиму (програми) руху, який задає водій;

- опрацювати алгоритми автоматичного коригування режимів роботи двигуна внутрішнього згоряння під час і після процесу перемикання передач за допомогою фрикціонів, передбачивши можливе використання короткочасових, так званих форсованих, режимів роботи двигуна з виходом на режими зовнішньої швидкісної характеристики.

**Об’єкт дослідження** - процеси/закони/алгоритми керування параметрами системи «двигун—механічна сходи́нча́ста (ступінчаста) трансмісія» за типових умов експлуатації режимів руху.

**Предмет дослідження** — методика синтезу оптимальних законів перемикання передач у сходи́нча́стій трансмісії та алгоритмів організації процесів перемикання передач (прямих – з нижчих передач на вищі, а також зворотних) за допомогою фрикціонів та автоматичного коригування режимів роботи двигуна внутрішнього згоряння.

**Методи дослідження.** Задекларовані завдання виконано на засадах системного підходу з використанням засобів формалізованого аналізу й синтезу на основі ретельно опрацьованих принципів індукції й дедукції. Розв’язування науково-прикладної задачі синтезу оптимальних законів перемикання передач здійснено методами аналітичного моделювання та комп’ютерного й натурального симулювання процесів функціонування системи «двигун — трансмісія — автомобіль» на основі універсальної її розрахункової схеми із залученням теорії диференціальних рівнянь, формалізованих методів апроксимації характеристик системи та її елементів та сучасних засобів експериментування. Методологія дослідження спирається на досвідно ідентифіковану інформацію, що відображає властивості двигуна (універсальну його характеристику) і конкретні параметри автомобіля, та на типову модель динамічної взаємодії автомобіля з дорогою і довкіллям.

**Наукова новизна отриманих результатів дослідження** полягає у формуванні науково-методологічних принципів/засад/алгоритмів синтезу оптимальних законів керування механічною сходиною трансмісією з умов паливної економії, режиму руху, який задає водій, і такої організації процесу перемикання передач фрикціями, щоб недопустити розриву силового потоку, та відповідного автоматичного коригування режимів роботи двигуна під час і після процесу перемикання.

**Практичне значення одержаних результатів**. Дослідження законів та алгоритмів перемикання передач в сходичастих трансмісіях автомобіля виявило приховані резерви підвищення паливоощадності автомобіля, які з тих чи інших причин залишились поза увагою дослідників. Це, зокрема, дає можливість окреслити основні напрямки зменшення енерговитрат при автоматизації транспортних машини з гідродинамічними трансмісіями у режимі роботи із заблокованим гідротрансформатором. А також коробок передач із двома паралельними зчепленнями за схемою DSG.

**Особистий внесок здобувача**. Основні результати, висновки і рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, автор отримав самостійно. В опублікованих спільних працях автору належать: розроблення математичної моделі системи «двигун-трансмісія-автомобіль» [1, 15], суміщення характеристик двигуна і трансмісії [3, 4]; аналіз доцільності застосування ранніх та пізніх перемикачів [5], побудова паливовитратних характеристик [8, 10]; синтез законів керування двигуном [9]; комп'ютерне моделювання реалізації перемикачів та синтезу законів перемикачів [11, 13]; розроблення методики проведення експериментальних досліджень і оброблення результатів експерименту [34].

**Апробація результатів дисертації**. Апробацію основних результатів дослідження здійснено на: 7-14-му міжнародних симпозиумах українських інженерів-механіків у Львові (2005, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017 та 2019 рр.); 64-й Науково-практичній конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Львів, 2008 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених та студентів (м. Донецьк, 2011 р.); 3-6-й міжнародних науково-практичних конференціях: «Теорія і практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» у Львові (2012, 2014, 2016 та 2018 рр.); 6-й та 8-й міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» у м. Вінниця (2013 та 2015 рр.); 15-й відкритій науковій конференції Інституту прикладної математики та фундаментальних наук Національного університету «Львівська політехніка» (2018 р.)

**Публікації**. Основні результати досліджень опубліковано у 15 статтях, з них 13 у наукових фахових виданнях України та одна стаття у науковому фаховому виданні України, яке входить до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus, одна стаття у науковому періодичному виданні іншої держави (Польща), а також у 20 тезах доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації**. Дисертаційна робота містить вступ, основну частину, яка складається з чотирьох розділів, висновки, список використаних джерел, який налічує 131 найменування. Повний обсяг дисертації –

211 сторінок, зокрема 165 сторінок основного тексту, вона містить 73 рисунки, 3 таблиці, 3 додатки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, інформацію про апробацію та публікації основних положень дисертації.

У **першому** розділі проаналізовано відомі дослідження у сфері автоматизації управління транспортних автомобілів та тракторів, зокрема, гідромеханічних та комбінованих гідростатично-механічних трансмісій. Опрацьовано публікації з автоматизації механічних сходинок коробок передач вітчизняних науковців (зокрема СРСР) П. М. Гашука, В. І. Кліменка, Л. В. Крайника, В. Б. Самородова, М. Л. Шуляка та інших, а також зарубіжних вчених М. Schwab, Н.-J. Foerster, F. Mueller, K. Harmon, K. Grad, M. Goetz, M. Levesky, M. Franz, K. Kureta, T. Minowa, M. Pettersson, D. Le Guen, М. А. Айзермана, В. А. Петрова, Л. А. Румянцева, М. В. Гричанюка, А. А. Філімонова, О. С. Руктешеля, Б. І. Плужнікова, В. П. Тарасіка, С. Н. Поддубка, І. А. Фісенка та інших.

В основу теоретичних досліджень щодо формування раціональних/оптимальних законів перемикання передач (вибору – розрахунку моментів – митей перемикання) покладено дві, зазвичай трактовані як різні чи навіть протилежні вимоги - забезпечення максимальної динамічності та енергоощадності (паливної економічності). Організація процесів перемикання передач ґрунтується теж на дещо протиставних вимогах - забезпечити максимально плавне, комфортне перемикання або ж мінімізувати роботу буксування фрикціонів (чи інших з'єднань – синхронізаторів або кулачкових муфт) і, відповідно, зменшити зношення і підвищити ресурс трансмісії.

Разом з тим треба констатувати очевидний пріоритет задання бажаного режиму руху (розганяння чи сповільнення) власне водієм. Тому розмежовувати увесь діапазон режимів навантаження двигуна – положення педалі паливоподачі/акселератора на «динамічні» чи «економічні» немає сенсу. Перехід на максимальне використання тягових чи гальмівних характеристик двигуна і, відповідно, реалізація динамічних моментів перемикання має сенс тільки як особливий випадок управління системою «двигун – сходинок трансмісія» (звичний для більшості гідродинамічних трансмісій режим «Kick down» - додаткове натискання на педаль акселератора уже за досягнутої максимальної паливоподачі). Домінантним фактично для усіх інших режимів руху щодо вибору моменту/миті перемикання передач є паливоощадність за умови, що водій зберігатиме/дотримуватиметься режиму/програми руху (інтенсивності зміни швидкості руху).

Існує тенденція інтенсифікації автоматизації управління звичайною механічною сходинок коробкою передач, яка має очевидні переваги над традиційними гідромеханічними передачами – відчутно вищий ККД та значно нижчу собівартість виробництва. Відтак це зумовлює особливу актуальність

досліджень у сфері організації власне процесів перемикання передач (алгоритмів) на основі сучасного розвитку мехатронних систем.

Зважаючи на електронну систему управління паливоподаванням у сучасних двигунах, очевидна доцільність вивчення і аналізу автоматичного коригування режимів роботи двигуна безпосередньо під час перемикання передач. Таке коригування доцільне як з умов зниження навантаження на елементи трансмісії і, відповідно, зменшення їхнього зношення (як одного з найкритичніших щодо ресурсу в сучасних автоматизованих коробках передач), так і з умов мінімізації відхилення режиму руху автомобіля від того, який задає водій під час перемикання. Наступним проблемним питанням автоматизації класичних механічних коробок передач (на відміну від гідродинамічних передач) є розрив силового потоку під час перемикання (вимикання зчеплення на кожній передачі із вмиканням згодом під час переходу на наступну передачу). Це супроводжується істотним відхиленням від заданої водієм інтенсивності зміни швидкості.

У Львові у 2005-2006 рр. діяло виробництво гідромеханічних передач ВАТ ЛЗГМП і, відповідно, фрикціонів, як, зрештою, і на ПрАТ ХТЗ в Україні. Це спонукало до вивчення організації процесів перемикання механічної коробки передач за допомогою багатодискових фрикціонів, оскільки вони дають змогу уникнути розриву силового потоку під час перемикання за замкнутого (без необхідності послідовного вимикання-вмикання) класичного зчеплення.

Зазначимо, що опрацьована методика дослідження і алгоритми керування режимати роботи фрикціонів/зчеплень і двигуна загалом актуальні й стосовно нещодавно впроваджених у практику автомобілебудування автоматичних механічних коробок передач (DSG) з двома фрикційними зчепленнями (відповідно, для парних і непарних передач). Це дає змогу синхронізувати (з перекриттям у часі) процеси перемикань без розриву силового потоку (для прикладу, трансмісії Volkswagen, Audi).

У **другому** розділі наведено результати досліджень взаємозв'язку між параметрами (передатними відношеннями) механічної коробки передач та оптимальними законами перемикання передач з умов паливної ощадності.

Наведено умову можливості реалізації перемикання на суміжні передачі без відхилення від програми (режиму) руху, яку задає водій. На основі цієї умови проаналізовано доцільність застосування ранніх та пізніх перемикань для різних програм руху автомобіля з умов паливоощадності.

Під час обґрунтування вибору законів перемикання передач розглянуто питання впливу вибору миті (моменту) перемикання передач у механічній трансмісії на його енергоощадні властивості (паливну економічність за заданої програми руху). Проаналізувавши суміщення характеристик двигуна і трансмісії, обґрунтовано оптимальну програму перемикань в трансмісії у заданих умовах руху (рис. 1) для двох програм розганяння (рис. 2): 1 – лінійної та 2 – «опуклої».

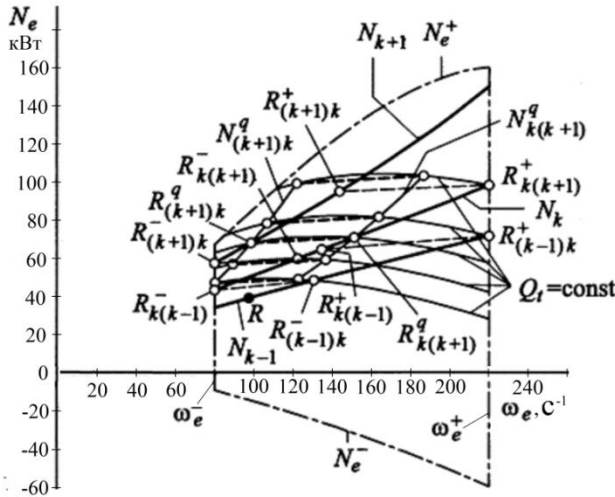


Рис. 1. Алгоритм визначення оптимальних моментів перемикання передач

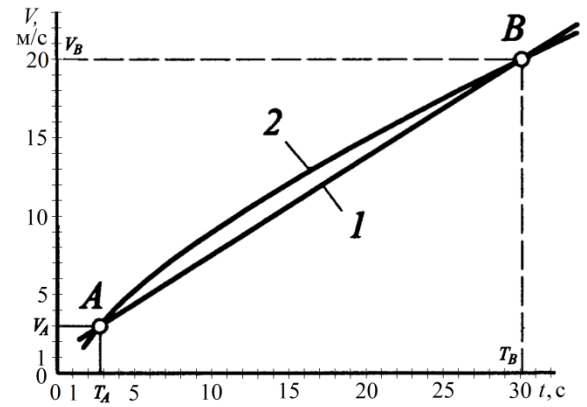


Рис. 2. Програми розганання автомобіля

Кінематичні та силові співвідношення, які відображають зміну режиму роботи двигуна внаслідок перемикань з  $(k-1)$ -ї на  $k$ -ту передачу, мають вигляд

$$\omega_{ek} = \omega_{e(k-1)} \frac{u_{k-1}}{u_k}; \quad (1)$$

$$M_{ek} = \frac{u_k}{\delta_{k-1}} \left( \frac{M_{e(k-1)} \delta_k}{u_{k-1}} - \frac{(\delta_k - \delta_{k-1})(G_a \psi + k_n F v^2) u_0 r_k}{\eta_{тр}} \right); \quad (2)$$

де  $\omega_{ek}$ ,  $\omega_{e(k-1)}$  — швидкість обертання вала двигуна відповідно на  $k$ -й та  $(k-1)$ -й передачах;  $u_k$ ,  $u_{k-1}$  — передатні відношення на цих суміжних передачах;  $M_{ek}$ ,  $M_{e(k-1)}$  — відповідні обертові моменти двигуна;  $\delta_k$ ,  $\delta_{k-1}$  — відповідні коефіцієнти обліку інерції обертових мас автомобіля;  $u_0$  — передатне відношення головної передачі;  $G_a$  — вага автомобіля;  $\psi$  — сумарний коефіцієнт опору дороги;  $k_n$  — коефіцієнт опору повітря;  $F$  — площа вітрового опору;  $\eta_{тр}$  — коефіцієнт корисної дії трансмісії;  $r_k$  — радіус кочення колеса.

Аналізуючи результати досліджень (зокрема, щодо реальних моделей автомобілів), слід констатувати відчутну залежність формування законів перемикання від передатних відношень і кількості передач.

Обмеження раціональної кількості передач під час розгону для розглядуваної схеми з перемиканням без розриву силового потоку стрімко втрачає актуальність.

Відповідно розглянуто характеристики суміщення типового двигуна внутрішнього згорання з п'яти-, восьми- та десятиступневими механічними коробками передач та визначено відповідні програми перемикань з умов паливоощадності руху. Зазначимо, що у реальних сучасних механічних коробках передач сформовані співвідношення передатних відношень здебільшого не відповідають відомому з класичної теорії руху автомобіля геометричному ряду. Саме геометричний ряд, як відомо, забезпечує найкращу динаміку розгону.

Істотне зростання впродовж останніх двох-трьох десятиліть питомої потужності автомобільних двигунів зумовило задання передатних відношень з умов паливної економії та обмежень певних режимів роботи двигуна з умов



екологічності/токсичності відпрацьованих газів. Це стало реальним завдяки тенденції значного збільшення питомої потужності. Відтак треба констатувати відсутність сталої зони швидкісних режимів роботи двигуна, що відповідали і оптимальним (з умов паливоощадності) моментам перемикавання для усього ряду передатних чисел. Власне пріоритетність вищої передачі щодо суміжної нижчої з умов паливоощадності й залежить від щільності ряду передатних відношень або зближення передатних відношень суміжних передач. Зокрема доведено, що для восьми- та десятиступневих коробок передач залежно від конкретних значень передатних чисел доцільна з умов паливоощадності схема перемикань тільки через суміжні передачі. Це, однак, пов'язано з додатковою проблемою (для кінематичних схем трансмісій з восьми та дванадцятьма передачами) автоматизації перемикавання діапазонів дільника/демультиплікатора. Цю проблему в роботі ми не розглядали, як одну з основних для формування відповідних законів перемикавання передач.

Ввівши поняття абсолютного та нульового пріоритету перед суміжними передачами, ми виявили деякі властивості засобів автоматизації в механічному багатоступеневому трансформаторі на стадії синтезу законів та алгоритмів перемикавання передач. Рівень складності системи автоматичного керування трансмісією зумовлений тим, наскільки важко буде «прочитувати» технічними засобами пріоритети передач (абсолютний чи нульовий) коли двигун працює на різних режимах. Не «прочитуючи» такого пріоритету, система автоматичного керування не усуває його взагалі, а лише робить його «прихованим», тим самим уникаючи зайвих перемикань. На противагу «прихованому» пріоритету з області режимів роботи двигуна труднощі з «прочитуванням» автоматичною системою керування можуть виникнути за «підсиленого» чи «хибного» пріоритету.

У **третьому розділі** на основі простої (з низкою припущень) двомасової еквівалентної динамічної схеми автомобіля під час перемикань за допомогою двох фрикціонів, що одночасно працюють (або двох зчеплень за DSG-схемою) розроблено чотири алгоритми автоматичного керування/управління режимами роботи двигуна під час перемикань. Зокрема, для розганяння це: 1)  $\omega$ -керування (рис. 3) з умови стабілізації кутової швидкості  $\omega_e$  двигуна як завершальної стадії автоматичного керування режимами роботи двигуна з переходом через форсовані (зовнішні) гальмівні режими ( $ab$  на рис.3) і подальшим виходом на нефорсовані тягові ( $cR_{k+1}^{t_0+\tau}$ ). З точки закінчення процесу буксування фрикціонів  $R_{k+1}^{t_0+\tau}$  режим двигуна переходить на форсовані тягові режими (зовнішня швидкісна характеристика, ділянка  $de$ ), власне для дотримання програми руху, яку задав водій (закінчення відповідає т.  $R_{k+1}^0$ ); 2)  $g$ - керування (рис. 4) з умови мінімізації витрат палива під час перемикавання і зміни режимів роботи двигуна у разі перемикавання з  $k$ -ї на з  $(k+1)$ -у передачі по лінії мінімальної питомої витрати палива  $g_e$ , яка відповідає значенню потужності  $N_e^0$  (рис. 4). Цей алгоритм теж передбачає дві ділянки переходу з форсованих гальмівних ( $ab$ ) на тягові ( $de$ ) режими роботи двигуна; 3)  $N$ - керування (рис. 5) з умови стабілізації потужності двигуна під час і після закінчення процесу перемикавання (теж як один з можливих варіантів мінімізації відхилень від заданого режиму руху під час перемикавання передач). У цьому випадку змінюється послідовність використання форсованих

режимів роботи двигуна – на початку буксування фрикціонів форсований тяговий ( $ab$ , рис. 5). Потім форсований гальмівний ( $cR_{k+1}^{t_0+\tau}$ , рис. 5) з повторним виходом на форсований тяговий у момент закінчення процесу перемикання  $t_0 + \tau$  ( $de$ , рис. 5); 4)  $M$ - керування (рис. 6) з умови стабілізації обертового (крутного) моменту двигуна з миті початку і до закінчення процесу перемикання ( $aR_{k+1}^{t_0+\tau}$ ). Цей спосіб керування не передбачає, на відміну від попередніх, короткочасового переходу режиму роботи двигуна на форсовані режими роботи.

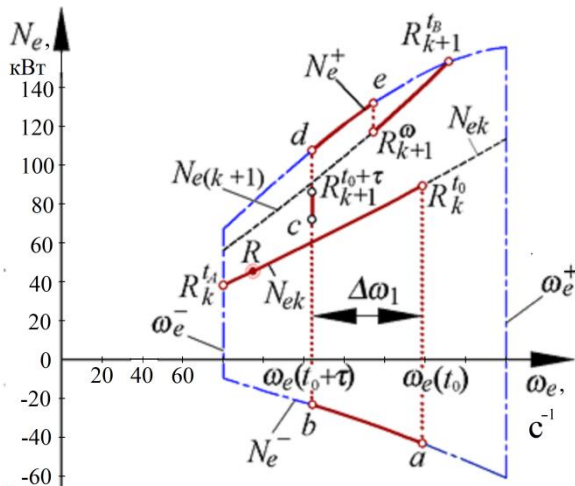


Рис. 3.  $\omega$ -керування двигуном у разі перемикання «вгору»

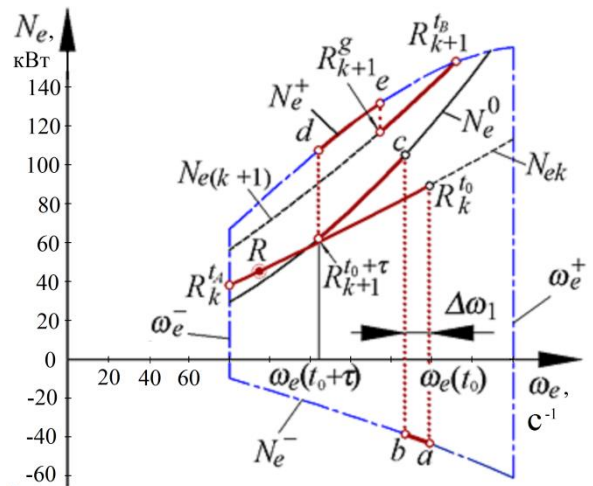


Рис. 4.  $g$ -керування двигуном під час перемикання «вгору»

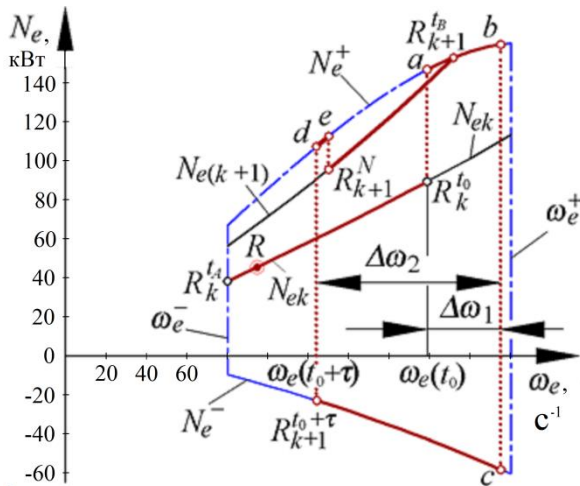


Рис. 5.  $N$ -керування двигуном під час перемикання передач «вгору»

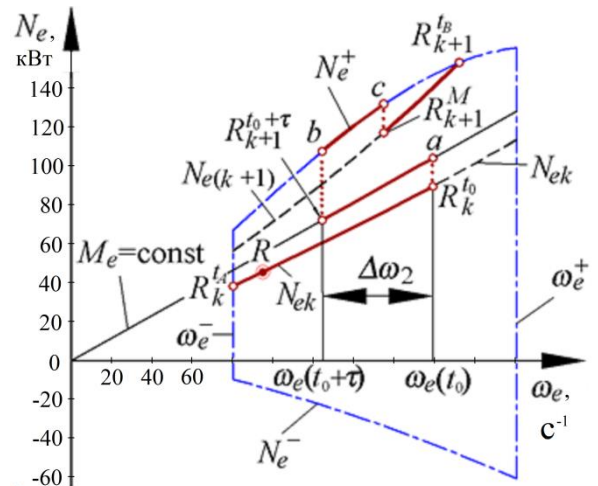


Рис. 6.  $M$ -керування двигуном у разі перемикання передач «вгору»

Допускаючи можливість відхилення від програми руху, поставимо логічну вимогу, щоб у деяку мить після перемикання передач наслідків відхилення програми руху не можна було виявити.

Доцільність вибору того чи іншого способу керування двигуном у процесі перемикання передач у разі заданих миті його початку  $t_i = t_0$  та тривалості роботи фрикціонів  $\tau_j = \tau$  обґрунтовано витратою палива  $Q_{AB}(t_i, \tau_j)$  під час відтворення заданого фрагмента програми  $v = V(t)$  руху транспортного засобу (рис. 7). Для визначення витрат пального у разі реалізації заданої програми руху, зокрема, для

$\omega$ -керування двигуном, використано формулу:

$$\begin{aligned}
 Q_{AB}^{\omega}(t_0, \tau) = & \int_{t_A}^{t_0} Q_t(M_{ek}(t), \omega_{ek}(t)) dt + \int_{t_0}^{t_0 + \Delta\tau_1} Q_t(M_e^-(\omega_e(t)), \omega_e(t)) dt + \\
 & + \int_{t_0 + \Delta\tau_1}^{t_0 + \tau} Q_t(M_{k(k+1)}^{\Phi}(t), \omega_{k+1}^{t_0 + \tau} = \text{const}) dt + \int_{t_0 + \tau}^{t_S} Q_t(M_{e(k+1)}^+(t), \omega_{e(k+1)}(t)) dt + \\
 & + \int_{t_S}^{t_B} Q_t(M_{e(k+1)}(t), \omega_{e(k+1)}(t)) dt, \quad (3)
 \end{aligned}$$

На підставі цих обчислень у системі координат  $tOQ_{AB}$  побудовано паливні характеристики сумісної роботи двигуна, коробки передач (рис. 8-10).

Робота фрикціонів  $\Phi_k$  і  $\Phi_{k+1}$  кожного разу сумісно забезпечує перехід  $R_k^{t_i}$  —  $R_{k+1}^{t_i + \tau_j}$  режиму  $R$  роботи двигуна з кривої  $N_{ek}(\omega_e)$  на криву  $N_{e(k+1)}(\omega_e)$  без жодного порушення, як зазначено вище, програми руху автомобіля, яку задав водій (рис. 3-6). Але навіть це доволі конкретне завдання можна виконати, втілюючи найрізноманітніші програми пробуксовування фрикційних елементів. Зокрема, можна вимагати, щоби перемикання передач було здійснене впродовж наперед заданого відрізка часу з дотриманням якоїсь конкретної вимоги — чи за найкоротший час (динамічне перемикання з обмеженими фрикційними ресурсами), чи з найменшим розсіюванням енергії (енергоощадне перемикання) тощо.

Відповідно до вибраної динамічної моделі

$$M_e - I_e \frac{d\omega_e}{dt} = M_k^{\Phi} + M_{k+1}^{\Phi} = M_{k(k+1)}^{\Phi}, \quad (4)$$

де  $M_e = M_e(t)$  - ефективний обертовий момент двигуна знаходимо з виразу

$$\frac{M_k^{\Phi}}{u_k} + M_{k+1}^{\Phi} = M_a, \quad (5)$$

де  $M_k^{\Phi}$  і  $M_{k+1}^{\Phi}$  — обертові моменти, створювані фрикціонами  $\Phi_k$  і  $\Phi_{k+1}$ ;  $M_k^{\Phi} \omega_e \geq 0$ ,  $M_{k+1}^{\Phi} \omega_e \geq 0$ . Оскільки програма руху автомобіля задана, то в кожному мить часу відома й величина

$$\frac{M_k^{\Phi}(t)}{u_k} + M_{k+1}^{\Phi}(t) \equiv M_a(t). \quad (6)$$

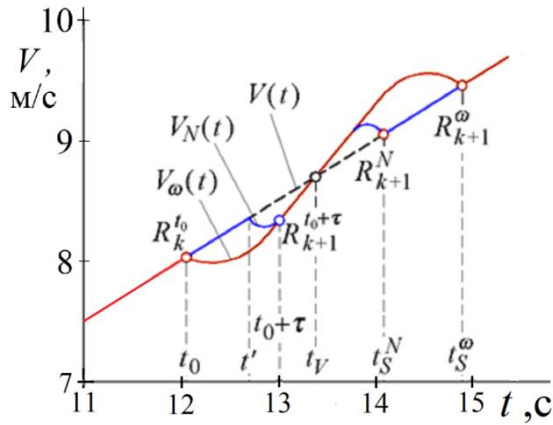


Рис. 7. Фрагменти програм розганяння автомобіля

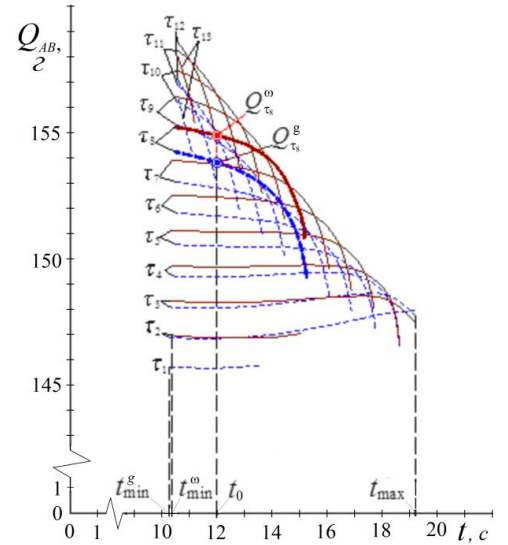


Рис. 8. Паливні характеристики для g- та omega-керувань

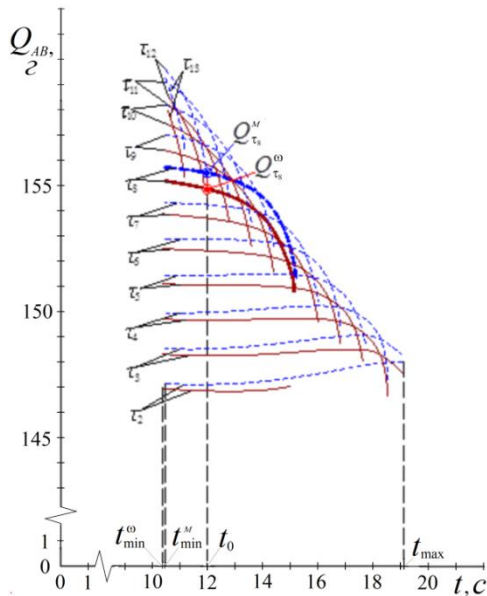


Рис. 9. Паливні характеристики для omega- та M-керувань

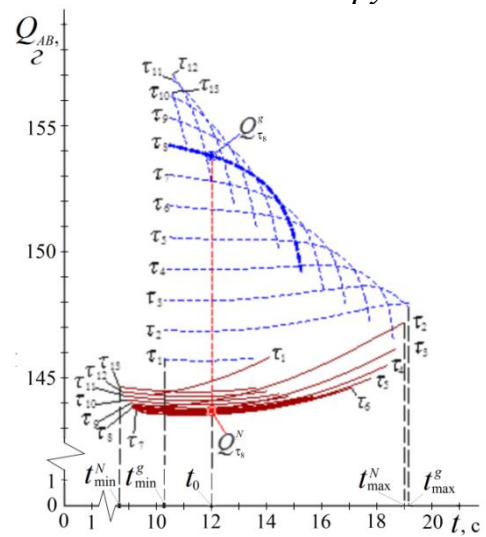


Рис. 10. Паливні характеристики для N- і g-керувань

Відтак закони керування фрикційними елементами з урахуванням вищезазначених формул подано у вигляді програм

$$M_k^\Phi(t) = \frac{u_k}{u_k - 1} \left( b + at - \frac{r_k u_0}{\eta_{\text{TP}}} \left( \psi m_a g + m_a \delta u_0 u_k r_k \frac{d\omega_e}{dt} + k F r_k^2 u_0^2 u_k^2 \omega_e(t)^2 \right) \right), \quad (7)$$

$$M_{k+1}^\Phi(t) = -\frac{1}{u_k - 1} \left( b + at - \frac{r_k u_0 u_k}{\eta_{\text{TP}}} \left( \psi m_a g + m_a \delta u_0 u_k r_k \frac{d\omega_e}{dt} + k F r_k^2 u_0^2 u_k^2 \omega_e(t)^2 \right) \right). \quad (8)$$

Залежно від обраного способу керування двигуном відхилення від заданої програми руху автомобіля  $\Delta S$  визначали за формулою

$$\Delta S = \int_{t_0}^{t_V^*} V(t) dt - r_k u_0 \left( \int_{t_0}^{t_0+\tau} \omega_a^*(t) dt + u_{k+1} \int_{t_0+\tau}^{t_V^*} \omega_e^N(t) dt \right). \quad (9)$$

Проаналізовано лінійну програму сповільнення автомобіля в інтервалі часу  $t_A - t_B$  з реалізацією програми перемикання фрикціонів (рис. 11)

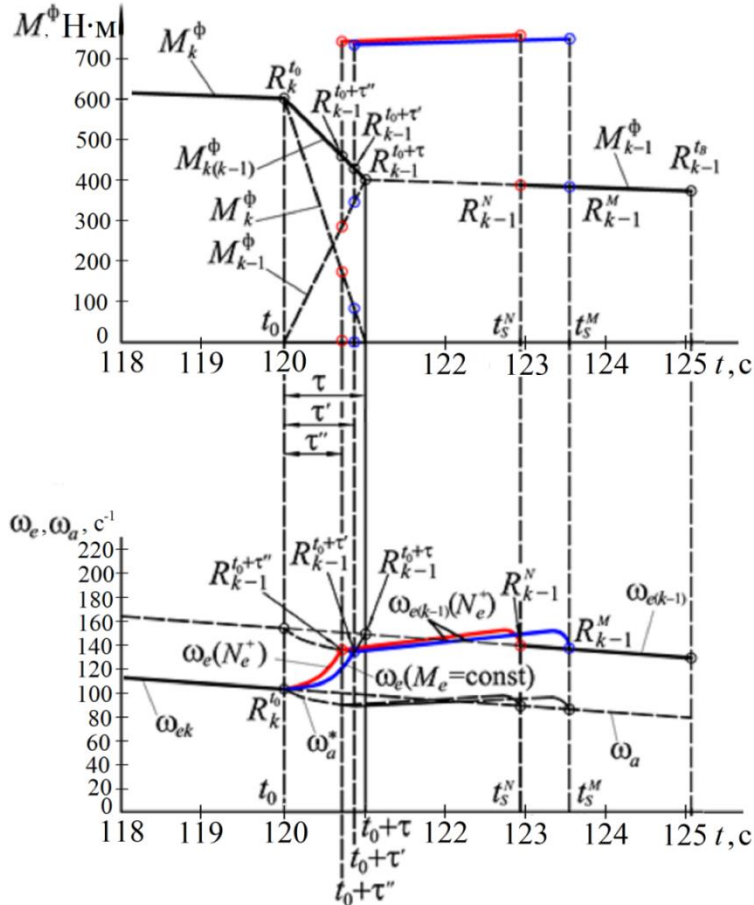


Рис. 11. Програма перемикання фрикціонів у разі сповільнення автомобіля

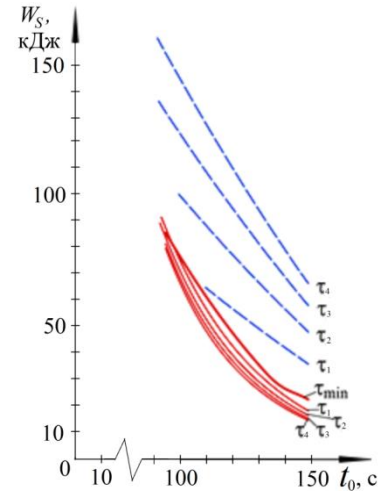


Рис. 12. Характеристика втрат енергії у фрикціонах

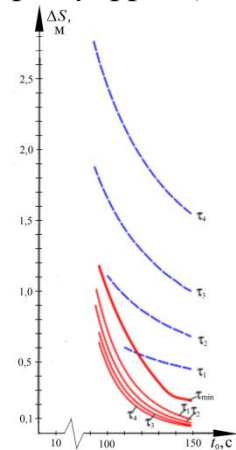


Рис. 13. Характеристика відхилень від заданої програми руху

Кількість енергії, розсіяної фрикціонами у формі тепла:

$$\begin{aligned} W_s &= W_e - W_a = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \left( \left( M_e - I_e \frac{d\omega_e}{dt} \right) \omega_e - M_a \omega_a^* \right) dt = \\ &= \int_{t_0}^{t_0+\tau} \left( (-ct + b) \omega_e - \frac{r_k u_0}{\eta_{\text{ТР}}} \left( G_a \psi + k_{\text{П}} F v^2(t) + m_a \delta \frac{dv(t)}{dt} \right) \omega_a^* \right) dt \end{aligned} \quad (10)$$

Характер залежності втрат енергії у фрикціонах  $W_s$  від вибору миті  $t_0$  перемикання передач і тривалості перемикання фрикціонів  $\tau$ , обчислюваних за формулою (10), відображає рис. 12, а ступінь  $\Delta S$  (див. (9)) відхилення програми руху автомобіля від заданої унаслідок роботи системи перемикання передач

ілюструє рис. 13. Штрихові лінії відповідають *M*-керуванню, а суцільні - *N*-керуванню.

Форсовані способи керування двигуном мають безперечні переваги над нефорсованими для програм розганяння і сповільнення. Проте нефорсовані способи керування, на відміну від форсованих, можна реалізувати для більшості програм руху як для «ранніх», так і для «пізніх» перемикачів. Ширший частотний діапазон їх застосування у системі для керування перемикачними дає підставу сприймати їх як альтернативу форсованим у тих випадках коли останні фізично не здатні реалізуватися.

Окремо в наведених алгоритмах керування вказано умови виникнення ударних (з поштовхами) вмикань/вимикань та способи усунення таких явищ.

Традиційні критерії оцінювання якості перехідних процесів у трансмісії, серед яких робота буксування фрикційних елементів, аж ніяк не суперечить вибраному в роботі – відхиленню від заданої програми руху. Власне можливість динамічного керування двигуном під час перемикачів істотно зменшує і значення відхилення від вибраної програми руху, і значення роботи тертя. Відтак існує певна оптимальна тривалість буксування фрикціонів і тому не варто сприймати швидкодію системи перемикачів як ознаку досконалості трансмісії.

В четвертому розділі для оцінювання достовірності результатів, отриманих у розділі 3, проведено експериментальні дослідження відтворення автомобілем низки програм руху (розганяння та сповільнень) по горизонтальній ділянці дороги, під час яких відбувалось перемикачів передач відповідно, «вгору» і «вниз» у командному й автоматичному режимах.

При цьому фіксували: значення абсолютної витрати палива від початку і до закінчення програми руху; відхилення від заданої програми руху а також низку інших показників, що характеризують кількісні показники сумісної роботи двигуна та трансмісії.

Під час теоретичного дослідження динаміки механічної системи «двигун — трансмісія — автомобіль» розроблено математичну модель і проведено комп'ютерне моделювання перемикачів передач у середовищі MATHCAD і MATLAB.

Об'єктом проведення експериментальних досліджень є автомобіль Toyota Yaris (код моделі SCP90), оснащений бензиновим двигуном 2SZ-FE та мультимодальною автоматизованою механічною коробкою передач (МКП) C551A «Multimode», в конструкції якої п'ять сенсорів і три електромотори.

Дослідна коробка передач має два режими перемикачів: режим E, у якому перемикачів передач відбувається автоматично залежно від умов руху, і режим M, що дає змогу водієві вручну перемикати передачі важелем, не вимикаючи безпосередньо зчеплення. В режимі E водій може вибирати будь-який з двох режимів перемикачів, встановивши важіль перемикачів у відповідне положення: нормальний (ощадний) режим [E] або спортивний (динамічний) режим [Es].

Одночасно електронний блок управління (ЕБУ) МКП «Multimode» надсилає у блок керування двигуна сигнал про коригування режимів роботи двигуна. Відтак досягається плавне, без поштовхів перемикачів.

Одночасно з перехідними процесами в роботизованій коробці передач почергово здійснювалось керування двигуном у форсований ( $N$ -керування двигуном) і не форсований спосіб ( $M$ -керування двигуном).

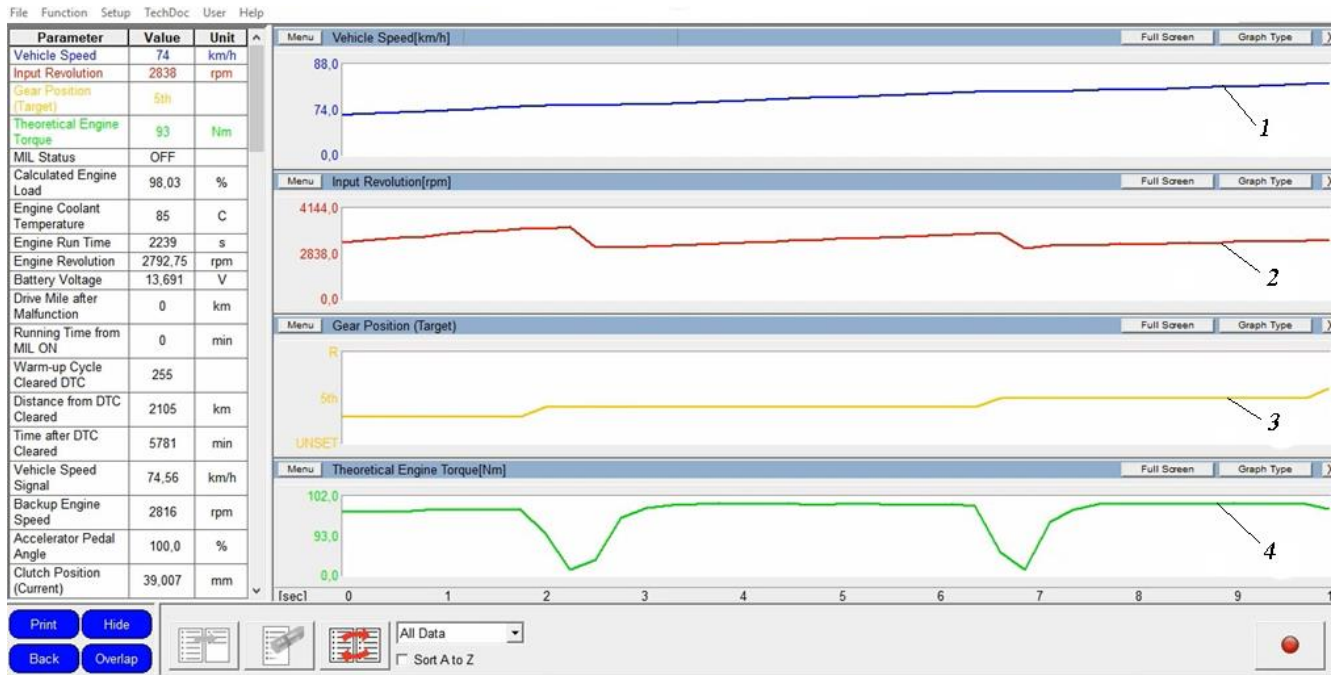
Спосіб вимірювання параметрів впродовж експерименту ґрунтувався на метрологічних методах і засобах, які забезпечували потрібну точність результатів. Тобто за основу експерименту взято дорожні випробування у типових для вибраного автомобіля дорожніх умовах.

Для того щоб оцінити паливно-швидкісні характеристики руху дослідного автомобіля на режимах розганання і сповільнення та динаміку відповідних прямих і зворотних перемикачів з програмним забезпеченням заводу-виробника в позиціях [E] (економічне управління) і [Es] (динамічний режим) за допомогою спеціалізованого обладнання для чип-тюнінгу скориговано прошивки ЕБУ двигуна 2SZ-FE та коробки передач C551A «Multimode» під  $M$ - та  $N$ -керування двигуном під час перемикачів. Окрім цього, попередньо визначено моменти перемикачів з умов паливної ощадності з використанням діагностичного модуля Techstream 2+ (TS2+) та програмного забезпечення TD3, витратоміра палива AICHI OF05ZAT, цифрового контролера ZJ-LCD-M. На ноутбук (Panasonic CF-54) здійснено запис дев'яти показників, зокрема, обертового (крутного) моменту двигуна, швидкості витрати палива, швидкості та прискорення/сповільнення руху автомобіля, положення педалі акселератора і дросельної заслінки тощо.

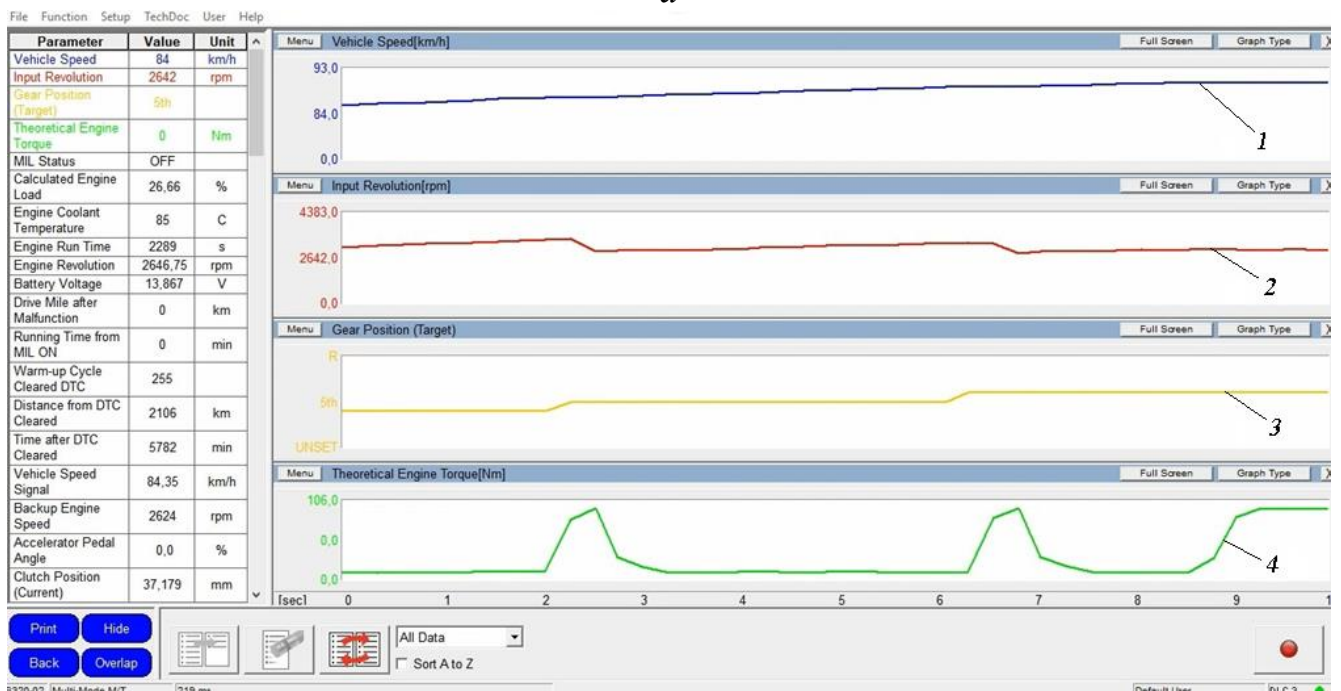
Відтворення цих процесів у автоматизованій механічній коробці передач з вмиканням/вимиканням зчеплення і перемикачів передач синхронізаторами (з відповідним розривом силового потку) та  $M$ - та  $N$ -керування двигуном у програмних середовищах MATHCAD і MATLAB здійснювали за певних спрощень у двомасовій динамічній еквівалентній моделі. Це незмінність коефіцієнтів тертя у зчепленні та синхронізаторах, нехтування податливістю і демпфуванням елементів трансмісії, газодинамічною інерційністю роботи двигуна тощо. Проте ці припущення не вплинули на адекватність динаміки зміни показників-параметрів силового агрегата за допустимих відхилень відносних чи абсолютних значень.

Для прикладу, на рис. 14 подано записи динаміки процесів прямих перемикачів під час  $M$ -керування (а) та  $N$ -керування (б) двигуном, що засвідчили відповідність характеру зміни режимів роботи двигуна під час перемикачів описаним вище алгоритмом.

Для форсованих способів коригування режимів роботи двигуна характерні найменші відхилення від програми руху, яку задає водій. Такі незначні відхилення, з огляду на швидкоплинність виходу двигуна на тягову і гальмівну характеристики (у межах 0,8-1,2 с) та інерційність роботи системи живлення двигуна (у межах 12-16 %), пояснюють ефективність застосування форсованих способів керування двигуном під час перемикачів і щодо паливоощадності.



a



б

Рис. 14. М-керування (а) та N-керування (б) двигуном під час розганяння:  
 1- швидкість руху АТЗ; 2– частота обертів вала двигуна; 3- увімкнена передача;  
 4 – обертовий момент двигуна

## ВИСНОВКИ

У дисертації розв'язано науково-практичне завдання раціональної щодо паливоощадності організації процесів перемикування передач:

1. Залежно від кількості передач механічної трансмісії та, відповідно, щільності ряду передатних відношень, пріоритетними з умов паливної економності, і режиму руху який задає водій, можуть бути нижча або вища суміжні передачі. Зокрема, вища передача, як тільки-но з'являється можливість перемкнути



трансмiсію на вищій ступiнь, або нижча – пiд час руху на нiй до граничної/максимальної частоти обертання вала двигуна.

2. Використання фрикціонiв для перемикання передач у механiчній сходинчастій (ступеневiй) трансмісії дає змогу організувати процес перемикання без розриву силового потоку і вимикання/вмикання зчеплення. Це дає iстотну перевагу з огляду на дотримання режиму руху, який задає водiй, порiвняно з синхронiзаторами чи кулачковими муфтами. Проте наявність фрикціонiв iстотно ускладнює конструкцію коробки передач.

3. Для режимiв розганяння та сповiльнення розроблено чотири принципово рiзних алгоритми автоматичного коригування режимiв роботи двигуна внутрiшнього згоряння упродовж процесу перемикання передач з умов дотримання заданого режиму руху ( $\omega$ -керування,  $g$ -керування,  $M$ -керування та  $N$ -керування). Використання  $N$ -керування двигуном має безперечну перевагу над iншими щодо можливості мiнiмізувати роботу буксування фрикціонiв (щонайменше удвiчі) та вiдхилення вiд режиму руху, який задає водiй (вiд 0,9 до 1,7 %). Крім цього витрата палива зменшується на 7-8%. Тому ці критерії ефективності перемикань взаємообумовлені й не суперечать один одному.

4. Дiапазон можливого використання алгоритму  $N$ -керування дещо обмежений стосовно використання дiапазону швидкості руху (частоти обертання вала двигуна) порiвняно з нефорсованими режимами керування. Однак у межах цього дiапазону вибiр миті початку перемикань не впливатиме суттєво на паливоощадність автомобiля. Окрім цього вимоги щодо забезпечення плавності перемикань (без поштовхiв і ударiв) у разі  $N$ -керування стають суворiшими.

5. Організація процесу перемикання передач фрикціонами для режиму сповiльнення (зворотні перемикання) iстотно вiдрiзняється вiд прямих (з нижчої передачі на вищу) перемикань пiд час розганяння. Зокрема, зворотні перемикання потребують залучення лише тягових режимiв роботи двигуна, як для динамiчних, так і для нединамiчних способiв керування.

6. Автоматичне коригування режимiв роботи двигуна пiд час перемикання передач механiчної трансмісії з використанням синхронiзаторiв чи кулачкових муфт за принципом аналогiчне по суті запропонованому в роботі стосовно перемикання фрикційними. Це, однак, не забезпечує нерозривність силового потоку за одинарного фрикційного зчеплення, але уможливорює його застосування з використанням двох паралельних зчеплень за принципом DSG. Проте детальнiша якiсна і кiлькiсна оцiнка (насамперед варіанта з класичним одинарним зчепленням) потребує окремого дослідження.

7. Наведені експериментальні (дорожні) дослідження та паралельно iмiтаційне моделювання у програмному середовищі MATHCAD і MATLAB (на прикладі автомобiля Toyota Yaris моделі SCP90, оснащеного автоматизованою механiчною коробкою передач C551A «Multimode») засвiдчують достатню збiжність результатiв теоретичних досліджень та якiсний характер ефективності автоматики керування режимiв роботи двигуна пiд час перемикань ( $N$ - та  $M$ -керування двигуном).

8. Запропонована методика організації процесiв перемикання на основі синхронної паралельної роботи двох фрикціонiв (оптимальне перекриття передач) з одночасним автоматичним коригуванням режимiв роботи двигуна актуальна,

окрім розглянутої схеми механічної коробки, і для гідродинамічних передач із раннім блокуванням гідротрансформатора і перемиканням передач за допомогою фрикціонів за заблокованого трансформатора. Особливо актуальна ця методика для автоматичних механічних коробок передач із двома, паралельними зчепленнями за схемою DSG. Останні набувають дедалі більшого поширення.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Hашчук Р. Optimal laws of gear shift in automotive transmissions / Р. Hашчук, R. Pelo // Econtechmod. – 2018. – Vol. 7, № 2. – С. 59–69.
2. Гащук П. М. Взаємозумовленість структури рядів передатних відношень та оптимальних законів перемикання ступеневої трансмісії автомобіля / П. М. Гащук, Р. А. Пельо // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні: Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2004. – № 515. – С. 74–80.
3. Гащук П. М. Особливості оптимального перемикання передач у багатоступеневій трансмісії автомобіля / П. М. Гащук, Р. А. Пельо // Вісник СНУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2006. – № 7 (101). – С. 45–48.
4. Пельо Р. А. Обґрунтування деяких властивостей автомата керування трансмісією автомобіля / Р. А. Пельо // Зб. наук. праць. Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – 2006. – № 9. – С. 94–98.
5. Гащук П. М. Обґрунтування вибору програми перемикань в механічній трансмісії автомобіля при реалізації заданої програми руху / П. М. Гащук, Р. А. Пельо // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвід. наук.-техн. збірник. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка». – 2007. – № 41. – С. 73–80.
6. Гащук П. М. Поняття еквівалентних режимів роботи двигуна при перемиканні передач механічної трансмісії автомобіля / П. М. Гащук, Р. А. Пельо // Труды Одесского политехнического университета.- Одеса, 2008. – № 2 (30). – С. 92—97.
7. Гащук П. М. Аналіз перехідного процесу при автоматизованому перемиканні ступенів трансмісії автомобіля / П. М. Гащук, Р. А. Пельо // Вісник Національного транспортного університету. – Київ, 2009. – № 18. – С. 32—41.
8. Гащук П. М. Паливовитратна характеристика автомобіля на режимах сповільнення з одночасним перемиканням передач / П. М. Гащук, Р. А. Пельо // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів». – 2010. – № 678. – С. 25—32
9. Гащук П. М. Ефективні алгоритми керування двигуном внутрішнього згоряння в процесі перемикання передач в трансмісії автомобіля / П. М. Гащук, Р. А. Пельо // Машинознавство. – 2011. – № 7-8 (169-170). – С. 34—43.
10. Пельо Р. А. Аналіз паливної характеристики при розгоні автомобіля / Р. А. Пельо // Вісник СевНТУ: Зб. наукових праць. Серія: Машинобудування та транспорт. - Севастополь. – 2012. – № 135. – С. 56–59.
11. Пельо Р. А. Оцінка досконалості роботи фрикційних елементів трансмісії автомобіля із застосуванням єдиного енергетичного критерію / Р. А. Пельо //

Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів». – 2016. – № 838. – С. 217–223.

12. Пельо Р. А. Методика вибору раціональних характеристик процесу перемикавання у двопотоковій автоматичній трансмісії автомобіля // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки. – 2016. – № 2(77). – С. 207–213.

13. Пельо Р. А. Взаємообумовленість критеріїв оцінювання якості керування системою «двигун трансмісія» при надлишковому перекритті передач / Р. А. Пельо // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів». – 2017. – № 866. – С. 211–215.

14. Гащук П. М. Засадничі принципи теорії синтезу оптимальних законів перемикавання передач в сходинчастій автомобільній трансмісії / П. М. Гащук, Р. А. Пельо // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2018. – № 18. – С. 23–40.

15. Hashchuk P., Pelo R. Optimal gear shift algorithm in the car transmission during its deceleration // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. – 2018. – Vol. 4, № 1. – P. 132–144.

16. Гащук П.М., Пельо Р.А. Алгоритми синтезу оптимальних законів перемикавання передач у трансмісії автомобіля // Тези доп. на 7-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові. – Львів, 2005- С.67-68.

17. Пельо Р. А. Аналіз суміщення характеристик двигуна і механічного трансформатора при розгоні автомобіля // Тези доп. на на 8-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові. – Львів, 2007.- С. 156-157.

18. Гащук П. М., Пельо Р. А. Концептуальні аспекти синтезу оптимальних законів перемикавання у механічній трансмісії автомобіля // 64-а Науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. Національний транспортний університет. НКЦ у м. Львові. – 2008. - С. 45–46.

19. Гащук П. М., Пельо Р. А. Енергоощадні програми перемикавання сходинок у трансмісії автомобіля фрикційними засобами // Тези доп. на 9-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові. — Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2009.— С. 251—252.

20. Пельо Р. А. Аналіз способів керування системою «Двигун-механічний трансформатор» щодо паливоощадності при розгоні автомобіля. // Тези доп. на 10-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові. — Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2011.— С. 325—326.

21. Пельо Р. А. Оптимальні щодо паливної економічності способи керування системою «Двигун – механічна трансмісія» при відтворенні заданої програми руху автомобіля // Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів: Зб. наук. праць. — Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2011. — С. 62-64.

22. Пельо Р. А. Методика вибору раціональних характеристик процесу перемикавання в автоматичній коробці передач автомобіля // Теорія і практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Тези доп. на 3-й Міжнародній науково-практичній конференції. —

Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2012. — С. 89-90.

23. Пельо Р. А. Обґрунтування вибору законів перемикавання східчастою трансмісією при розгоні автомобіля // Тези доп. на 11-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові. — Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2013.— С. 122—123.

24. Пельо Р. А. Оптимальне керування системою «двигун-механічна трансмісія» при відтворенні заданої програми руху автомобіля // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». 21-23 жовтня 2013 року: Зб. наук. праць. — Вінниця: ВНТУ, 2013. – С. 89-90.

25. Пельо Р. А. Деякі аспекти автоматизації механічної трансмісії автомобіля / Теорія і практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Тези доп. на 4-й Міжнародній науково-практичній конференції - Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2014. — С. 103.

26. Пельо Р. А. Обґрунтування щільності ряду передатних відношень автоматичної трансмісії автомобіля // Тези доп. на 12-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові. — Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2015.— С. 161.

27. Пельо Р. А. Концепції синтезу оптимальних законів перемикавання передач в трансмісії автомобіля // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні»: тези доповідей. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 47-49.

28. Пельо Р. А. Енергоощадне керування двигуном та фрикціонами механічної трансмісії автомобіля // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 19-21 жовтня 2015 року: Зб. наук. праць. — Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 184-186.

29. Пельо Р. А. Взаємообумовленість критеріїв оцінювання якості перехідних процесів у роботизованих коробках перемикавання передач // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: матеріали 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – 2016. – С. 126–127.

30. Пельо Р. А. Особливості добору критеріїв оцінювання якості перемикавання передач при заданій програмі руху автомобіля // тези доп. на 13-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові. — Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2017.— С. 114.

31. Пельо Р. А. Алгоритми оптимального керування механічною ступеневою трансмісією автомобіля // Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців: наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції. - Харків. 2017. – С. 241-242.

32. Пельо Р. А. Аналіз систем та алгоритмів керування автоматичних трансмісій автомобіля // Третя всеукраїнська науково-практична конференція «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні»: тези доповідей. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – С. 51-55.

33. Пельо Р. А. Оптимальні закони перемикавання передач в автомобільній трансмісії // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і

експлуатації машинобудівних конструкцій: матеріали 6-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Львів, 2018. – С. 153–155.

34. Гоблик Н. М., Пельо Р. А. Моделювання в MATLAB режимів роботи двигуна і трансмісії автомобіля при перемиканні передач // П'ятнадцята відкрита наукова конференція Інституту прикладної математики та фундаментальних наук (ІМФН): збірник матеріалів і програма конференції. – Львів, - 2018. – С. 45–46.

35. Пельо Р. А. Експериментальне обґрунтування доцільності форсованого керування двигуном при перемиканні передач // Тези доп. на 14-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові. — Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2019.- С. 86-87.

## АНОТАЦІЯ

Пельо Р. А. Підвищення паливної економічності автотранспортного засобу формуванням раціональних законів та алгоритмів перемикання передач трансмісії. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 «Автомобілі та трактори». – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.- Львів, 2019.

У дисертаційній роботі розв'язано науково-практичне завдання раціональної щодо паливоощадності організації процесів перемикання передач за допомогою фрикціонів з відсутністю розриву силового потоку й одночасним автоматичним коригуванням швидкісного і навантажувального режимів роботи двигуна внутрішнього згорання.

Зокрема, детально опрацьовано чотири можливі алгоритми автоматичного коригування режимів роботи двигуна з умов дотримання заданого режиму руху. Доцільність застосування того чи іншого способу керування двигуном у процесі перемикання передач у разі заданих миті його початку та тривалості роботи фрикціонів обґрунтовано витратою палива.

Проведені експериментальні дорожні дослідження та імітаційне моделювання цих алгоритмів засвідчили адекватність вибраної математичної моделі.

**Ключові слова:** автомобіль, коробка передач, перемикання передач, фрикціони, алгоритми керування, режими роботи двигуна, прискорення, сповільнення, витрата палива.

## АННОТАЦИЯ

Пельо Р. А. Повышение топливной экономичности автотранспортного средства формированием рациональных законов и алгоритмов переключения передач трансмиссии. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 «Автомобили и тракторы». – Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины.- Львов, 2019.

В диссертационной работе решено научно-практическое задание рациональной с точки зрения топливной экономичности организации процессов переключения передач с помощью фрикционов при отсутствии разрыва силового потока и одновременном автоматическом корректировании скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя внутреннего сгорания.

В частности, подробно разработаны четыре возможных алгоритмы автоматической корректировки режимов работы двигателя при условии соблюдения заданного режима движения. Целесообразность применения того или иного способа управления двигателем в процессе переключения передач при заданных моменте его начала и продолжительности работы фрикционов обоснована расходом топлива.

Проведенные экспериментальные дорожные исследования и имитационное моделирование этих алгоритмов подтвердили адекватность выбранной математической модели.

**Ключевые слова:** автомобиль, коробка передач, переключение передач, фрикционы, алгоритмы управления, режимы работы двигателя, ускорение, замедление, расход топлива.

## ABSTRACT

Pelo R. A. Increase of vehicle's fuel efficiency by formation of rational laws and algorithms of transmission gear-shift. - On the rights of manuscript.

Qualification scientific work as a manuscript. Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.22.02 – cars and tractors. –Lviv Polytechnic National University Ministry of Education and Science of Ukraine. – Lviv, 2019.

The presented dissertation analyzes and estimates the selection of shift points in a stepped mechanic transmission of a vehicle in acceleration and deceleration operating mode under the conditions of fuel efficiency.

It presents a comprehensive study of theoretical grounds of gear shift processes organization with the help of clutches under the conditions of continuous power flow transmission (with the closed clutch) and a simultaneous automatic correction of speed and loading modes of the operation of an internal combustion engine.

In particular, it has been thoroughly elaborated four possible algorithms of automatic correction of engine operating modes when the driving mode predetermined by the driver is maintained: stabilization of the engine shaft angular velocity ( $\omega$ -control); transitional mode of engine operation according to the line of minimal fuel loss in the function of engine power ( $g$ - control); dynamic transitional mode with short-term shifts to external traction and braking characteristics (the so called forced modes  $N$ -control); stabilization of engine turning moment ( $M$ - control).

The conducted analytical researches proved the lowest indices: the loss of fuel, the deviations from the operating mode determined by the driver and the work of friction clutch skidding (energy losses) during the gear shift in a traction mode (acceleration) occurring just when the work of the engine operation is automatically controlled according to the algorithm of  $N$  – control. The application of dynamic transitional mode of engine operation also has an advantage over the other modes of driving (reverse shifts) when the vehicle decelerates.

At the same time it should be noted that the possibilities to realize the forced modes of engine operation adjustment proper in the extreme zones of (minimal or maximal) velocity of engine shaft revolution, with the only realizable algorithm *M*-control (unforced modes of engine operation correction) are limited.

It is obvious, that the formation of quantitative characteristics of the algorithms of engine operation modes control (adjustment) and the work of clutches (synchronizers) are influenced to some extent by inertia: the operation of fuel system (injection and the system of burn-down in case of oil engines) and the gyrating mass of the engine proper.

The elaborated algorithms of automatic control of the engine operation in the process of the stepped gear transmission shift are also relevant for the mechanical transmissions with dual clutches (of DSG type) which in case of the gear shift by means of synchronizers guarantee the continuity of power flow transmission.

The characteristics of automatic correction of engine operation modes in this case are similar to those defined in the analyzed variant of transmission with single clutch and the shift of gears by means of two friction clutches.

The process of gears shift is so swift that the linear reproduction of “engine – transmission” system operation modes is quite natural and such that cannot distort the conception of optimal functioning of “engine – transmission” system.

The experimental researches carried out on the road and imitating modeling of these algorithms in the program environment MATHCAD and MATLAB (on the example of Toyota Yaris with automated gear case C551A «Multimode») proved the congruence of the results of computer modeling and natural testing within 3-6% and the efficiency of *N*- and *M*- engine control algorithms realization in the process of gear shift (which are realized by reprogramming of the electronic block of engine operation control and of the gear case) both in the stage of acceleration and deceleration.

The described algorithm of vehicle transmission optimal control also creates the ground for defining motivated instructions concerning the selection of gear shift moments in case of purely manual control over the vehicle.

The obtained results are rather generalized, however considerable simplifications have been introduced into the model of the automobile. In particular, the schematically considered very simple gear case in fact completely represents the principles of operations pertain to mechanical stepped transmission of any design.

Thus, optimizing the laws of gear shifts, we should consider the program of motion to be predetermined in advance (subjected solely to the driver), whereas the consequences of enforced deviation from this program in the period of transmission control elements operation should be minimized.

**Key words:** automobile, gear case, gear shift, clutches, driving algorithm, engine operation mode, acceleration, deceleration, fuel consumption.