

*Л. П. Гащук, П. М. Гащук**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ СИНТЕЗУ ЗАКОНІВ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ В ТРАНСМІСІЯХ АВТОМОБІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Ідеться про загальні принципи, на які повинна спиратись теорія синтезу законів (стратегій) керування перемиканням передач в автоматизованій механічній трансмісії (АМТ — Automated Manual Transmission) автомобільної пожежно-рятувальної машини. Без застосування конкретних оптимізаційних критеріїв за допомогою низки наочних міркувань розглядається початковий етап розвитку концепції автоматизованого перемикання передач в автомобільній трансмісії. На підставі проведеного дослідження сформульовано десять основних питань, на які теорія має знайти вмотивовані відповіді. Ці питання охоплюють зокрема такі теми й поняття: протистояння різних тенденцій в царині автоматизації трансмісії мобільної машини й об'єктивність підстав для цього протистояння; мапа перемикань як засіб ідентифікації та відображення законів перемикання передач; існування пріоритетів режимів роботи двигуна на різних передачах в трансмісії; сумісність/несумісність вимог енергоощадності, екологічності, динамічності, керованості при формуванні законів (стратегій) керування системою «двигун — трансмісія»; активна участь двигуна у синхронізаційних процесах; режим керування штибу Kickdown та необхідність в ньому; явище зациклення процесу перемикання передач; алгоритмічні обмеження технічного штибу; Zeroshift-технологія керування трансмісією.

Стверджується, що автоматизована механічна трансмісія — це надзвичайно ефективна альтернатива автоматичній трансмісії з її внутрішнім автоматизмом. Наголошується, що так звана «зовнішня» автоматизація трансмісії машини стає неперехідною потребою. До того ж, застосування технології Zeroshift в значній мірі може знівелювати втрату енергетичної ефективності через можливе зростання частоти перемикання передач. Наполягається на тому, що теорію автоматичного керування трансмісією мобільної машини доречно розглядати в термінах концепцій, а не варіацій технічних рішень.

Ключові слова: автомобільна пожежно-рятувальна техніка, сходиначаста трансмісія, автоматизована механічна трансмісія, керування системою «двигун — трансмісія», перемикання передач, закони керування, інформаційні принципи

*L. P. Hashchuk, P. M. Hashchuk**Lviv State University of Life Safety*

INFORMATION PRINCIPLES OF THE THEORY OF SYNTHESIS OF GEAR SHIFTING LAWS IN TRANSMISSIONS OF AUTOMOBILE FIRE-RESCUE TECHNIQUE

These are the general principles on which the theory of synthesis of gear change control laws (strategies) in the automated manual transmission (AMT) of the automobile fire-rescue technique should be based. Without applying specific optimization criteria, it is considered with the help of several visual considerations the initial stage of development of the concept of automated gear shifting in a car transmission. Based on the study, ten main questions are formulated to which the theory must find motivated answers. These issues include, in particular, the following topics and concepts: the confrontation of various trends in the field of automation of mobile vehicle transmission and the objectivity of the grounds for this confrontation; the shifting map as a means of identifying and displaying the laws of gear shifting; the existence of priorities of engine operating on various modes in transmission; compatibility/incompatibility of requirements of energy saving, environmental friendliness, dynamism, controllability at the formation of laws (strategies) of "engine — transmission" system management; active participation of the engine in synchronization processes; Kickdown pin control mode and the need for it; the phenomenon of looping the process of shifting; algorithmic constraints of technical scale; Zero shift transmission control technology.

It is argued that automated manual transmission is an extremely effective alternative to an automatic transmission with its internal automatism. It is noted that the so-called "external" automation of the machine's transmission is becoming a necessity. In addition, the use of Zero shift technology can significantly reduce the loss of energy efficiency due to a

possible increase in the frequency of gear changes. It is insisted that the theory of automatic transmission control of a mobile machine should be considered in terms of concepts, rather than variations of technical solutions.

Keywords: automobile fire-rescue technique, stepped transmission, automated mechanical transmission, «engine – transmission» system control, gear shifting, control laws, information principles.

Вступ. «Все вже написано. На щастя не про все ще подумано» (Станіслав Єжи Лец). Цілковите відновлення в наш час інтересу й подальше постійне зростання уваги до механічної сходинок частоті трансмісії для мобільної техніки зумовлено її високим коефіцієнтом корисної дії, надійністю й довговічністю, достатньо розвинутою технологією виробництва, обслуговування, ремонту. Звісно, дуже важливими критеріями для визнання досконалості механічної трансмісії є потенційні енергоощадність та екологічність машини з такою трансмісією. Саме потенційно низький рівень енергоощадності та екологічності став перепоною для подальшого удосконалення й просування, приміром, гідромеханічної трансмісії. Проте гідромеханічна передача — це втілення високого рівня автоматизації керування трансмісією, який доречно перенести й на суто механічні передачі. Саме цілковита автоматизація забезпечить механічній трансмісії прийнятний на сьогодні рівень досконалості. Надзвичайно актуальною є автоматизація трансмісії автомобільної пожежно-рятувальної техніки — техніки, керування якою навіть для досвідченого оператора-водія є у всіх сенсах особливою, складною, трудомісткою роботою.

Для об'єктивної оцінки наслідків автоматизації трансмісії потрібні не поверхнево-інтуїтивні, а належно глибокого змісту аргументи й критерії. Слід визнати, що автоматизація керування силовим агрегатом мобільної машини з механічною сходинок частотою скринькою передач завжди сприймалась як завдання, складніше за повну автоматизацію силового агрегату з гідромеханічною трансмісією.

Мета дослідження і постановка проблеми.

Тож автоматизація керування трансмісією пожежно-рятувальної мобільної машини саме з механічною скринькою передач є важливим напрямом удосконалення конструкції автомобільної техніки взагалі [1, 2]. Тут можливі два підходи [3]: 1) створення систем напівавтоматичного (радіше сервоавтоматичного) керування, коли команди на перемикання передач надходять від оператора-водія, а цілком автоматизованим є власне сам процес реалізації цих команд; 2) створення систем автоматичного керування, в алгоритмі дій яких активність оператора-водія не передбачена. Без сумніву, другий підхід в перспективі стане єдиним. Мета статті — відстежити початкову стадію розвитку парадигми автоматичного керування механічною

сходинок частотою трансмісією пожежно-рятувальної машини (а відтак — мобільної машини будь-якого іншого призначення, зокрема гібридного транспортного засобу [4 — 6]), аби в подальшому можна було вивчати особливості становлення теорії синтезу оптимальних законів перемикання передач. Значною мірою можна покладатись на результати, яких досягла теорія синтезу оптимальних законів перемикання передач в гідромеханічних трансмісіях [7, 8]. Здатність будувати теорії — важливий чинник успіху цивілізації.

Взагалі кажучи, принцип роботи елементів, що здійснюють перемикання передач, на законах оптимального керування трансмісією не повинен позначатись. Та слід мати на увазі, що звичні синхронізатори найменш придатні для автоматизації трансмісії. Тому й не дивно, що механічні сходинок частоті скриньки передач, скажімо, на тракторах обслуговуються фрикційними муфтами перемикання [9, 10], здатними здійснювати перехід з передачі на передачу без переривання потоку енергії (потужності). За приклад для них слугує, можна казати, гідромеханічна трансмісія з електронним керуванням [11], фрикційні муфти керування параметрами й структурою якої визнані незамінними. Але особливої уваги заслуговує так звана технологія Zeroshift [12]: Zeroshifting Transmission здатна автоматично перемикає передачі за мілісекунди без переривання потоку потужності і без негативного впливу на плавність руху автомобіля [13, 14]. Отже можна говорити про можливість втілення систем квазі-миттєвого перемикання передач, хоча про ідеальну синхронізацію обертання частин трансмісії тут йтися не може.

Це означає, що синтез оптимальних законів перемикання передач можна вести за припущення про миттєвість зміни передач. Але при цьому слід мати на увазі необхідність активно керувати тягою і швидкістю обертання вала двигуна у процесі перемикання передач [15, 16]. Намагаючись досягнути швидкісного перемикання передач, вдаються навіть до алгоритмів керування, що не передбачають використання муфти зчеплення [17] (тут ідеться про гібридний електромобіль). Квазі-миттєве перемикання передач практично завжди гарантує автомобілю потенційно кращу динамічність розгону [18]. Але є всі підстави сподіватись, що «миттєве» перемикання сприяє мінімізації витрат палива автомобілем. Та не менш важливою є й автоматизація заради автоматизації

— задля вилучення людини з окремих контурів керування мобільною машиною, задля полегшення умов праці оператора-водія, задля підвищення безпеки пересування машини, задля впровадження системи активного круїз-контролю...

Мотивація і суть автоматизації керування трансмісією. Проблема формування законів керування сходинокчастою скринькою передач мобільної машини поставала спочатку або у разі задуму автоматизувати трансмісію, або у разі вивчення можливостей раціонального керування машиною водієм-оператором. В першому випадку визначальним був суто технічний аспект удосконалення системи «водій — машина», а в другому — суто оптимізаційний. Згодом автоматизація й оптимізація стали супровідними. Початковий шлях від простого до досконалого закону перемикання передач можна відстежити за допомогою низки наочних ілюстрацій.

Можливі режими роботи двигуна найпростіше відобразити точками в координатній системі $\omega_e O h_e$, а режими роботи скриньки передач — точками в системі координат $\omega_e O v$, рис. 1: $\omega_{em}^- \leq \omega_e \leq \omega_{em}^+$ — швидкість обертання вала; $0 \leq h_e \leq h_{em}$ — положення органа керування

двигуном (стан акселератора); $v \leq v_m$ — швидкість пересування машини; ω_{em}^- і ω_{em}^+ — мінімальне й максимальне допустимі значення величини ω_e (вважатимемо, що вони не залежать від h_e); h_{em} — стан акселератора, що відповідає максимальному надсиланню в двигун палива; v_m — максимальне значення величини v . Промені Gear 1, ..., 4 на цьому рисунку відображають зв'язок між ω_e і v на певних чотирьох передачах за припущення, що передатні відношення утворюють ряд, відповідний геометричній прогресії. Хай перемикання передач регламентовані тільки певними значеннями швидкості ω_e обертання вала двигуна (одними й тими самими для всіх передач і для всіх можливих значень h_e) і здійснюються миттєво: уверх (з нижчої передачі на вищу), коли ω_e зростає до значення $\omega_e = \omega_e^+ < \omega_{em}^+$ (тобто на лінії, позначеній як Up від Upwards), а униз (з вищої на нижчу), коли ω_e спаде до значення $\omega_e = \omega_e^- > \omega_{em}^-$ (тобто на лінії, позначеній як Down від Downward).

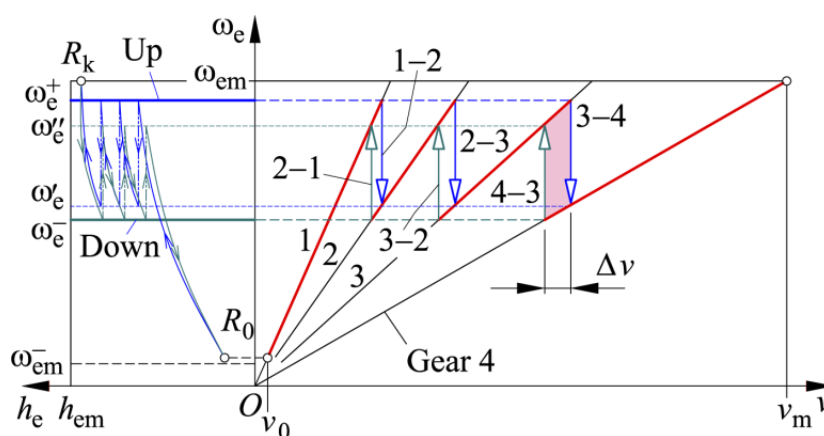


Рисунок 1 – Найпростіша характеристика перемикання передач в механічній трансмісії

Описана модель є гранично простою. За допомогою неї можна дуже наочно подумки відстежити розгін машини від деякої початкової швидкості v_0 до максимальної v_m , певним чином змінюючи режим роботи двигуна від відповідного початкового R_0 до відповідного кінцевого R_k з використанням усіх чотирьох передач (див. рис. 1). Як тільки графік зміни режиму роботи двигуна перший раз зустріне лінію перемикання Up, відбудеться миттєвий, як домовлено, перехід 1—2 з першої передачі на другу: швидкість обертання вала двигуна стрибкоподібно набуде меншого значення

$\omega_e' < \omega_e^+$. Подібно двигун змінюватиме свій режим роботи у разі здійснення наступних двох перемикань передач уверх — 2—3 і 3—4. У разі зменшення швидкості руху машини від значення v_m до значення v_0 перемикання передач униз відбуватиметься кожного разу на лінії перемикань Down: величина ω_e стрибкоподібно змінюватиметься від значення ω_e^- до більшого значення $\omega_e'' > \omega_e^-$.

Прямі і зворотні перемикання передач. За задумом прямі 1—2, 2—3, 3—4 і попарно відповідні зворотні 2—1, 3—2, 4—3 переходи з передачі на

передачу, звісно, не збігаються. Виникає певний гістерезис: приміром, переходи 3—4 і 4—3 зміщені один відносно іншого на величину Δv за швидкістю машини. Ця обставина є вигідною, оскільки запобігає, так би мовити, зацикленню процесу перемикання передач, коли суміжні передачі вимушено багатократно змінюватимуть одна одну у разі можливих коливань швидкості руху машини (в реальній трансмісії це супроводжуватиметься втратами енергії і зменшенням ресурсу трансмісії). Відтак лінії перемикань Up і Down повинні розташовуватись на належній віддалі одна від одної, вони принципово не можуть збігатись.

За належно щільного ряду передатних відношень в трансмісії перевагу матимуть режими роботи двигуна, розташовані в області між лініями перемикання Up і Down (як на рис. 1). Вони використовуватимуться частіше за інші. А от у разі надмірно малої кількості передач або ж у разі перемикання передач через одну режими роботи двигуна можуть полишати згадану область. Але така перевага окремих режимів не має якогось об'єктивного вимірника — вона суто технічна.

Варіанти концепції. Концепцію формування законів перемикання передач намагались порізнному удосконалювати: передбачали, приміром, перемикання особливого сенсу — Back-off (витримка), Step-through (перескакування, через

крок) тощо. Та ефективність таких удосконалень, взагалі кажучи, від початку була сумнівною. Тож довелося визнати, що задаючи умови (формуючи закон) перемикання передач поряд зі швидкістю обертання вала двигуна доречно брати до уваги ще й положення акселератора, рис. 2: ілюструється розгін і сповільнення машини між швидкостями v_0 і v_k ; миті перемикання трансмісії униз» (на нижчу передачу) та уверх (на вищу передачу) визначаються в такому разі точками негоризонтальних прямих (приміром, прямої Down) або й довільного вигляду кривих ліній (приміром, кривої Up); двигун працює в цьому випадку переважно на режимах, належних області ABCD між лініями прямих AB (Up) і зворотних CD (Down) перемикань (а дозволяє це достатньо щільний ряд передатних відношень). Лише на найнижчій та найвищій із використаних передач режим роботи двигуна може перебувати поза зазначеною областю. У разі зближення лінії прямих AB (Up) і лінії зворотних CD (Down) перемикань гістерезис між парою суміжних передач (приміром, гістерезис Γ між третьою і четвертою передачами) звужується, а тому зростає загроза зациклення перемикань. Важливо також, стежити за тим, аби новий режим роботи двигуна, що мав би виникнути після перемикання передач, належав до множини допустимих.

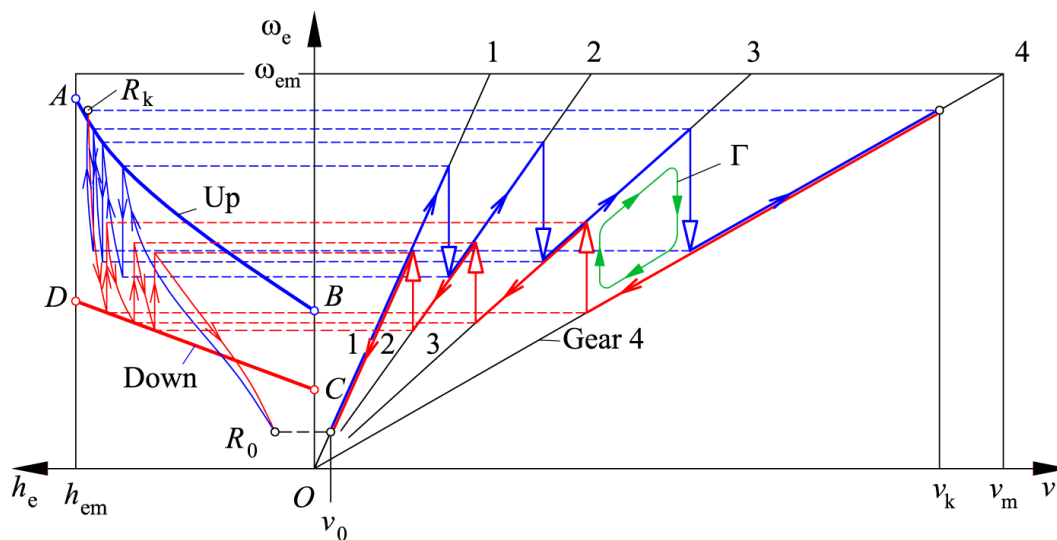


Рисунок 2 – Двопараметрична характеристика перемикання передач

Після миттєвого (!) перемикання передач частота обертання вала двигуна стрибком (!) вимушена змінити своє значення на менше у разі переходу на вищу передачу або на більше у разі переходу на нижчу передачу (відповідно до співвідношення передатних відношень за незмінного стану h_e акселератора). Тож відповідно

до характеристики, наведеної для прикладу на рис. 3, у мить перемикання передач режим роботи двигуна, відображуваний точкою лінії AB, має змінитись на режим, відображуваний відповідною точкою лінії $A'B'$, а режим, відображуваний точкою лінії CD, — на режим, відображуваний відповідною точкою лінії $C'D'$.

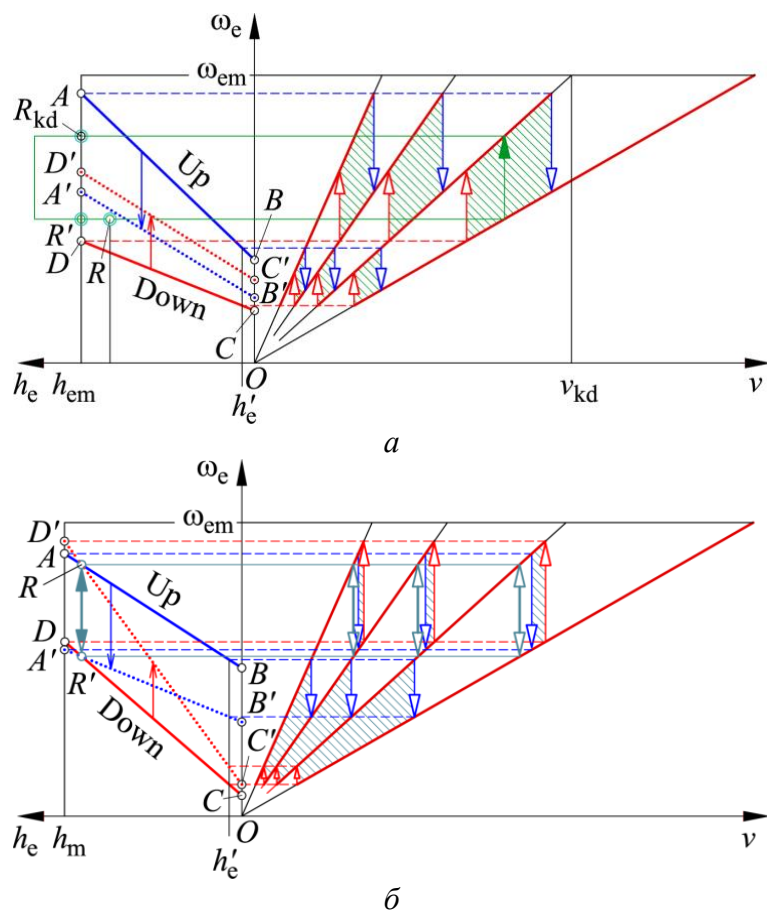


Рисунок 3 – Характеристики перемикання передач з розбіжними (а) та збіжними (б) лініями перемикань

Лінії перемикань Up і Down можуть із зростанням h_e чи розбігатись (рис. 3а), чи збігатись (рис. 3б). Це позначається на ширині гістерезисних петель та їх скеруванні (чи за годинниковою стрілкою, чи проти неї; порівняймо режими максимального $h_e = h_{em}$ і малого $h_e = h'_e$ навантажень). Може виникнути також режим нездоланої зацикленості (рис. 3б): якщо, приміром, режим роботи двигуна відобразить точка R перетину ліній AB і $C'D'$, то має відбутися перемикання передач на вищу зі зміною поточного режиму роботи двигуна на режим, відображений точкою R' ; але R' є точкою перетину ліній CD і $A'B'$, а тому обов'язково знову має відновитися попередня передача та попередній режим роботи двигуна...

Режим Kick down. В окремих ситуаціях від мобільної машини доводиться нагально вимагати реалізації якнайбільшої потужності. З боку водія-оператора ця вимога проявляється натисканням педалі акселератора до обмежувача (де передбачено вмикач спеціального режиму Kick down: $h_e = h_{ekd} > h_{em}$). А автоматична трансмісія на цю вимогу мала б негайно реагувати вмиканням нижчої передачі (якщо це технічно можливо) — навіть,

коли вигідні умови для перемикання насправді ще не настали. В цьому випадку швидкість обертання вала двигуна має зрости і двигун набуде можливості реалізовувати режими значно більшої потужності. При цьому на нижчій передачі зазвичай більшими є тягові сили та прискорення.

Хай для прикладу (рис. 4, що відповідає рис. 3а) йдеться про рух машини на четвертій передачі (Gear 4), коли двигун працює на деякому режимі R_1 : $(\omega_e, h_e) = (\omega_{e1}, h_{e1})$. У разі «поміркованого» переміщення педалі акселератора до стану $h_e = h_{em}$ режим R_1 (як і будь-який інший режим при тому самому значенні величини $\omega_e = \omega_{e1}$, як от режим R'_1) трансформується на режим R''_1 зі звичними наслідками. Але якщо переміщення педалі акселератора до стану $h_e = h_{ekd} > h_{em}$ буде «наполегливим», то має виникнути процес Kick down із вмиканням нижчої третьої передачі (Gear 3), унаслідок чого поточні режими R_1 , R'_1 (та й інші при $\omega_e = \omega_{e1}$), зміняться на режим R_{kd1} : $(\omega_e, h_e) = (\omega_{ekd} > \omega_{e1}, h_e = h_{em})$.

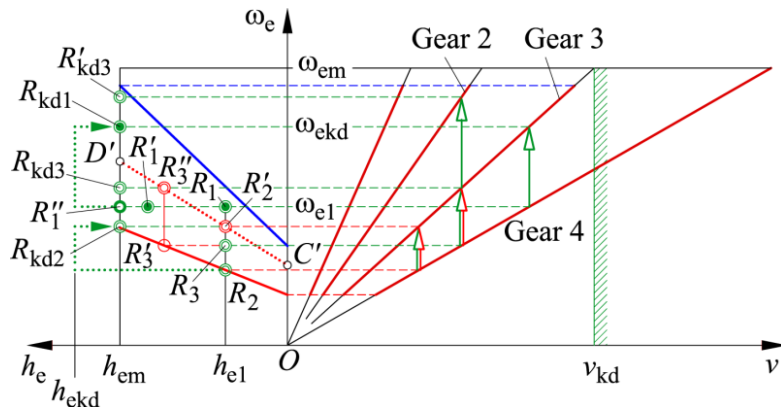


Рисунок 4 – Характеристика перемикачів штибу Kick down

У мить реалізації, скажімо, режиму R_2 , відображуваного однойменною точкою лінії перемикачів Down, мало б відбутися перемикачів передач з реалізацією нового режиму R'_2 , відображуваного однойменною точкою лінії $C'D'$. Але якщо в цю мить надійшло форсоване керування $h_e = h_{ekd} > h_{em}$, то в процесі Kick down перемикачів передач на третю має відбутися з переведення роботи двигуна у режим R_{kd2} , далекий від R'_2 (без зміни швидкості обертання вала двигуна). Перемикачів штибу Kick down взагалі неможливі у разі $v > v_{kd}$, оскільки не існує відповідного допустимого режиму роботи двигуна на нижчій передачі, оскільки після перемикачів швидкість обертання вала двигуна перевищила б допустиме значення ω_{em} .

Можуть виникати також колізійні ситуації. Приміром, унаслідок «наполегливого» керування $h_e = h_{ekd} > h_{em}$ у процесі зростання величини h_e за незмінної ω_e режим роботи двигуна R_3 спочатку перетвориться на режим R'_3 , а далі разом з вмиканням третьої передачі — на режим R''_3 , а ще згодом у процесі Kick down — на режим R'_{kd3} з перемикачів передач ще на другу (Gear 2). Але якщо б система автоматичного керування відразу зреагувала суто на сигнал $h_e = h_{ekd} > h_{em}$, то режим R_3 мав би перетворитися на режим R_{kd3} лише з одним перемикачів на третю передачу. Отже було б добре, якби реальна система Kick down розрізняла не тільки положення $h_{ekd} > h_{em}$ акселератора, а ще й швидкість його переміщення.

Керування штибу Kick down можна застосувати до всіх передач (крім найнижчої, звісно). Якщо ж його застосувати лише до найвищої передачі, то ефект від цього буде подібним до ефекту від керування штибу Over drive, застосовуваного в автоматичних трансмісіях.

Принципи автоматизації перемикачів. Цілком природним є те, що для кожної з пар передач почали передбачати свою окрему пару ліній Up і Down взаємного (прямого і зворотного) перемикачів. За типовий приклад може правити концепція автоматизації приводу автомобіля засобами електронної системи Bosch керування чотириступеневою трансмісією 4HP22 фірми Zahnrad Fabrik (ZF) з гідродинамічним трансформатором [19]. Система керування трансмісією визріла у процесі розширення функцій мікропроцесорної системи Bosch Motronic, покликаної спочатку лише керувати впорскуванням пального та запалюванням пальної суміші. Згодом на цю систему було покладено функції оптимального добирання й автоматичного перемикачів передач, а також блокування гідродинамічного трансформатора на 3-й і 4-й передачах (що також можна тлумачити як вмикання-вимикання двох додаткових передач) та керування якістю (плавністю) зміни передач. Зазначмо, автомобільні мікропроцесорні системи керування будь-якого вузького призначення завжди доцільно «змушувати переймати» на себе додаткові функції і «перетворювати» себе завдяки цьому на інтегральні системи керування автомобілем.

Перемикачів передач в системі передбачено здійснювати на розсуд водія за однією з трьох програм: динамічною в автоматичному режимі, енергоощадною в автоматичному режимі та з добором передач водієм в ручному режимі [3, 19]. Для цього в автоматичній, по суті, системі керування збережено механічний (тросовий) привід селектора ручного керування. Ручне перемикачів передбачено застосовувати, приміром, узимку, що, як з'ясувалось, дозволяє забезпечити рушення автомобіля навіть на третій передачі. Концепція системи ніби визнає цілковиту несумісність одночасно вимог динамічності, паливної ощадності, надійності в звичайних умовах руху автомобіля та вимог ефективності в особливих умовах. Тож в неمالій мірі закладено покладатись на суб'єктивізм водія. Характеристики автоматичного перемикачів передач відображає рис. 5.

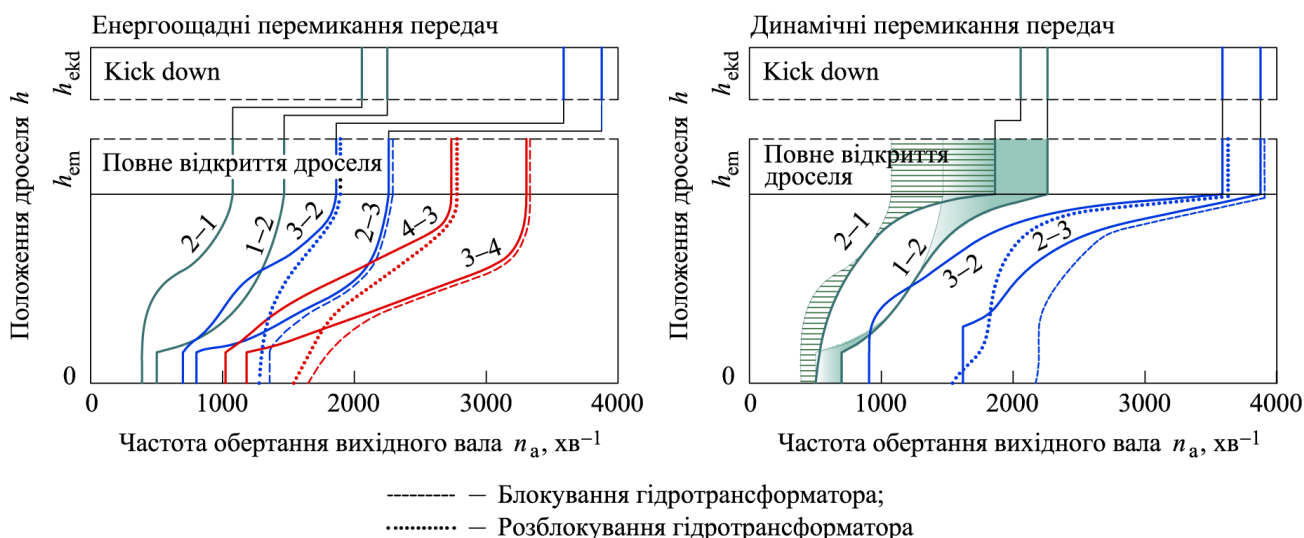


Рисунок 5 – Характеристики-мапи перемикання передач в трансмісії 4HP22 [3, 19]

Протиставлення вимог динамічності й енергоощадності простежується в багатьох наукових й інженерних розвідках (див., приміром, [11, 19]). Те, що динамічність й енергоощадність в загальному сенсі і звичному розумінні — це цілком різні речі, власне й ілюструють наведені на рис. 5 характеристики згадуваної шойно електронної системи автоматичного перемикання передач (n_a — частота обертання вихідного вала скриньки передач; h_e — положення дросельної заслінки, що характеризує навантаження на двигун; « $i-j$ » — позначення лінії перемикання з передачі i на передачу j ; Kick down — форсований режим перемикання передач на нижчу). Легко помітити, що відображена на рис. 5 характеристика насправді є змістовнішою розгорткою характеристик, відображених на рис. 1—4. Такого стибу характеристики називають ще мапами перемикань передач.

На прикладі перемикань 1—2 з першої передачі на другу (рис. 5) можна бачити, що динамічні моменти перемикань у порівнянні з енергоощадними помітно зміщені у бік більших частот обертання вала скриньки передач (це зміщення відображає тонована область). Те саме спостерігається і щодо зворотних перемикань 2—1 (зміщення митей перемикання ілюструє штрихована область). Отже в динамічному режимі система довше послуговатиметься нижчою передачею (і взагалі, кожна нижча передача має пріоритет перед вищою). Подібно, й гідродинамічний трансформатор блокується і розблоковується за вищих частот обертання вала скриньки передач у разі динамічного керування трансмісією.

Довший час ознакою автоматичності трансмісії мобільної машини була наявність в її складі гідродинамічного перетворювача механічної енергії — пристрою, якому притаманний так званий внутрішній автоматизм. Тепер цей факт створює

термінологічні труднощі, оскільки з деякого часу трансмісії з гідродинамічним трансформатором (ГДТ) почали називати автоматичними, і тепер таку назву важко перенести на трансмісії іншого стибу, що також наділені властивостями автоматизму.

Обмірковування. Описані модельні уявлення навіть за значних методологічних спрощень дають можливість наголосити на такому.

По-перше, доречно розрізнити існування двох тенденцій автоматизації трансмісії мобільної машини: тенденцію автоматизації трансмісії суто заради автоматизації, коли бажано будь-що спростити водію-оператору умови праці, та тенденцію, обумовлену намаганням надати мобільній машині раціональних властивостей, які принципово неможливо реалізувати через навчання водія-оператора оптимальним прийомам керування. Звісно, тепер друга тенденція цілком природно поглинула першу. Тому нема жодного сенсу в наш час зважати на примхи деяких водіїв-операторів, що домагаються зберегти можливість керувати вручну. Що у випадку «автоматизації заради автоматизації», що у випадку «автоматизації задля удосконалення властивостей» («заради оптимізації»), що у випадку навчання оптимальним технологіям керування машиною постає проблема визначення оптимального закону перемикання передач.

По-друге, формування законів перемикання передач переважно зводять до укладання так званих мап перемикання, які наче пазли, елементи яких частково накладаються одні на інших, «закріплюють» можливі режими роботи двигуна за різними передачами (рис. 1—5). У дещо іншій формі мапа перемикань може відображати закони зміни структури трансмісії. Тож в процесі подальшого удосконалення теорії автоматизації трансмі-

сій мобільних машин необхідно з'ясувати, чи підхід з використанням мап справді не має хиб, чи, часом, він не заважає бачити принципово інші, значно корисніші, можливості.

По-третє, так чи інакше у разі формування законів керування трансмісією доводиться вирізняти пріоритети режимів роботи двигуна. Пріоритет режимів можна помітити навіть у випадку найпростіших законів перемикавання. Приміром, режими роботи двигуна, що розташовані між лініями перемикавання Up і Down (рис. 1—4), можна казати, мають певний технічний пріоритет. Але навіть у випадку обґрунтування суто технічного пріоритету в значній мірі проявляє себе невизначеність. Тож було б добре поняття пріоритету підпорядкувати якимось критеріям, керуючись, приміром, вимогами енергоощадності, екологічності, динамічності, керованості (чутливості до керувань) тощо. В такому разі мапи перемикавань істотно ускладнюються (рис. 5).

По-четверте, практично завжди вимоги енергоощадності, екологічності, динамічності, керованості є принципово несумісними. Але чи необхідно ними оперувати одночасно й паралельно, чи не доцільно від самого початку шукати раціональні компроміси? Чи доречно паралельно закладати в автоматичній системі різні алгоритми керування — енергоощадний, динамічний, для особливих умов руху машини абощо, а вже застосування того чи іншого алгоритму в поточну мить часу доручати водію-оператору на його розсуд? Звісно, є сенс або усунути протиріччя між різними вимогами однакової ваги, або ж застосування того чи іншого алгоритму з множини технічно передбачених доручити виключно достатньо «розумному» автомату відповідно до умов і обставин руху машини та планів водія-оператора.

По-п'яте, з наведених модельних описів випливає, що перемикавання передач обов'язково має супроводжуватись зміною режиму роботи двигуна — стрибкоподібною у разі припущення про миттєвість перемикавання. Стрибкоподібна ж зміна швидкості обертання вала двигуна (чи будь-якої іншої обертової частини трансмісії) — це так званий «твердий» удар, якому доводиться запобігати засобами синхронізації швидкостей, витрачаючи на це певну кількість енергії. Виявляється, забезпечити плавність (безударність) перемикавання передач — чи не найскладніше завдання. У разі перемикавання з нижчої передачі на вищу і з вищої на нижчу застосовують як різні закони керування процесом перемикавання, так і різні алгоритми забезпечення безпосередньо плавності. Керування перемикаванням передач здійснюють, приміром [19], одночасною зміною тиску робочої рідини у циліндрі фрикціону, що вмикає нову передачу, та

обертового моменту двигуна, а це є ознакою втілення принципу активної синхронізації швидкостей обертання елементів трансмісії. Тож навіть з міркувань забезпечення плавності перемикавання передач двигун має змінювати не тільки швидкісний режим, але й навантажувальний. Відтак у моделі з миттєвим перемикаванням передач двигун має стрибком змінювати одночасно і ω_e , і h_e . Цей факт характеристики, наведені на рис. 1—4, ігнорують. І взагалі, чи можуть бути оптимальними перемикавання передач без зміни навантаження двигуна (без зміни обертового моменту)?

По-шосте, реальні автоматичні чи автоматизовані (роботизовані) трансмісії мобільних машин засвідчують експлуатаційну потребу застосовувати режими керування штибу Kick down чи Over drive з майже миттєвою зміною навантажувального режиму роботи двигуна. Миттєва зміна силового чинника провокує так званий «м'який» удар, який, однак, усувати нема жодної потреби — він радше є свідченням чутливості системи до керівних дій. Але виникає питання: чи такі режими керування має «пропонувати» загальна теорія автоматичного керування трансмісією, чи вони мають залишатися евристичним винаходом, що не підпадає під загальні ознаки оптимальності законів перемикавання передач? Взагалі кажучи, наслідки керування штибу Kick down також мали б підпадати під визначальні критерії оптимальності.

По-сьоме, в класичних підходах до автоматизації трансмісій завжди постає проблема зациклення процесу перемикавання передач чи процесу зміни структури трансмісії. Цікаво було б з'ясувати, чи це зациклення є ознакою оптимальності, яка не прийнятна з погляду технічного, чи теорія дає хибні орієнтири для пошуку оптимальних законів перемикавання передач? В першому випадку боротьба проти зациклення — це часткове нівелювання оптимальності. В другому випадку виникає потреба в уточненні або й перегляді теорії.

По-восьме, доволі швидкоплинне перемикавання передач має супроводжуватись відповідно швидкоплинною зміною режиму роботи двигуна, а тому важливе значення у процесі синтезу оптимальних законів перемикавання передач має відігравати інформація про допустимість нових режимів роботи двигуна, які мали б реалізовуватись після перемикавання передач. Тож алгоритм керування трансмісією повинен зважати на існуючі обмеження технічного штибу. Відтак й у випадку умовно миттєвого перемикавання передач миттєво новий режим не повинен полишати множину допустимих.

По-дев'яте, ефективність системи «двигун — трансмісія — машина» в рамках проблеми опти-

мізації законів керування трансмісією визначається перш за все ефективністю режимів роботи двигуна, прямими вимірниками якої є швидкість обертання вала двигуна ω_e , обертовий момент M_e чи потужність P_e , швидкість споживання пального (витрата пального за одиницю часу) Q_e . Оперування лише швидкістю обертання вала двигуна ω_e та положенням акселератора h_e (своєрідним аналогом обертового моменту чи потужності) не дає можливості розгорнути об'єктивну концепцію оптимальності законів перемикання трансмісії. Звісно, до уваги слід брати також і коефіцієнт корисної дії трансмісії на різних передачах.

По-десяте, технологія Zeroshift дає можливість істотно спростити процес зміни передач в механічній трансмісії. Через те, що у разі активного керування двигуном процес стає майже миттєвим, істотно спрощується процедура оптимізації законів перемикання передач. Однак при цьому неможливо цілком усунути ефект «твердого удару» у взаємодії елементів трансмісії.

Загалом, трансмісія — надзвичайно важливий елемент в менеджменті механічної енергії на об'їзд будь-якої мобільної машини [20, 21]. Особливо, коли йдеться про гібридну мобільну машину [22—24].

Висновки. Теорія синтезу законів (стратегій) оптимального керування сходинок трансмісією автомобільної пожежно-рятувальної машини, на яку вимушено покладають складні завдання, повинна вибудувати цілком формалізоване ставлення до перелічених щойно питань. Навіть «автоматизація задля автоматизації» має спиратись на спільні для усіх можливих стратегій принципи. Розглядаючи «автоматизацію задля автоматизації», відразу спадає на думку розрізнити прямі й зворотні перемикання передач, аби запобігти проявові так званого зациклення. У разі ж просування стратегій динамічного та енергоощадного керування трансмісією проблема зациклення вирішується уже на завершальній стадії оптимізації. І тоді фактично доводиться у тій чи іншій мірі, у той чи інший спосіб відхилитись від оптимальності, спотворювати її.

Трансмісія з гідродинамічним перетворенням механічної енергії виявляє властивості внутрішнього автоматизму, який завжди є енерговитратнішим. Інколи можна зустріти твердження, що використання автоматичних трансмісій з перемиканням передач під навантаженням призводить до додаткового зниження їх коефіцієнта корисної дії ще на 2...3 % тільки через те, що оптимізація

стратегії керування трансмісією призводить до істотного зростання частоти перемикань передач і додаткових через це втрат енергії.

Тож автоматизована механічна трансмісія (АМТ) — це вигідна альтернатива автоматичній трансмісії (АТ). «Зовнішня» автоматизація трансмісії мобільної машини стає неперехідною потребою. До того ж, застосування технології Zeroshift в значній мірі знівелює втрату енергетичної ефективності через можливе зростання частоти перемикання передач.

В подальшому теорію автоматичного керування трансмісією мобільної машини доречно розглядати в термінах концепцій, а не варіацій технічних рішень. Хотілося щоб утвердився принцип: якщо будь-чому дати розум, волю, рішучість, воно почне думати, рухатись, прагнути. Звісно, навіть до «розумної» трансмісії він навряд чи застосовний, але до системи «— водій — трансмісія — автомобіль — довкілля —»?..

Список літератури:

1. Simmer D. (). The Contribution of Transmission to Vehicle Fuel Economy. AUTOTECH. 1995 Vol. 34. P. 135—145.
2. Singh G., Sharma M. and Singh A. P. Novel Automated Manual Transmission Gear-Shift Map Modelling Based on Throttle Position. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 15, Issue 1. P. 5053—5073 <https://doi.org/10.15282/ijame.15.1.2018.12.0391>
3. Гащук П. М., Пельо Р. А. Засадничі принципи теорії синтезу оптимальних законів перемикання передач в сходинок автомобільній трансмісії // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2018. № 18. С. 23—40. DOI: 10.32447/20784643.18.2018.02
4. Shen W., Yu H., Hu Y., Xi J. Optimization of Shift Schedule for Hybrid Electric Vehicle with Automated Manual Transmission / Energies. 2016. Vol. 9(3), 220. 11 p. <https://doi.org/10.3390/en9030220>
5. Ngo V. D., Hofman T., Steinbuch M., Serrears A.F.A. Optimal Control of the Gear Shift Command for Hybrid Electric Vehicles / IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2012. Vol. 61. P. 3531—3543. DOI:10.1109/TVT.2012.2207922
6. Ngo V. D., Hofman T., Steinbuch M., Serrears A. Gear shift map design methodology for automotive transmissions / Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2014. Vol. 228(1). P. 50—72. DOI: 10.1177/0954407013506698
7. Xi L., Xiangyang X., Yanfang L. Simulation of Gear-shift Algorithm for Automatic Transmission Based on MATLAB / WRI World Congress on

Software Engineering, Xiamen, China. 2009. P. 476—480. doi: 10.1109/WCSE.2009.198.

8. Jeoung D., Min K. Sunwoo M. Automatic Transmission Shift Strategy Based on Greedy Algorithm Using Predicted Velocity / *International Journal of Automotive Technology*. 2020. Vol. 21, No. 1. P. 159—168. DOI 10.1007/s12239-020-0016-9

9. Die Königsklasse im Test // *Top agrar*. 1997. Vol. 11. P. 60—75.

10. Sechs Fabricate im Doppeltest // *Top agrar*. 1998. Vol. 12. P. 71—78.

11. Muller F., Sailer H. New future-oriented tractor transmission ZF. *International off-Highway // SAE Technical Paper Series*. — 1993. — 932420. — 13 p. <https://doi.org/10.4271/932420>

12. Heath R. P. G., Child A. J. Zeroshift. A seamless Automated Manual Transmission (AMT) with no torque interrupt // *SAE Technical Paper Series*. 2007. 2007-01-1307. 6 p. <https://doi.org/10.4271/2007-01-1307>

13. Heath R. P. G., Child A. J. Zeroshift Automated Manual Transmission (AMT) // *SAE Paper No.* 2007-26-061. 2007. P. 693—696. <https://doi.org/10.4271/2007-26-061>

14. Armstrong-Wilson Ch. Changing strategies // *Racecar Engineering*. 2005. P. 54—58.

15. Galvagno E., Velardocchia M., Vigliani A. Analysis and simulation of a torque assist Automated manual transmission / *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2011. Vol. 25(6). P. 1877—1886. DOI:10.1016/j.ymsp.2010.12.014

16. Zhong Z., Kong G., Yu Z., Chen X., Chen X., Xin X. Concept evaluation of a novel gear selector for automated manual transmissions / *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2012. Vol. 31. P. 316—331. doi.org/10.1016/j.ymsp.2012.02.008

17. Liao C., Zhang J., Zhu H. A Study of Shift Control Algorithm without Clutch Operation for Automated Manual Transmission in the Parallel Hybrid Electric Vehicle / *Society of Automotive Engineers of China, FISITA 2004 World Automotive Congress*, Barcelona, February 13, 2004.

18. Михалевич М. Г. Аналіз динаміки розгону швидкісного автомобіля класу Е-8, оснащеного різними варіантами трансмісії // *Автомобильный транспорт*. 2015. Вып. 37. P. 111—115. URI: <http://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/handle/123456789/1180>

19. Schwab M. Electronic Control of a 4-Speed Automatic Transmission with Lock-Up Clutch // *SAE Technical Paper Series*. 1984. 840448. P. 85—93. DOI 10.4271/840448

20. Lei Y., Liu K., Zhang Y., Fu Y., Liu H., Lin G, Tang H. Adaptive Gearshift Strategy Based on Generalized Load Recognition for Automatic Trans-

mission Vehicles / *Mathematical Problems in Engineering*. 2015. Vol. 2015, Article ID 614989. 12 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/614989>

21. Glielmo L., Iannelli L., Vacca V., Vasca F. Gearshift Control for Automated Manual Transmissions / *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2006. Vol. 11, No. 1. P. 17—26. DOI: 10.1109/TMECH.2005.863369

22. Panday A., Bansal H. O. A Review of Optimal Energy Management Strategies for Hybrid Electric Vehicle / *International Journal of Vehicular Technology*. 2014. Vol. 2014, Article ID 160510. 19 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/160510>

23. Yang Y., Wu S., Fu X. Shifting Control Algorithm for a Single-Axle Parallel Plug-In Hybrid Electric Bus Equipped with EMT / *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2014. Vol. 2014, Article ID 618587. 11 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/618587>

24. Serrarens A. F. A. Coordinated control of the Zero Inertia Powertrain. *Technische Universiteit Eindhoven*. 2001. 198 p. <https://doi.org/10.6100/IR549998>

References:

1. Simmer D. (1995). The Contribution of Transmission to Vehicle Fuel Economy. *AUTOTECH*, 34, 135—145.

2. Singh, G., Sharma, M., & Singh, A. P. (2018). Novel Automated Manual Transmission Gear-Shift Map Modelling Based on Throttle Position. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15(1), 5053—5073. <https://doi.org/10.15282/ijame.15.1.2018.12.0391>

3. Hashchuk, P. M., & Peljo, R. A. (2018). Fundamental Principles of Optimal Gear Shift Synthesis Theory in Automobile Stepped Ration Gear Transmission. *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*, 18, 23—40. DOI: 10.32447/20784643.18.2018.02 (in Ukraine)

4. Shen, W., Yu, H., Hu, Y., & Xi, J. (2016). Optimization of Shift Schedule for Hybrid Electric Vehicle with Automated Manual Transmission. *Energies*, 9(3), 220, 1—11. <https://doi.org/10.3390/en9030220>

5. Ngo, V. D., Hofman, T., Steinbuch, M., & Serrarens, A. F. A. (2012). Optimal Control of the Gear Shift Command for Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61, 3531—3543. DOI:10.1109/TVT.2012.2207922.

6. Ngo, V. D., Hofman, T., Steinbuch, M., & Serrarens, A. (2014). Gear shift map design methodology for automotive transmissions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 228(1), 50—72. <https://doi.org/10.1177/0954407013506698>

7. Xi, L., Xiangyang, X., & Yanfang, L. (2009) Simulation of Gear-shift Algorithm for Automatic Transmission Based on MATLAB. *WRI World Congress on Software Engineering*, Xiamen, China, 2009, 476—480. doi: 10.1109/WCSE.2009.198.
8. Jeoung D., Min K., & Sunwoo M. (2020) Automatic Transmission Shift Strategy Based on Greedy Algorithm Using Predicted Velocity. *International Journal of Automotive Technology*, 21(1), 159—168. DOI 10.1007/s12239-020-0016-9
9. Die Königsklasse im Test (1997). *Top agrar*. 11, 60—75.
10. Sechs Fabricate im Doppeltest (1998). *Top agrar*. 12, 71—78.
11. Muller, F., & Sailer H. (1993). New future-oriented tractor transmission ZF. International off-Highway. *SAE Technical Paper Series*, 932420, 1—13. <https://doi.org/10.4271/932420>
12. Heath, R. P. G., & Child, A. J. (2007) Zeroshift. A seamless Automated Manual Transmission (AMT) with no torque interrupt. *SAE Technical Paper Series*, 2007-01-1307, 2007, 1—6. <https://doi.org/10.4271/2007-01-1307>
13. Heath, R. P. G., & Child, A. J. (2007). Zeroshift Automated Manual Transmission (AMT). *SAE Paper No. 2007-26-061*, 693—696. <https://doi.org/10.4271/2007-26-061>
14. Armstrong-Wilson Ch. (2005). Changing strategies. *Racecar Engineering*, 54—58.
15. Galvagno, E., Velardocchia, M., & Vigliani, A. (2011). Analysis and simulation of a torque assist Automated manual transmission. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25(6), 1877—1886. DOI:10.1016/j.ymssp.2010.12.014
16. Zhong, Z., Kong, G., Yu, Z., Chen, X., Chen, X., & Xin, X. (2012). Concept evaluation of a novel gear selector for automated manual transmissions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 31, 316—331. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.02.008>
17. Liao C., Zhang J., Zhu H., A Study of Shift Control Algorithm without Clutch Operation for Automated Manual Transmission in the Parallel Hybrid Electric Vehicle. *Society of Automotive Engineers of China*, FISITA 2004 World Automotive Congress, Barcelona, February 13, 2004.
18. Mikhalevych, M. (2015). Analysis of Acceleration of Class E-8 Race Car Equipped With Various Transmission Options. *Avtomobilnyi transport*, 37, 111—115. URI: <http://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle123456789/1180> (in Ukraine)
19. Schwab M. (1984). Electronic Control of a 4-Speed Automatic Transmission with Lock-Up Clutch. *SAE Technical Paper Series*, 840448, 85—93. DOI 10.4271/840448
20. Lei, Y., Liu, K., Zhang, Y., Fu, Y., Liu, H., Lin, G., & Tang, H. (2015). Adaptive Gearshift Strategy Based on Generalized Load Recognition for Automatic Transmission Vehicles. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015(Article ID 614989), 1—12. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/614989>
21. Glielmo, L., Iannelli, L., Vacca, V., & Vasca, F. (2006). Gearshift Control for Automated Manual Transmissions. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 11(1), 17—26. DOI: 10.1109/TMECH.2005.863369
22. Panday, A., & Bansal, H. O. (2014). A Review of Optimal Energy Management Strategies for Hybrid Electric Vehicle. *International Journal of Vehicular Technology*, 2014(Article ID 160510), 1—19. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/160510>
23. Yang, Y., Wu, S., & Fu, X. Shifting Control Algorithm for a Single-Axle Parallel Plug-In Hybrid Electric Bus Equipped with EMT. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014(Article ID 618587), 1—11. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/618587>
24. Serrarens, A. F. A. (2001). *Coordinated control of the Zero Inertia Powertrain*. Technische Universiteit Eindhoven, 1—198. <https://doi.org/10.6100/IR549998>

* Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 16.09.2021 р.