

*П. М. Гащук¹, Р. А. Пельо²**¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
²Національний університет «Львівська політехніка»*

ЗАСАДНИЧІ ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНИХ ЗАКОНІВ ПЕРЕМІКАННЯ ПЕРЕДАЧ В СХОДИНЧАСТІЙ АВТОМОБІЛЬНІЙ ТРАНСМІСІЇ

Закони перемикання передач майже завжди трансформують у ніби дуже наочні й відносно легко програмовані в контролері так звані мапи перемикань. Але виникають клопоти з приводу невизначеності розуміння оптимальності. Оминувти їх намагаються, або пропонуючи водієві самому пробувати орієнтуватись у технічно закладених можливостях багатопрограмного автоматизованого чи автоматичного керування трансмісією, або ж на власний розсуд закладаючи у систему керування якийсь програмний компроміс, який часто не розкривають. Відтак в систему автоматичного керування хоч так, хоч так вимушено привноситься свідомий суб'єктивізм. І досі нема теорії, яка б запропонувала в певному сенсі неспростовний компроміс.

Виявляється, поряд з не дуже об'єктивною оптимальністю законів перемикання передач проявляє себе ще й так звана циклічність перемикань, тобто надлишкова чи нераціональна змінюваність структури й параметрів трансмісії, яку критерій оптимальності не здатен був заблокувати. Борючись з цим явищем, оптимальні закони свідомо суттєво спотворюють, нівелюють. В такому разі, для чого було домагатись оптимальності? Для чого треба було створювати точні моделі автомобіля, вишукувати сенс досконалості трансмісії? Може існують важливіші за динамічність, енергоощадність... суто технічні чинники, що визначають корисність трансмісії? Може слід перебачити штучний (штучно створений) хаос в системі керування, програмуючи несистематичні похибки в роботі контролера? Звісно, на ці запитання доречно шукати обґрунтовані відповіді заперечного змісту.

Але існують підстави запропонувати цілком інше тлумачення оптимальності законів перемикання передач: у разі реалізації обраної водієм програми руху автомобіля може йтись тільки про енергоощадність, а от вимога динамічності — це вже «втручання» в дії водія, «обмеження» свободи вибору, зменшення рівня керованості в системі «водій — автомобіль». Таке тлумачення сенсу автоматизації трансмісії має тверде теоретичне підґрунтя. «Динамічність» має підстави для існування хіба що як вимірник чутливості автомобіля до дій водія.

Якщо дві парадигми якось співіснують поруч, то без сумніву, все, з чим дозволила зазізнатись одна з них є цілковито хибним. А хибною, як виглядає, є саме традиційна парадигма, яка спирається на оперування так званою мапою перемикань. Через це довгий час в теорії автоматичного керування системою «двигун — трансмісія — автомобіль» існувала неоднозначність у розумінні оптимального керування трансмісією автомобільної машини. В ідеальному випадку перемикання передач не повинно б впливати на обрану водієм програму пересування автомобіля. І ця сентенція стає засадничою, ключовою у формуванні справді об'єктивних засад для синтезу оптимальних законів керування автомобільною трансмісією.

Мета статті — розкрити зміст, оцінити об'єктивність та обґрунтовано протиставити одна другій дві парадигми, що конкурують між собою в теорії автоматичного керування сходиначастими трансмісіями автомобілів і на які спирається теорія синтезу оптимальних законів перемикання передач в цих трансмісіях.

Майже завжди задачу забезпечення плавності перемикання передач розглядають поза основною мотивацією процесу оптимізації законів перемикання передач. Вважають, що плавність перемикання — це лише запорука комфортності та запобігання шкідливих динамічних навантажень в трансмісії. Насправді ж синхронізація обертання елементів трансмісії за участю двигуна безпосередньо пов'язана з пересиланням енергії до рушіїв автомобіля і точністю відтворення бажаної програми його руху. А тому ефективність синхронізації має оцінюватись за тими самими критеріями, що й раціональність доброї передачі. Цікаво, що в процесі активного (за участю двигуна) керування синхронізацією трансмісія автомобіля перетворюється на варіатор, який хоча й розвіює енергію у формі тепла, проте потенційно дозволяє двигуну довше працювати на енергетично найощадливіших режимах.

Доведено, що оптимізацію законів перемикання передач завжди є сенс провадити лише за критерієм енергоощадності. При цьому організація процесу переходу з однієї передачі на іншу має бути підпорядкована також суто вимогам енергоощадності, а не якимось вимогам плавності, що навіть не піддаються чіткій формалізації. А в такому разі особливої ваги набувають алгоритми керування двигуном внутрішнього згоряння в процесі перемикання передач в трансмісії автомобіля (в процесі буксування фрикціонів).

Ключові слова: сходиначаста автомобільна трансмісія, перемикання передач, оптимальні закони керування, критерій енергоощадності

Мета статті — розкрити зміст, оцінити об'єктивність та обґрунтовано протиставити одна другій дві парадигми, що сьогодні конкурують між собою в рамках теорії автоматичного керування сходячими трансмісіями автомобілів (та й мобільних машин будь-якого іншого призначення) і на які спирається теорія синтезу оптимальних законів перемикання передач в сходячих трансмісіях. У підсумку виснажена парадигма має цілком згаснути, як неправдива, а інша має єдино набути визнання. Зрозуміло, отримавши, як кажуть, відповідь на запитання, не означає, що можна буде завершити розмову, — далі кропітка дослідницька робота вже на засадах визнаних уявлень про досконалість законів керування трансмісією.

Мотивація. Поширення в автомобільній техніці трансмісій з механічною сходячою скринькою передач в своєму складі пояснюється раціональною її будовою, надійністю й довговічністю, вищим коефіцієнтом корисної дії (ККД), задовільним рівнем технології виробництва/обслуговування/ремонту й порівняно низькою вартістю. Тому автоматизація керування трансмісією транспортної чи мобільної машини іншого призначення саме з механічною скринькою передач є важливим напрямом удосконалення конструкції автомобільної техніки взагалі [1, 2]. Але в такому разі було б доцільно відмовитися від звичних синхронізаторів і покластися на фрикційні муфти керування перемиканням передач. Зауважмо, механічні сходячі скриньки передач з фрикційними муфтами перемикання передач впевнено проникли на трактори [3, 4]. За приклад можна брати гідромеханічні передачі з електронним керуванням [5], фрикційні муфти керування параметрами й структурою в яких визнані незамінними. Гідромеханічні передачі — це, взагалі кажучи, втілення величезного досвіду автоматизації трансмісій мобільних машин, з якого доречно користати й у разі автоматизації суто механічних трансмісій.

Та слід визнати, автоматизація керування силовим агрегатом транспортних машин з механічною сходячою скринькою передач завжди була складнішим завданням, ніж автоматизація силового агрегату з гідромеханічною трансмісією. І це завдання зазвичай визнає можливість двох підходів: 1) створення систем напівавтоматичного (радіше сервоавтоматичного) керування, коли команди на перемикання передач надходять від водія, а цілком автоматизованим є власне процес реалізації цих команд; 2) створення систем автоматичного керування, в алгоритмі дій яких місця водієві нема. Але, без сумніву, другий напрям раніше чи пізніше має стати єдиним.

В роботі [6] задекларовано, що перехід на тракторах від звичних трансмісій до трансмісій з перемиканням передач під навантаженням приз-

водить загалом до зниження їх ККД на 2...3 %. Мотивування таке: у разі автоматизації трансмісії частота перемикань під навантаженням істотно зростає, що призводить ще до додаткових втрат енергії, а оскільки автоматизація трансмісій стає неперехідною необхідністю, то втрата енергетичної ефективності буде неминучою.

Але «задекларованим переконанням» нема сенсу керуватись, оскільки реальний досвід множення автоматичних скриньок передач на автомобілях і тракторах цілком заперечує його. Для об'єктивної оцінки наслідків автоматизації трансмісій потрібні не поверхнево-інтуїтивні, а значно глибшого змісту аргументи.

Свого часу, ігноруючи перестороги щодо втрати енергоощадності, вдалися до використання гідро(динамічно)механічних трансмісій. Переваги й недоліки автоматичних гідродинамічних передач на важких транспортних засобах з позицій початку 1970-х років були прийнятно якісно висвітлені, приміром, в [7]. В той час з чотирьох-п'яти сходинок у звичайних трансмісіях переходили на вісім...шістнадцять — у більшості випадків за допомогою одинарних чи подвійних двосходячих передач з простими сервомоторами перемикання. Але незабаром в структуру трансмісії все-таки з меншою кількістю передач впровадили гідродинамічну чи муфту, чи трансформатор, і вона з часом стала цілком автоматичною.

Трансмісія, що здійснює гідродинамічне перетворення механічної енергії, виявляє внутрішній автоматизм, який супроводжує проковзування, а тому принципово завжди є енерговитратнішою. Тож, природно, у міру удосконалення техніки змінювання структури й параметрів (передач) механічна трансмісія знову почала привертати до себе все більшу й більшу увагу.

Віддавна визнано неспростовною необхідністю кероване неперервне й навіть кероване плавне пересилання механічної енергії через трансмісію автомобіля — зокрема й у періоди перемикання передач [8]. Сучасні автоматизовані механічні скриньки передач можуть перебрати на себе вагомий в цьому сенсі здобутки автоматичних гідродинамічних трансмісій.

На початку періоду широкого використання гідромеханічних передач (ГМП) простежувалась тенденція цілком замінити звичну скриньку передач машини одним-єдиним гідродинамічним трансформатором. З цією метою почали застосовувати багатокісні гідротрансформатори. Та згодом розвиток ГМП пішов шляхом спрощення їх конструкції і тепер зазвичай застосовують трикісні гідротрансформатори в поєднанні із сходячою механічною скринькою передач.

Гідродинамічному трансформатору (ГДТ) властиві низький коефіцієнт корисної дії та ще й тяга на стопових режимах, що провокує так зва-

ну повзучість автомобіля. Аби підвищити ККД і позбутись ефекту повзучості, запропонували [9] замінити ГДТ двосходинчастою планетарною передачею з ККД 0,98, що вмикається чи блокується фрикційними муфтами на всіх ступенях скриньки передач. Планетарна передача має працювати як дільник між сусідніми ступенями скриньки передач, а тому її передатне відношення доцільно задавати в межах 1,27...1,4. Принагідно зауважмо, що, взагалі кажучи, гідродинамічна муфта та гідродинамічний трансформатор мають свої механічні аналоги [10].

Над удосконаленням автоматизованих мехатронних систем наполегливо працюють дослідницькі центри провідних світових автомобілебудівних концернів і спеціалізовані фірми, серед яких Friedrichshafen AG (Німеччина), Daimler-Chrysler (Німеччина-США), Volvo (Швеція), Scania (Швеція), ZF Eaton (США)... Автоматичні (автоматизовані) механічні скриньки передач ZF AS-Tronic, Iveco Euro Tronic automated, Mercedes Telligent, Scania Opticruise, Volvo I-Shift, Volvo Geartronic, Eaton Fuller Auto/UltraShift серійно встановлюються на вантажівки, автобуси й автопоїзди, суттєво покращуючи їхні тяговошвидкісні й енергоощадні властивості. Від концерну Daimler-Chrysler AG (Німеччина-США) відомо: розробка електронно-діагностичної системи Telligent дозволила на 37 % підвищити паливну оощадність вантажних автомобілів Mercedes Benz ACTROS, зменшити зношуваність силового агрегату і значно знизити витрати на обслуговування й ремонт, що пояснюється помітно вищим ККД механічних трансмісій, впровадженням оптимальних законів і алгоритмів перемикання передач.

Керування трансмісією з «фіксованою точкою перемикання». Однією з найперших була автоматична система керування трансмісією з «фіксованою точкою перемикання», у якій мить перемикання задавалась незалежно від положення h акселератора тільки швидкістю ω_e обертання вала двигуна (можливо навіть однією і тією ж для всіх передач). Для запобігання прояву циклічності значення швидкості обертання вала двигуна, відповідні митям перемикання передач з нижчої на вищу ω_e^+ і, навпаки, з вищої на нижчу ω_e^- , мали б не збігатися — гістереза закону перемикань (гістереза за швидкістю v руху автомобіля позначена як Δv ; ω_{em} — максимальна допустима швидкість обертання вала двигуна), рис. 1. Очевидно, що система керування провокує двигун працювати зі значними швидкостями обертання вала, а отже — на режимах, яким переважно не властива енергоощадність.

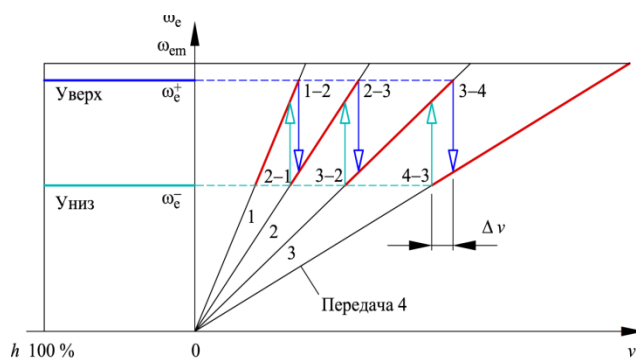


Рисунок 1 — Примітивна характеристика перемикання передач в механічній трансмісії

Систему удосконалювали, передбачаючи, приміром, додаткові особливі перемикання Back-off (сповільнення) Step-through (перескакування, через крок). Та зрештою, дійшли висновку, що задаючи миті (формуючи закон) перемикання передач, слід орієнтуватися ще й на положення акселератора. Спрощено це ілюструє рис. 2: миті перемикання «Уверх» (на вищу передачу) й «Униз» (на нижчу передачу) визначаються точками на відповідних негоризонтальних прямих (а можливо й на кривих лініях) $h - \omega_e$. На рис. 2а штрихуванням виділено площу Γ , що її охоплює одна з петель гістерези (яка скерована за годинниковою стрілкою).

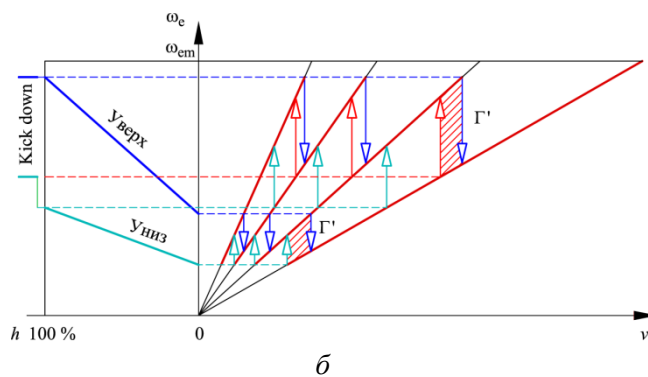
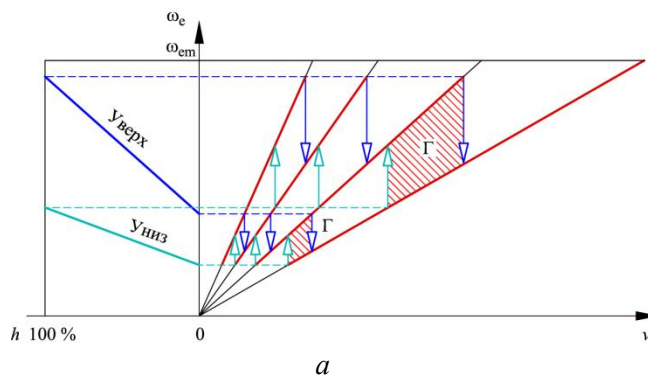


Рисунок 2 — Прості двопараметричні характеристики перемикання передач

У разі руху угору крутим узвозом чи обгони іншого автомобіля деколи потрібно використати всю наявну потужність. Через необхідність перемкнутися на нижчу передачу (див. рис. 2а) доведеться суттєво зменшити швидкість обертання вала двигуна, а відтак і швидкість руху автомобіля, втрачаючи доступ до повної потужності. Ситуацію можна виправити, вдаючись до режиму штибу Kick down, рис. 2б: у разі переміщення акселератора до упору, спрацьовує пристрій, що надсилає команду саме на вмикання нижчої передачі, усуваючи в певній мірі гістерезу до якогось прийнятного рівня Γ' .

Характеристику перемикання можна змінити так, рис. 3, щоби різниця між кутовими швидкостями, відповідними перемиканням вниз і перемиканням вверх, зменшувалась із переміщенням акселератора. Зменшення гістерези перемикань (за годинниковою стрілкою) в області значних переміщень акселератора (значних навантажень) сприяє збільшенню продуктивності автомобіля, а її зростання (проти годинникової стрілки) в області малих переміщень акселератора (малих навантажень) запобігає надмірному частому перемиканням передач у разі відносно повільного руху автомобіля в умовах міста чи передмістя. Як задекларовано, приміром, в [11], слід: 1) обов'язково вирізняти робочі режими з великими швидкостями обертання вала двигуна, а відтак з великими витратами пального, та режими часткового навантаження двигуна, тобто з неповним використанням наявної потужності; 2) зважати на те, що у разі надання переваги енергоощадності доведеться змиритися з частішими перемиканнями передач, звідки впливає вимога удосконалення власне самого процесу перемикання.

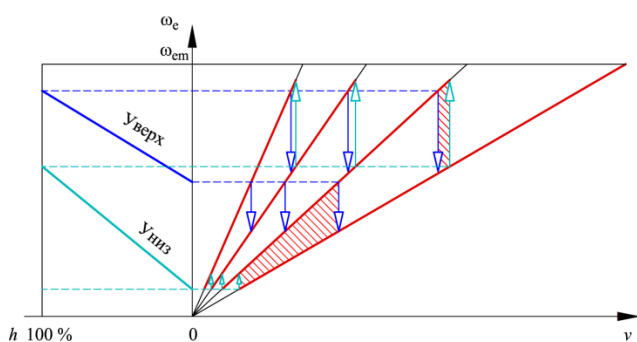


Рисунок 3 — Двопараметрична характеристика перемикання передач зі збіжними лініями перемикання

Описана ідея занадто примітивна, аби задовольнити сучасні об'єктивно нескромні потреби автоматизації автомобіля, через що припинила своє просування у майбутнє. Але можна стверджувати, що таким чином утвердилася певна парадигма теорії автоматичного керування авто-

мобілем. Та за бажання її нове втілення можна помітити також і в пізніших тенденціях формування законів перемикання передач, зокрема в автоматичних трансмісіях.

Мапа перемикань. Одним з найцікавіших доведених до серійного втілення кроків на шляху цілковитої автоматизації приводу автомобіля була розробка електронної системи Bosch керування гідромеханічною автомобільною чотириступеневою трансмісією 4HP22 з блокованим гідродинамічним трансформатором фірми ZF [12]. Система керування трансмісією виникла унаслідок розширення функцій мікропроцесорної системи Bosch Motronic, покликаної спочатку лише керувати впрорскуванням пального та запалюванням пальної суміші. Додатково ж на цю систему було покладено функції оптимального добору й автоматичного перемикання передач, блокування гідродинамічного трансформатора на 3-й і 4-й передачах (що також можна тлумачити як вмикання-вимикання ще двох додаткових передач) та керування якістю (плавністю) зміни передач.

Повчальним тут є те, що автомобільні мікропроцесорні системи будь-якого призначення можна вмотивовано примусити «поглинати» додаткові функції, раціонально трансформуючи їх в інтегральні системи керування автомобілем загалом.

Перемикання передач система могла здійснювати за бажанням водія відповідно до однієї з трьох програм — динамічної автоматичної, енергоощадної автоматичної та з ручним добором передач. Ручне перемикання передбачалося застосовувати, зокрема, взимку і це дозволяло автомобілю рушати навіть на третій передачі. Отож, в системі перемикання збережено механічний тросовий привід селектора ручного керування.

Впадає у вічі ніби цілком вмотивований факт протиставлення, визнання несумісності, вимог динамічності, енергоощадності, надійності в звичайних умовах руху та ефективності в особливих умовах.

Найскладнішою було визнано так звану задачу забезпечення плавності перемикання передач в сходи частій трансмісії. У разі перемикання з нижчої передачі на вищу і з вищої на нижчу застосовані як різні закони, так і різні «алгоритми плавності». Варто наголосити на тому, що керування плавною зміною передач здійснювалось одночасною зміною тиску робочої рідини у робочому циліндрі фрикціону, що вмикає нову передачу, та обертового моменту двигуна.

Власне й привертає особливу увагу те, що в системі автоматичного керування втілено принцип активного керування синхронізацією обертових елементів трансмісії за участю двигуна.

Таким чином було суто «матеріально» доведено можливість електронними засобами сут-

тево підвищити плавність перемикання передач в сходячій трансмісії, досягнути зменшення тривалості буксування фрикційних елементів (пристроїв) керування та підвищення їх довговічності, а також зменшення витрати пального на 3...4 %. А водночас, отриманий досвід став вагомим доказом доцільності розглядати проблему синтезу системи автоматичного перемикання передач як малої підсистеми великої інтегральної системи керування загалом автомобілем. При цьому задача оптимального добору моментів перемикання передач повинна обов'язково розглядатися разом із задачею забезпечення плавності перемикання.

Отож, віддавна методологія синтезу систем автоматичного керування трансмісією автомобіля охоплювала доволі широке поле супутніх оптимізаційних задач. Але разом з тим, не вдалося розробити єдиної теорії синтезу оптимальних систем. Та й тлумачення змісту окремих задач досі залишається непрозорим та внутрішньо суперечливим.

Задекларований в [12] принцип протиставлення вимог динамічності й енергоощадності підтримано в багатьох інших дослідженнях (див., приміром, [13, ...]). Те, що динамічність й енергоощадність в традиційному розумінні цілком різні речі, ілюструє приклад [12] характеристик електронної системи автоматичного перемикання передач (рис. 4: n_a — частота обертання вихідного вала скриньки передач; навантаження двигуна вимірюється положенням дросельної заслінки; « $i-j$ » — позначення лінії перемикання з передачі i на передачу j ; передбачено форсований динамічний режим «Kick down»). Такого штибу характеристики доречно називати мапами перемикань передач.

Отож система оперує (див. рис. 4) двома незвідними один до іншого різновидами законів перемикання передач — енергоощадними й динамічними. Тенденція на енергоощадність в проектуванні трансмісій намітилась наприкінці 1970-х років. І не можна її пов'язувати з особливою «нафтовою» ситуацією, що склалася в кінці 1978 року. Радше щонайпізніше від часу нафтової кризи 1973...1974 рр. відбулося зміщення акцентів щодо розвитку автомобіля від охорони довкілля, що домінувала в 1960-і роки, у бік енергоощадності.

Легко помітити, що відображена на рис. 4 характеристика є ніби змістовнішою розгорткою характеристик, відображених на рис. 1—3. Такого штибу характеристики називають часто мапами перемикань передач.

Довший час ознакою автоматичності трансмісії автомобіля була наявність в її складі гідро-

динамічного перетворювача механічної енергії — пристрою, як зазначалось, із внутрішнім автоматизмом. Гідродинамічний трансформатор (ГТД) є достатньо ефективним засобом рушення автомобіля та реалізації початкового етапу його розгону. Далі через надмірні втрати енергії гідротрансформатор доцільно заблокувати фрикційною муфтою, і практично все подальше пересування автомобіля здійснювати з заблокованим гідротрансформатором, перемикаючи ступені в механічній скриньці передач. Звісно, гідротрансформатор не дуже придатний виконувати функцію дільника між ступенями скриньки передач.

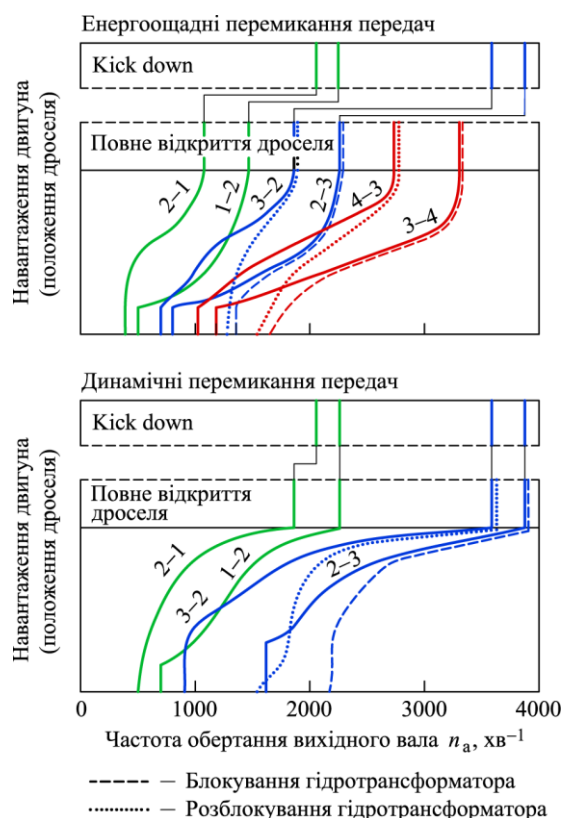


Рисунок 4 — Характеристика системи перемикання передач

Тож тривалість роботи гідротрансформатора запрограмовано мала. Та все ж він збагачує структуру трансмісії, і прикро було б цим не скористатись. На рис. 5 (h — положення педалі акселератора, v — швидкість руху автомобіля) відображено ситуацію реагування автоматичної трансмісії (штибу Tiptronic) на різку (а загалом — не обов'язково різку) зміну водієм положення педалі акселератора, унаслідок чого режим R_0 руху на вищій (для прикладу — п'ятій) передачі змінюється на режим R_1 , якому автомат не має підстав запропонувати суміжну нижчу (для прикладу — четверту) передачу, та замість неї він пропонує ту саму п'яту, але розблоковуючи ГТД.

Тож додатково до основних передач, що існують в механічному редукторі, гідротрансфор-

матор у разі розмикання муфти блокування створює проміжні передатні сходинок. Внаслідок цього автомобіль стає динамічнішим. Зауважмо, закони перемикавання структури трансмісії тут також відображаються у формі мапи перемикань.

Проблема об'єктивного критерію оптимальності. Проблема вибору/конструювання об'єктивного критерію оптимальності вирінає кожного разу, коли заходить мова про хоч яке удосконалення автомобіля. Часто переконують, що прагнучи віднайти об'єктивно оптимальні конструктивні параметри і синтезувати об'єктивно оптимальні характеристики хоч якого об'єкту слід брати до уваги якомога більше (часткових) критеріїв оптимальності. Чим більшою кількістю (часткових) критеріїв буде можливість оперувати, тим з більшою достовірністю можна буде оцінити потенційну досконалість проєктованого чи реальну досконалість експлуатованого об'єкту. На багатокритерійність покладаються, приміром, у разі порівняльного аналізу й оцінювання технічного рівня промислової продукції [14—17]. Але ще жодного разу не вдалося побудувати несуперечливий алгоритм оперування ніби векторним критерієм в рамках проблеми оптимізації властивостей автомобіля.

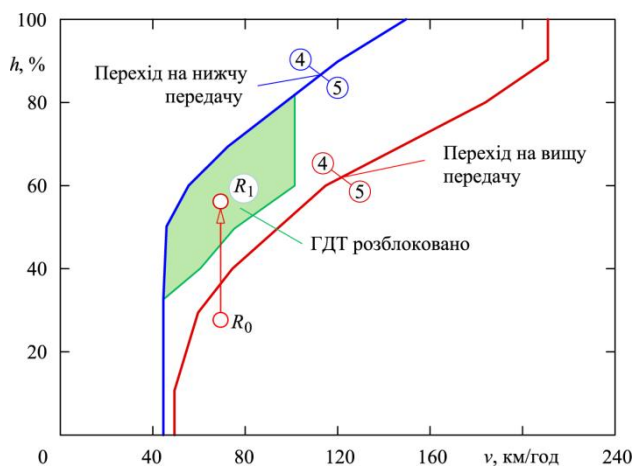


Рисунок 5 — Приклад формування проміжної передачі унаслідок розблокування ГДТ в автоматичній трансмісії

Надзвичайно актуальною завжди була проблема оцінювання/вимірювання енергоефективності автомобіля. Якщо в деяких дослідженнях перевага надавалася більше прямим методам оцінювання/вимірювання, то, приміром, в [18, 19] залучають для цього штучний вимірник: за критерій енергоефективності запропоновано використовувати так званий коефіцієнт енергоефективності, що поєднує в собі, знову ж, так звані коефіцієнт навантаження і коефіцієнт витрати палива і дає змогу оцінити відношення

здійсненої автомобілем корисної роботи до витрати палива в заданих умовах руху.

Вимірникам енергоефективності приділено, взагалі кажучи, дуже багато уваги. Дуже часто цей вимірник трактують як виразник ККД автомобіля [20, 21].

В [22, 23] для порівнювання «погано порівнюваних», взагалі кажучи, процесів керування трансмісією використано такі вимірники: тривалість і середню швидкість долання ділянки дороги, кількість перемикань передач, швидкість машини в кінці ділянки дороги, витрату пального, а за основний, ніби комплексний, — так звану питому продуктивність автомобіля

$$W_{pt} = \frac{m_{vn} V_{sr}}{Q_s},$$

де m_{vn} — маса вантажу; V_{sr} — середня швидкість пересування; Q_s — середня шляхова витрата пального. Виявилось, що на підйомі дороги довжиною 900 м кваліфікований водій за питомою продуктивністю переграм автомат, завершивши рух на цій ділянці дороги швидше і з більшими середньою та кінцевою швидкостями, витративши більше пального, здійснивши меншу кількість перемикань передач. Тож можна вважати, що ергамат став взірцем для автомата. В [24] замість Q_s беруть натомість середню часову витрату пального Q_T . Все це ознаки розгубленості у виборі критеріїв.

Загалом, визначаючи оптимальні моменти перемикавання передач, методологічно часто доречно розрізняти чотири режими руху автомобіля: розгін, рух із сталими або близькими до сталих, майже сталими швидкостями (з відносно малими прискореннями-сповільненнями), накат і гальмування.

Здається очевидним, що у разі пересування автомобіля зі сталою швидкістю автоматична система керування трансмісією повинна пропонувати автомобілю ту передачу, на якій швидкість Q_i витрачання пального двигуном є найменшою. У разі накату й робочого гальмування система майже безчасна (не йдеться про гідродинамічну трансмісію).

Цілком іншим має бути ставлення до розгінних та гальмівних режимів пересування автомобілів. Зокрема, екстремальні програми розгону та гальмування мобільної машини — це еталони, які можна втілити тільки у разі достатніх потужностей двигуна та гальмової системи, а також за умови оптимального керування цими потужностями [25]. Інформація про ці режими пересування автомобіля стає в нагоді у разі визначення-обґрунтування оптимальних (раціональних) параметрів та характеристик двигуна, трансмісії,

колісного рушія, гальмової системи. До найважливіших параметрів і характеристик двигуна, скажімо, слід віднести номінальну потужність, максимальний обертовий момент, номінальну частоту обертання вала, зовнішні тягову й гальмівну характеристики, енергоперетворювальну характеристику. Властивості трансмісії визначають, перш за все, передатні відношення й закони керування ними — у разі ступеневої скриньки передач, навантажувальна та перетворювальна (трансформаторна) характеристики — у разі варіатора. Властивості гальмової системи залежать від характеристик і параметрів гальмових механізмів та алгоритму роботи ABS, а також у деякій мірі — від властивостей системи ASR. Характеристики «крип-зчеплення» визначають властивості колісного рушія. Тож користь від використання інформації про потенційні динамічні властивості автомобіля може бути багатогранною. А ще, якщо розгінною стає не перша (нижча) передача в ступеневій трансмісії, то виникають підстави вважати це доказом нецілковитої відповідності двигуна й трансмісії [26].

Тож один з найдієвіших напрямів підвищення енергетичної ефективності транспортних машин — це оптимізація процесу розгону, який, як засвідчують спостереження, в насиченому перешкодами міському режимі пересування складають навіть 35...45 % від загальної тривалості перебування машини в корисному русі. Проблема енергетичної ефективності безпосередньо пов'язана з тенденцією автоматизації трансмісій машин, зокрема механічних ступеневих, з метою підвищення/покращення зручності керування, комфортабельності, паливної ощадності, прохідності, тягово-швидкісних властивостей, надійності та інших експлуатаційних властивостей машини [27, 28].

Здебільшого сходяться на тому, що динамічність розгону слід було б оцінювати тривалістю T_r і шляхом S_r розгону. Та виявляється [28—30], за допомогою тільки цих критеріїв бездоганно «виміряти» динамічність розгону неможливо. Натомість в [27] поставлено під сумнів твердження, що «два показники — тривалість T_r і шлях S_r розгону — не дають однозначної оцінки» динамічності розгону автомобіля до швидкості V_r . Та насправді оперування критеріями $T_r(V_r)$ і $S_r(V_r)$ дуже часто веде до неоднозначних оцінок динамічності розгону автомобіля, і саме змістовно вмотивована згортка

$$d_r = T_r - \frac{S_r}{V_r}$$

цих критеріїв наводить лад в оцінках [29—31].

Формально можна також ідентифікувати такі особливі швидкості пересування автомобіля, які впливають з балансу сил як потенційно можливі, але досягнути яких реально не вдається: процес набуття автомобілем цих особливих швидкостей мав би тривати нескінченно довго і здійснюватись на нескінченно довгому шляху, а тому параметри такого процесу розгону автомобіля не підвладні прямому вимірюванню і оцінюванню. Тож якщо різні автомобілі (автомобілі з помітно різними параметрами й характеристиками) мають однакові особливі швидкості, то здається, що розпізнати іманентно динамічніший з них принципово не можливо. Цей висновок вірний доти, поки за інструментарій оцінювання динамічності автомобіля правлять традиційні вимірники. Але, виявляється, примітивні вимірники розгону можна згорнути в один-єдиний критерій динамічності, який набуває тільки скінчених значень — навіть у разі, коли пришвидшення автомобіля в кінці процесу розгону прямує до нуля [32].

Тож хоч як «важко погодитись», та все ж реальність важить багато...

Інколи за оцінку розгінних потенцій автомобіля пропонують використовувати комбінацію параметрів, що характеризують швидкісні й потужнісні властивості машини. Наприклад, в [33] за такого штибу критерій беруть відношення максимального прискорення машини до максимальної потужності її двигуна. Максимальне ж прискорення машини досягне на розгінній (зазвичай першій чи другій, а інколи ще вищій) передачі. Натомість максимальна потужність двигуна опосередковано оцінює/визначає швидкісні потенції машини (зазвичай на вищій передачі). А от що в змістовному сенсі характеризує відношення цих величин, важко збагнути.

Істотніші суперечності є у дослідників щодо об'єктивності вимірників паливної ощадності процесу розгону. Природним показником енергоощадності є, звісно, витрата палива за період розгону Q_r . Розгін можна трактувати як процес досягнення заданої більшої швидкості V_r чи додання заданого шляху S_r з прискоренням.

Та все ж існують спроби обґрунтувати ефективність також і похідних критеріїв, що комбінують в собі чотири первинні показники: швидкість в кінці розгону V_r , тривалість розгону T_r , шлях розгону S_r , енерговитратність розгону Q_r ; частіше величина V_r править за критерій порівнюваності розгонів (та таку роль може виконувати чи величина T_r , чи величина S_r). Приміром, часом дорожать такими компромісними критеріями як «шляхова витрата пального

Q_r / S_r », «середня ефективна швидкість S_r / T_r », «витрата пального на одиницю середньої швидкості $Q_r / (S_r / T_r) = Q_r T_r / S_r$ » та ще багатьма іншими подібного ґибу [34—36, ...].

На рис. 6 [27] зображено звичні мапи прямих перемикань в механічній чотириступеневій скриньці передач, оптимальні за різними критеріями. Очевидно, що рисунок ілюструє радше не якісь компроміси, а в більшій мірі те, що кожен один критерій заперечує кожен інший. Та саме в роботі [27] наполегливо відстоюється багатокритерійність.

Може здатись, що ефективність трансмісії доречно було б оцінювати, оперуючи ніби дуже привабливим поняттям «коефіцієнт корисної дії (ККД)» автомобіля загалом. До цього, по суті, побіжно закликають багато публікацій. Цей критерій ніби мав би бути об'єктивним вимірником енергоощадності або ж навіть змістовним виразником компромісу між вимогами динамічності та енергоощадності. Та виявляється [37], що неможливо цілком об'єктивно, цілком несуперечливо означити поняття «корисний опір довкілля» чи «корисна робота автомобіля».

Вимушене спотворення оптимальності законів керування. Автоматизація автомобільної трансмісії покликана забезпечити високі тягово-швидкісні та паливно-ощадні властивості колісних машин засобами оптимального керування структурою і параметрами приводу, але уникаючи циклічності, тобто надлишкової чи нераціональної змінюваності його структури й параметрів [38—40, ...].

В [41], до прикладу, так звані базові закони перемикання передач і блокування/розблокування гідродинамічного трансформатора в трансмісійному агрегаті «гідродинамічна передача — муфта зчеплення — вальна скринька передач» синтезовано у формі звичної мапи «швидкість руху v — положення акселератора h », керуючись критерієм максимальної середньої швидкості пересування мобільної машини. Ці закони ефективні, як стверджується, на так званих квазістаціонарних (псевдостаціонарних) режимах руху машини, таких як розгін, гальмування, пересування із сталою швидкістю, коли положення педалі акселератора (h) або взагалі не змінюється, або ж змінюються достатньо повільно. Існують, проте, умови руху, що спонукають до різкого маніпулювання педаллю акселератора і це призводить до зайвих, нераціональних, циклічних перемикань передач. Аби запобігти цьому, вдаються до внесення в базовий алгоритм особливих умов і правил. Приміром, здійснюють гістерезний зсув законів на мапі перемикань, передбачають затримку виконавчих команд,

створюють зони нечутливості (в часі) до помилкових сигналів унаслідок коливних процесів і випадкових дій водія, впроваджують умови для перемикань з пропуском передач, запроваджують тимчасові заборони на керування після фіксації прояву циклічності перемикань, задають кут повороту керма, за якого блокується підвищення ступеня, закладають додаткові умови задля обґрунтованішого підвищення передачі тощо. Все це є спотворенням базових законів керування трансмісією.

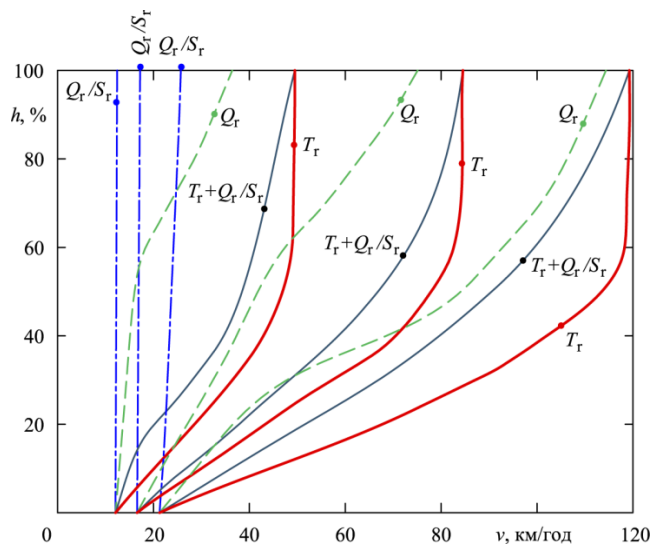


Рисунок 6 — Закони прямих перемикань, оптимальні за різними критеріями

Неважко збагнути, що критерії «середня швидкість пересування» (який треба максимізувати) і «зайві перемикання ступенів» (який слід мінімізувати або усунути) в скриньках передач, що автоматизовано перемикаються без переривання потоку енергії, суттєво суперечать один одному. Швидкі перемикання під навантаженням строго відповідно до умов руху сприяють зростанню швидкості машини. Та не оминати увагою й те, що зайві перемикання з'їдають ресурс трансмісії.

Для дослідження ефективності алгоритмів керування трансмісією за різних обставин і умов пересування колісної машини розроблено навіть метод симулювання періодичних збурень з варіюванням амплітуд, частот і різниці фаз коливнь швидкості й коефіцієнта опору рухові машини та оцінюванням їх наслідків [41]. Метод заснований на тому, аби створити колісній машині ситуації й умови, що з високою вірогідністю спровокують нераціональність і циклічність в діях автоматичної скриньки передач, а потім віднайти технічні засоби запобігання цим негативним явищам. Встановлено, зокрема, що найефективнішим є метод розширення/звуження меж перекриття передач на мапі законів керування. Та загалом не

усувається протиріччя: інтуїтивно відчутно, що «зайві» перемикання таки існують і їх слід було б позбуватись, але, з іншого боку, система керування повинна бути чутливою до обставин і умов руху автомобіля, бо інакше втратить ефективність, запрограмовану критерієм оптимальності.

Тож вважають за доцільне вдатися до адаптування характеристик перемикання. Зокрема, електронні системи керування скринькою передач можуть визначати доцільну мить перемикання за звичною характеристичною лінією на мапі перемикань, але додатково враховувати ще довгу низку якихось даних, що характеризують поточний режим роботи автомобіля і навіть стиль водіння його. Додаткові дані «затуманюють» ухвалення автоматичною системою рішення щодо вибору й перемикання передач. Відтак впливає ніби характеристика перемикання передач, яку саме й називають адаптивною.

Система могла б розпізнавати різні опори рухові — через долання узвозу, буксирування причепа, дії вітру... Блок керування міг би обчислювати силу опору рухові на підставі інформації про швидкість автомобіля, положення акселератора, швидкість обертання вала двигуна, а вже на підставі отриманих результатів визначати оптимальну мить перемикання. Алгоритм визначення миті перемикання, що бере до уваги водночас манеру роботи водія й умови руху автомобіля, вибудовують, приміром, на засадах нечіткої логіки.

Зокрема швидкість, з якою водій натискає на педаль акселератора, може визначати рівень «спортивності» водіння. Цей рівень використовують для добування на основі нечіткої логіки (задуманої невизначеності, нечіткої визначеності) певної миті перемикання передач між миттю перемикання, орієнтованою на економну витрату палива, і миттю, орієнтованою на кращі їздові характеристики автомобіля. Це своєрідний алгоритмічний компроміс, в якому критерії оптимальності фігурують дуже опосередковано, а водій виконує роль експерта.

Зрозуміло, що такий компроміс є спотворенням оптимізаційних зусиль. Напрошується думка: замість того, аби суб'єктивно «розмивати» оптимальність, краще взяти під контроль додатковий параметр, що об'єктивно характеризує режим руху автомобіля і активність водія. За такий параметр доречно взяти прискорення/сповільнення автомобіля.

А ще існує тенденція до «зовнішнього втручання» в керування трансмісією і автомобілем. Фірма BMW, приміром залучила до автоматичного керування автомобільною трансмісією засоби GPS-навігації. Свою версію такого штибу PreVision GPS автоматичного керування із запо-

біганням нераціональним перемиканням передач запропонували в Zahnrad Fabrik. Система блокує непотрібні перемикання на окремих ділянках маршруту, наприклад, перед підйомами, спусками чи поворотами, а також використовує можливість рухатися накатом, підбирає оптимальну передачу. Адаптивний круїз-контроль Scania Active Prediction розжене автопізд перед підйомом і пригальмує перед спуском задля заощадження палива.

Це перші приклади ніби зовнішнього керування автомобілем і його трансмісією з використанням топографічної інформації та паспорту дорожньої мережі.

Але насправді робота системи адаптивного круїз-контролю на законах перемикання передач не повинна б позначатись. Адаптивний круїз-контроль Active Prediction (Scania), скажімо, мав би лише диктувати/пропонувати/прогнозувати бажану/доцільну програму пересування автомобіля. Але ж і дороги мають проектуватись так, аби не обманювались водій і автомобіль.

На військовій, позадорожній, будівельній... машині система керування скринькою передач практично не має потенційних задатків одержувати інформацію безпосередньо про наступну ділянку маршруту. Пересічену місцевість важко занести в навігаційну базу даних на достатньо докладному рівні. Автопілотні системи здебільшого розпізнають своїми камерами тільки особливі для них об'єкти (дорожні знаки, дорожню розмітку, пішоходів, попутний транспорт). Тож залишаються в арсеналі лише превентивні методи боротьби з нераціональними перемиканнями.

У патенті [42] запропоновано алгоритм керування трансмісією з корекцією моментів перемикання методом послідовного наближення до оптимальних для конкретних поточних умов. Алгоритм адаптації починає діяти тільки у разі появи циклічності після максимального натиснення на педаль акселератора. Після першого циклу перемикань « $i \rightarrow i+1 \rightarrow i$ » (нижча i -а передача — вища $(i+1)$ -а — знову нижча i -а) здійснюється зсув точки O перемикання на положення 4-го рівня (рис. 7: P_k — потужність на колесі, v — швидкість колісної машини). Потім оцінюється придатність цієї корекції за показами двох лічильників: кількості успішних і кількості неуспішних перемикань. У разі повторення циклічності точка перемикання зміщується ще далі, до рівня 3, знов повторюється оцінка придатності рівня і так знову-знову, доки повністю не зникне циклічність, або не відбудеться перехід на нижчу за i -у передачу або ж на вищу за $(i+1)$ -у. Діапазон швидкостей гістерези розбивається на декілька

рівнів (від 0 до 4), які розмежовуються співвідношеннями кількості успішних і неуспішних перемикачів. Таким чином, алгоритм плавно адаптується під зміну умов. На відміну від роботи [39] примусового забуття нового налаштування не передбачено, закон керування змінюється тільки у разі втрати його «успішності», тобто у міру накопичення кількості перемикачів.

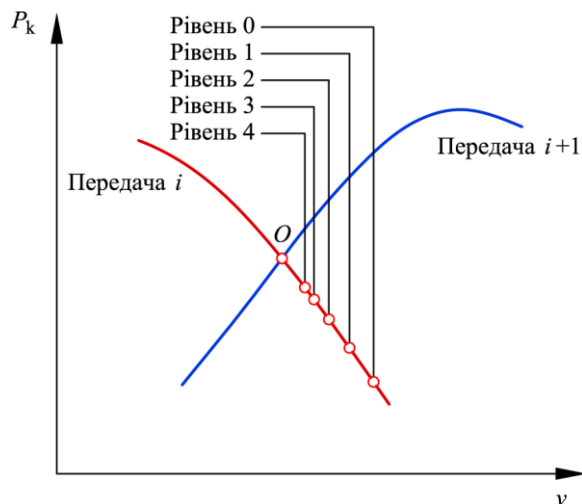


Рисунок 7 — Адаптивне зміщення точок перемикачів передач відповідно до [42]

У патенті [43] запропоновано метод боротьби з циклічністю, заснований на обчисленні ймовірності зворотного перемикачів передач. Ця ймовірність є нечітким добутком функцій відповідності прогнозованого прискорення на наступній передачі і поточного опору рухові мобільної машини.

Патент [44] закликає точки перемикачів на вищу передачу коректувати на основі інформації про різницю прискорень до і після перемикачів. Оптимальним моментом перемикачів вважається той, після якого потужність на колесах після перемикачів стає трохи більшою, ніж до перемикачів. Цей принцип визнає задекларовану в [45] сентенцію про доцільність зміщення точки перемикачів вправо відносно точки перетину кривих прискорень.

У [46] запропоновано переналаштовувати точки перемикачів у процесі командного режиму керування трансмісією — проводячи, так би мовити, «навчання алгоритму» водієм. Метод ефективний, щоправда, тільки у разі тривалої роботи машини в однотипних умовах; якщо ж умови помітно змінюються, налаштування доведеться проводити заново-наново.

Відповідно до настанов патенту [47] у разі прояву циклічності після перемикачів « $i \rightarrow i + 1$ » на режимі неповного витиснення педалі акселератора алгоритм повинен переходити на точки перемикачів, відповідні повній подачі палива, доти, поки не відбудеться перемикачів на ще

вищу передачу (« $i + 1 \rightarrow i + 2$ ») або на нижчу передачу « $i \rightarrow i - 1$ ». Відтак автоматична скринька передач у разі перемикачів « $i \rightarrow i + 1$ » тимчасово перестає реагувати безпосередньо на параметр «положення педалі акселератора». Зрозуміло, описаний щойно метод є спрощеним варіантом методу розширення меж законів керування (див. [39]). Такого штибу адаптація алгоритмів керування добре підходить до умов, коли циклічність виникає внаслідок тягових обмежень — вона надає пріоритет нижчим передачам. В умовах поза тяговими обмеженнями швидкості, наприклад, на асфальтовій дорозі поганої якості, такий алгоритм провокуватиме надмірну витрату палива. По суті, метод не передбачає можливість усувати циклічність у випадку стабільно максимально натиснутої педалі акселератора.

Причиною циклічності може стати також проходження автомобілем поворотів дороги: перед поворотом подачу палива знижують, через що автоматична скринька передач може «здогадатись» перекинутися вгору, а на виході з повороту — знову на попередній нижчий ступінь через збільшення подачі палива. Тож на звивистій дорозі може відбутися велика кількість зайвих перемикачів. Перед поворотом переміщення h акселератора зменшується не швидко, і відповідно, застосовуване часом блокування підвищення передачі у відповідь на швидке зменшення h не спрацьовує. У патенті [48] для запобігання такій циклічності пропонують обліковувати в алгоритмі коефіцієнт «звивистості дороги» $b \cdot db / dt$, де b — бокове пришвидшення машини. Запобігання циклічності буде ефективним, якщо маршрут міститиме не менш двох поворотів на невеликій дистанції.

Пропонують також формувати закон перемикачів передач з урахуванням поточних маси й опору рухові колісної машини. Маса й опір обчислюються за звичними рівняннями руху колісної машини після підстановки в них фіксованих датчиками значень швидкостей обертання валів автоматизованої скриньки передач. Додатково запропоновано ще й метод коректування законів керування, що обліковує початкове й набутое в експлуатації відхилення характеристик двигуна від номінальних.

Окремого ставлення/оцінювання потребує методологія синтезу алгоритмів керування на засадах нечіткої логіки, генетичних алгоритмів, теорії нейронних мереж, експертних систем, технології асоціативної пам'яті. Особливістю такої методології є використання нечітких, розмитих, таких, що важко піддаються строгому математичному опису, даних. Алгоритми на основі словесної неформалізованої чи погано формалізованої логіки не можуть забезпечити справді оптимальне керування через надто вже наближений опис

початкових даних і наявність суб'єктивного «експертного» («людського») чинника. Проте відомо, що багато хто з провідних виробників автоматичних трансмісій застосовують у своїх контролерах саме нечітку логіку [40]. Якщо спробувати перелічити всі можливі дорожні ситуації і взяти до уваги всі з необхідністю контрольовані алгоритмічні параметри, то стає очевидним, що апарат нечіткої логіки — поки єдиний інструмент, що дозволяє за прийнятно короткий час створити алгоритм, пристосований до всього складного різноманіття дорожніх умов. Разом з тим слід пам'ятати, що такого штибу алгоритми — це доказ наукової і інженерної безпорадності, якої завжди хоч якось слід соромитися.

Найефективнішим засобом боротьби з нераціональними перемиканнями могло б бути використання топографічно поінформованих навігаційних систем. Та завжди, як вважають, залишатиметься актуальною проблема адаптації законів управління автоматичних трансмісій під змінні зовнішні умови руху за відсутності прямої інформації про майбутній маршрут.

За винятком хіба що патенту [49], присвяченому різким скиданням/натисненням педалі акселератора, ніде не береться до уваги «динаміка» зміни умов руху колісної машини. Не вивчають питання вибору точок перемикань з вищих на нижчі передачі з урахуванням падіння швидкості при перемиканні.

Практично не вивчалось питання оптимального перемикання передач «через одну». Це могло б бути актуальним для автоматичних скриньок передач з гідродинамічним трансформатором. Щоправда, існує патент концерну Jaguar-Land Rover [50], заклик якого в тому, аби підбирати карти перемикань під кожну модель машини шляхом випробувань.

Методологія синтезу алгоритмів керування автоматичними скриньками передач та оптимальної їх адаптації, як виявляється, вимушено загалом оперує не менше як кількома десятками параметрів, що дають змогу розпізнавати доцільну мить перемикання передач. Тож питання, як експериментально хоч в першому наближенні ідентифікувати принципові особливості оптимальних алгоритмів керування трансмісією на початкових стадіях їх розробки, залишається нерозв'язним.

Вважають також [51], що причиною циклічних перемикань передач між нижчою/вищою/вищою-нижчою в короткі періоди натискання чи відпускання водієм педалі подачі палива є інерційність вузлів трансмісії зокрема й машини загалом. Для запобігання такого штибу циклічним перемиканням в алгоритмі керування гідромеханічною скринькою передач запрограмовано оперування вимірниками переміщення педалі подачі палива та напряму цього переми-

щення, а також вимірниками прискорення вихідного вала коробки передач і напряму цього прискорення.

Об'єктивно оптимальні закони перемикання передач. Але існує й цілком інше тлумачення оптимальності законів перемикання передач [29, 52, 53]: у разі реалізації обраної водієм програми руху автомобіля може йтися тільки про енергоощадність, а от вимога динамічності — це вже «втручання» в дії водія, «обмеження» свободи вибору, зменшення рівня керованості в системі «водій — автомобіль». Таке тлумачення сенсу автоматизації трансмісії має тверде теоретичне підґрунтя (див., приміром, [29, 54—56]). «Динамічність» має підстави для існування хіба що як вимірник чутливості автомобіля до дій водія.

Майже завжди задачу забезпечення плавності перемикання передач розглядають поза основною мотивацією процесу оптимізації законів перемикання передач. Вважають, що плавність перемикання — це лише запорука комфортності та запобігання шкідливих динамічних навантажень в трансмісії. Насправді ж синхронізація обертання елементів трансмісії за участю двигуна безпосередньо пов'язана з пересиланням енергії до рушіїв автомобіля і точністю відтворювання бажаної програми його руху [57]. А тому ефективність синхронізації має оцінюватись за тими самими критеріями, що й раціональність доброї передачі. Цікаво, що в процесі активного (за участю двигуна) керування синхронізацією трансмісія автомобіля перетворюється на варіатор, який хоча й розвіює енергію у формі тепла, проте дозволяє двигуну довше працювати на енергетично ошадливіших режимах.

Отож, оптимізацію законів перемикання передач завжди є сенс провадити лише за критерієм енергоощадності. При цьому організація процесу переходу з однієї передачі на іншу має бути підпорядкована також суто вимогам енергоощадності, а не якимось вимогам плавності, що навіть не піддаються чіткій формалізації. А в такому разі особливої ваги набувають алгоритми керування двигуном внутрішнього згоряння в процесі перемикання передач в трансмісії автомобіля (в процесі буксування фрикціонів).

Хай двигун внутрішнього згоряння працює на якомусь режимі R , рис. 8: $P_e = M_e \omega_e$ — потужність; M_e — обертовий момент; ω_e — швидкість обертання вала двигуна; Q_t — швидкість витрачання пального; ЗПХ — зовнішня (тягова) швидкісна характеристика; ОПХ — оптимальних режимів характеристика, що ідентифікує режими мінімальної питомої витрати пального $g_e = Q_t / P_e$; режим R відображено однойменною точкою з координатами $M_e = M_{e0}$, $\omega_e = \omega_{e0}$

та параметром $Q_t = Q_{t0}$. І хай потрібно з'ясувати чи доцільно перемкнуту трансмісію на суміжну нижчу передачу, ККД якої дещо нижчий за ККД поточної передачі.

Ігноруватимемо інерцію двигуна та сполучених безпосередньо з ним частин трансмісії. Це аніскільки не спотворює суті проблеми синтезу законів керування трансмісією, а навпаки, робить прозорішим розуміння сенсу оптимального суміщення режимів роботи двигуна й трансмісії. В такому разі, зокрема, перемикання передач «можна здійснити» миттєво, і новий режим роботи двигуна на заданій новій передачі за незмінної програми руху автомобіля відобразатиме точка R' (режимний перехід відображає вектор, що виринає з заданого режиму і вістря якого впирається в новий режим). Очевидно, див. рис. 8, що унаслідок перемикання передач з заданої вищої на задану нижчу швидкість витрати пального зростає: $Q_t(R') > Q_t(R) = Q_{t0}$. А отже перемикання передач не доцільне. Можна перевірити подібним чином доцільність перемикання трансмісії на нижчу передачу у разі роботи двигуна на будь-якому іншому режимі за заданої швидкості обертання вала двигуна $\omega_e = \omega_{e0}$ (нові режими розташовуватимуться на прямій $n'-n'$) чи будь-якому іншому режимі за заданого обертового моменту $M_e = M_{e0}$ (нові режими розташовуватимуться на прямій $m'-m'$).

Ситуація може цілком змінитися, коли доведеться оцінювати доцільність перемикання передач із заданої раніше нижчої на задану ж раніше вищу: у разі швидкості обертання вала двигуна, примовом, $\omega_e = \omega_{e0}$ нові режими розташовуватимуться на прямій $n''-n''$) а у разі обертового моменту, скажімо, $M_e = M_{e0}$ нові режими розташовуватимуться на прямій $m''-m''$. Цього разу (як впливає з рис. 8) перемикання передач на вищу є здебільшого енергетично вигідним (якщо, звісно, новий потенційний режим роботи двигуна належатиме множині можливих). Режиму R , зокрема, буде протиставлений новий, без сумніву, енергоощадніший режим R'' , оскільки справджується умова

$$Q_t(R'') < Q_t(R) = Q_{t0}.$$

Очевидно, що логіка щойно викладених міркувань аж ніяк не спонукає до унаочнення оптимального (чи взагалі хоч-якого об'єктивно вмотивованого) закону перемикання передач в сходячистій трансмісії автомобіля засобами так званої мапи перемикань. Навпаки, мапа перемикань — це засіб радше хибної примітивізації проблеми синтезу оптимальних законів керування системою «двигун — трансмісія — автомобіль».

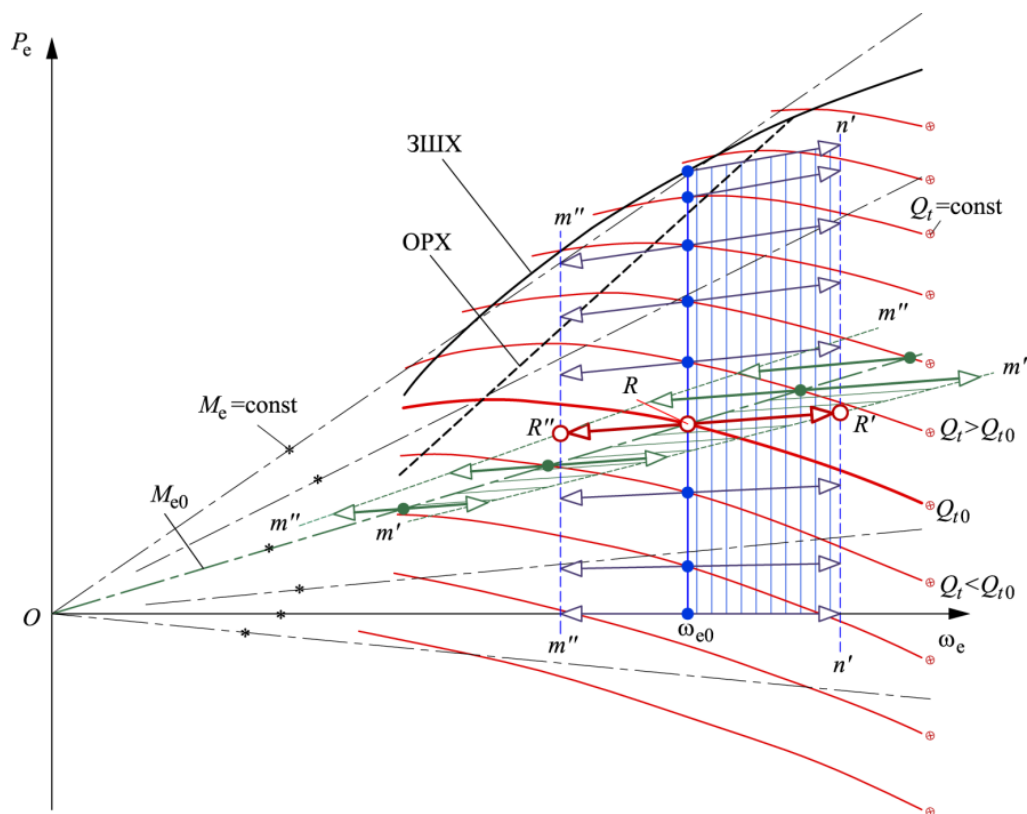


Рисунок 8 – Зміна тягових режимів роботи двигуна внутрішнього згорання унаслідок перемикання передач

Легко бачити, що нема жодної потреби синтезувати надумані критерії оптимальності, вибудувати якісь суб'єктивні компроміси, вишуквати суб'єктивно оптимальні лінії перемикаць передач, а потім їх роздвоювати на дві — прямого і зворотного перемикаць... Циклічність як така загалом відступає на задній план, оскільки ймовірність її настання стає помітно меншою. Та й прояв циклічності за такого бачення оптимальних законів перемикаць передач потребує ретельного вивчення на цілком інших засадах.

Резюме. З викладеного випливає, що закони перемикаць передач майже завжди трансформують у ніби дуже наочні й відносно легко програмовані в контролері так звані мапи перемикаць. Але виникають клопоти з приводу невизначеності розуміння оптимальності. Оминати їх намагаються, або пропонуючи водієві самому пробувати орієнтуватись у технічно закладених можливостях багатопрограмного автоматизованого чи автоматичного керування трансмісією, або ж на власний розсуд закладаючи у систему керування якийсь програмний компроміс, який часто не розкривають. Відтак в систему автоматичного керування хоч так, хоч так вимушено привноситься свідомий, ніби цілком вмотивований суб'єктивізм. І досі нема теорії, яка запропонувала б у певному сенсі неспростовний компроміс.

Виявляється, поряд з, можна казати, не дуже об'єктивною оптимальністю законів перемикаць передач проявляє себе ще й так звана циклічність перемикаць, тобто надлишкова чи нераціональна змінюваність структури й параметрів трансмісії, яку критерій оптимальності не здатен був заблокувати. Борючись з цим явищем, оптимальні закони свідомо суттєво спотворюють, нівелюють. В такому разі, для чого було домагатись оптимальності? Для чого треба було створювати точні моделі автомобіля, вишукувати сенс досконалості трансмісії? Може існують важливіші за динамічність, енергоощадність... суто технічні чинники, що визначають корисність трансмісії? Може слід перебачити штучний хаос в системі керування, програмуючи несистематичні похибки в роботі контролера? Звісно, на ці запитання доречно шукати обґрунтовані відповіді заперечного змісту.

Якщо дві парадигми якимось існують поруч (співіснують ніби як об'єктивні), то без сумніву, все, з чим дозволила зазізнатись одна з них є цілковито хибним. А хибною, як виглядає, є саме традиційна парадигма, яка спирається на оперування так званою мапою перемикаць. Через це довгий час в теорії автоматичного керування системою «двигун — трансмісія — автомобіль» існувала неоднозначність у розумінні оптимального керування трансмісією автомобільної ма-

шини. В ідеальному (взірцевому) випадку перемикаць передач не повинно б впливати на обрану водієм програму пересування автомобіля. І ця сентенція стає засадничою, ключовою у формуванні справді об'єктивних засад для синтезу оптимальних законів керування автомобільною трансмісією.

Література:

1. Shifting Along nicely // International journal of Applied pneumatics. — 1987. — Vol. 1, № 87. — P. 104—110.
2. Willams F. A mechanical torque converter, and its use as an automobile transmission / F. Willams, D. Nipping. // Pros. Inst. Mech. Engrs. — 1976. - Vol. 190, № 32. — P. 447—456.
3. Die Konigsklasse im Test // Top agrar. — 1997. — № 11. — pp. 60—75.
4. Sechs Fabrricate im Doppeltest // Top agrar. — 1998. — № 12. — P. 71—78.
5. Muller F. New future-oriented tractor transmission ZF. International off-Highway / Franz Muller, Hubert Sailer // SAE Techn. Pap. Ser. — 1993. — 13 p.
6. Жанахутдинов Б. Г. Исследование потерь энергии в тракторных трансмиссиях при переключении передач : дис. канд. техн. наук : 05.05.03 / Б. Г. Жанахутдинов. — Москва, 1980. — 159 с.
7. Larsen H. Automatgear i lastvogne / H. Larsen, H. Carlsen // Lyngby, Danmark. Danmarks tekniske Hojskole, Laboratoriet for energiteknik, DTH Raport, 1975, VIII. — 73 p.
8. Harmon K. Shift modulation of «Allison» automatic and power shift transmissions / K. Harmon, R. Schaefer // SAE Preprint - 1973. -N 730839. — 11 p.
9. Румянцев Л. А. Автоматическая механическая коробка передач, переключаемая под нагрузкой / Л. А. Румянцев. // Журнал автомобильных инженеров. - 2012. — № 4 (75) — С. 40—43.
10. Гащук П. М. Механічний аналог як засіб дослідження властивостей внутрішнього автоматизму гідродинамічних передач / П. М. Гащук, С. В. Нікіпчук. // Збірник наукових праць асоціації підприємств України по виробництву автобусів «Автобус»: Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. — Львів. 2000. — №4. — С. 43—50.
11. Wirbitzky G. Neue Techniken im ZF-Getriebe-Programm für Nutzfahrzeuge / G. Wirbitzky // Nahverkehrs-Praxis, 1980, V. 28. N 1. S. 11, 14—15.
12. Schwab M. Electronic Control of a 4-Speed Automatic Transmission with Lock-Up Clutch / M. Schwab // SAE Technical Paper Series, 1984.— № 840448.— P. 85—93.

13. Holmes R.S. Automated Mechanical Transmission Controls / R.S. Holmes, R.R. Smyth, D. Speranza // SAE Technical Paper Series, 1983.— № 831776.— 9 p.
14. Alexander A. J. Measuring Technological Change of Heterogenous Products / A. J. Alexander, M. B. Mitchel // Technological Forecasting and Social Change. — 1985. — V. 27, № 2/3. — P. 161—196.
15. Dodson E. N. Measurement of state of the Art and Technological Advance / E. N. Dodson// Technological Forecasting and Social Change. — 1985. — V. 27, № 2/3. — P. 129—146.
16. Knight K. E. A Functional and Structural Measurement of Technology / K. E. Knight // Technological Forecasting and Social Change. — 1985. — V. 27, № 2/3. — P. 107—127.
17. Трапезников В. А. Общие методические рекомендации по оценке технического уровня промышленной продукции / В. А. Трапезников, Ю. Д. Амиров, Б. А. Березовский. — Москва: ГКНТ, 1989. — 56 с.
18. Гричанюк М. В. Методика оценки энергоэффективности автомобилей / М. В. Гричанюк. // Екатеринбург: Транспорт Урала. — 2013.- № 4. — С. 84—88.
19. Гричанюк М. В. Методика повышения энергоэффективности автомобилей многоцелевого назначения форсажными режимами работы моторно-трансмиссионных установок: дис. канд. техн. наук: 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» / Гричанюк М. В. — Екатеринбург, 2013. — 118 с.
20. Ahn K. Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels / K. Ahn, N. Rakha, A. Trani // Journal of Transportation Engineering. — 2002. — Vol. 128 (2). — P. 182—190.
21. Bezdek R. Fuel Efficiency and the Economy / R. Bezdek, R. Wendling // American Scientist. — 2005. — Vol. 93. — P. 132—141.
22. Филимонов А. А. Имитационная модель реального времени для исследования законов переключения передач / А. А. Филимонов, В. А. Кусяк // Вестник Белорусского национального технического университета: Транспорт. — 2009. — №4. — С. 60—65.
23. Руктешель О. С. Анализ и синтез систем автоматического управления переключением передач автотранспортных средств : дис. докт. техн. наук : 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» / Руктешель О. С. — Минск, 1987. — 503 с.
24. Трёмбовельский Л. Г. Комплексный подход к формированию топливно-скоростных свойств и производительности АТС / Л. Г. Трёмбовельский. // Журнал автомобильных инженеров. — 2011. — №2. — С. 48—50.
25. Гащук Л. П. Экстремальна динаміка розгону й гальмування пожежного автомобіля / Л. П. Гащук, П. М. Гащук. // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. — Львів. — 2014. — №24. — С. 20—32.
26. Гащук Л. П. Динамічність процесу рушання автомобіля / Л. П. Гащук, П. М. Гащук. // Динаміка, міцність та проектування машин і приладів: Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Збірник наукових праць. — Львів. — 2015. — № 820. — С. 3—13.
27. Громовой С. В. Оптимизация процесса разгона легкового автомобиля при создании автоматических механических ступенчатых трансмиссий : дис. канд. техн. наук : 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» / Громовой С. В. — Ижевск, 2003. — 202 с.
28. Нарбут А. Н. Оптимизация разгона АТС / А. Н. Нарбут, А. А. Мухитдинов. // Автомобильная промышленность. — 2002. — № 1. — С. 20—21.
29. Гащук П. Н. Энергетическая эффективность автомобиля / П. Н. Гащук. — Львов: Свит, 1992. — 208 с.
30. Гащук П. Н. Энергопреобразующие системы автомобиля: идентификация и анализ / П. Н. Гащук. — Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. — 272 с.
31. Krajnyk L. Über die Bewertung von Beschleunigungsvorgängen / L. Krajnyk, P. Hastschuk// Kraftfahrzeugtechnik. — 1987. — Н. 1. — Berlin: VEB Verlag Technik. — S. 4—6. — Bibl.: 20.
32. Гащук Л. П. Особливі оцінки динамічності розгону військового автомобіля / Л.П. Гащук, П. М.Гащук // Військово-технічний збірник. — 2015. — № 13. — С. 20—29.
33. Schwedler G. Der Bescheunigung-Index- cinneuer Begriff// Antriebstechnik. — 1975. —№ 8. — S. 466—468.
34. Красиков С. М. Об оценке экономичности разгона автомобиля// Автомобильная и тракторная промышленность / С. М. Красиков. // Автомобильная и тракторная промышленность. — 1955. — №10. — С. 14—19.
35. Нарбут А. Н. Оптимизация разгона автомобиля / А. Н. Нарбут. // Проблемы совершенствования автомобильной техники: Тезисы докладов Всесоюзного семинара. — Москва: МВТУ. — 1986. — С. 78—79.
36. Плужников Б. И. Методика определения законов управления двигателем и переключением передач автомобиля/ Б. И. Плужников // Проблемы совершенствования автомобильной техники: Тезисы докладов Всесоюзного семинара. — Москва: МВТУ, 1986. — С. 88—89.

37. Гащук П. М. Про зміст поняття «коефіцієнт корисної дії автомобіля» / П. М. Гащук, М. І. Сичевський, А. М. Домінік // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: Збірник наукових праць. — 2016. — №14. — С. 152—175.
38. Айзерман М. А. Автоматика переключення передач / М. А. Айзерман. — Москва: МАШГИЗ, 1948. — 140 с.
39. Нагайцев М. В. Метод прогнозирования режимов работы ступенчатой коробки передач транспортной машины с системой автоматического переключения : дис. канд. техн. наук : 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» / Нагайцев М. В. — Москва, 2003. — 149 с.
40. Тарасик В. П. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами: Монография / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. — Минск: Технопринт, 2004. — 512 с.
41. Васильев В. В. Разработка адаптивных законов управления агрегатом трансмиссии колесной машины «гидродинамическая передача — муфта сцепления — вальная коробка передач : автореф. дисс. канд. техн. наук : спец. 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" / В. В. Васильев. — Москва, 2018. — 18 с.
42. Patent US 5806370: Method for modifying the shift-points of an automatic transmission / L. Jeffery [et al.]. 1998. 13 p.
43. Patent US 6044317: Method for eliminating instability in a vehicle automatic transmission which constantly shifts from one speed ratio to the higher ratio and conversely / C. Taffin; 2000. 10 p.
44. Patent US 063797: Method for tuning a gearshift point of an automatic transmission / A. Douglas [et al.]. 2012. 28 p.
45. Ларин В. В. Теория движения полноприводных колесных машин. / В. В. Ларин. — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 391 с.
46. Patent US 5459658: Automatic transmission with programmable shiftpoints / J. Morey [et al.]. 1995. 9 p.
47. Patent US 5846161: Control system for an automatic transmission having shift points based on part throttle positions which are used when engine speed is lowered below an adjustable minimum engine speed setting / J. Hosseini [et al.]: 1998. 11 p.
48. Patent US 0114003A1: Method for controlling an automatic gearbox according to a road profile / Thierry Baize; 2005. 5 p.
49. Patent US 0098181: Method for controlling an automatic gearbox of a motor vehicle in the vent that the gas/pedal is spontaneously released / M. Henneken [et al.]. 2004. 6 p.
50. Patent UK 2517438: Method and apparatus for downshifting an automatic vehicle transmission / E. Sahlberg, A. Lowndes; 2015. 20 p.
51. Безлепкин А. А. Об особенностях построения алгоритма управления гидромеханической коробкой передач многоцелевой колесной машины специального назначения / А. А. Безлепкин, В. А. Кошман, В. А. Смоляков В. А.. // Механіка та машинобудування. — 2012. — №1. — С. 81—89.
52. 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 НУ "Львівська політехніка". — 2004. — № 515. — С. 74—80.
53. Гащук П. М. Особливості оптимального перемикання передач у багатоступеневій трансмісії автомобіля / П. М. Гащук, Р. А. Пельо. // Вісник СХУ ім. В. Даля. — Луганськ. — 2006. — №7 (101). — С. 45—48.
54. 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.
55. 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: НУ «Львівська політехніка». — 2007. — №41. — С. 73—80.
56. Hashchuk P. Optimal laws of gear shift in automotive transmissions / P. Hashchuk, R. Pelo // ECONTechMOD. An International quarterly journal. — Lublin-Rzeszow, 2018, — Vol. 07, No. 2 — P. 59—69.
57. Гащук П. М. Аналіз перехідного процесу при автоматизованому перемиканні ступенів трансмісії автомобіля / П. М. Гащук, Р. А. Пельо. // Вісник Національного транспортного університету.— Київ: НТУ. — 2009. — №18. — С. 32—41.

References:

1. Shifting Along nicely (1987). International journal of Applied pneumatics. — Vol. 1, no. 87, 104—110.
2. Willams, F. and Nipping, D (1976). A mechanical torque converter, and its use as an automobile transmission. Pros. Inst. Mech. Engrs. Vol. 190, no. 32, 447—456.

3. Die Konigsklasse im Test (1997). Top agrar. no 11, 60—75.
4. Sechs Fabrricate im Doppeltest (1998). Top agrar. no. 12, 71—78.
5. Muller, F., and Sailer H. (1993). New future-oriented tractor transmission ZF. International off-Highway. SAE Techn. Pap. Ser.
6. Zhanahutdinov, B. G. (1980). The study of energy loss in tractor transmissions under gear shift: Thesis for Cand. Sc. (Engineering) 05.05.03, Moscow (in Russ.)
7. Larsen, H., and Carlsen H. (1975). Automatgear i lastvogne. Lyngby, Danmark. Danmarks tekniske Hojskole, Laboratoriet for energiteknik, *DTH Raport*, VIII. (in Denmark)
8. Harmon, K., and Schaefer, R. (1973). Shift modulation of «Allison» automatic and power shift transmissions. SAE Preprint no. 730839.
9. Rumjancev, L. A. (2012) Automatic mechanic gearbox changeable under load. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*, vol. 4, no. 75, 40 — 43. (in Russ.)
10. Hashchuk, P. M. and Nikipchuk, S. V. (2000). Mechanic analogue as a way to study the characteristics of hydrodynamic transmission internal automatism, *Zbirnyk naukovykh prats asotsiatsii pidpriumstv Ukrainy po vyrobnytstvu avtobusiv «Avtobus»*, no. 4, 43–50. (in Ukr.)
11. Wirbitzky, G. (1980). Neue Techniken im ZF-Getriebe-Programm für Nutzfahrzeuge. *Nahverkehrs-Praxis*, V. 28. no. 1. S. 11, 14—15. (in German)
12. Schwab M. (1984). Electronic Control of a 4-Speed Automatic Transmission with Lock-Up Clutch. SAE Technical Paper Series, no. 840448, 85—93.
13. Holmes, R., Smyth, R., and Speranza, D. (1983). Automated Mechanical Transmission Controls. SAE Technical Paper Series, no. 831776.
14. Alexander, A., Mitchel, M. (1985). Measuring Technological Change of Heterogenous Products. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 27, no. 2/3, 161—196.
15. Dodson, E. (1985). Measurement of state of the Art and Technological Advance. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 27, no. 2/3, 129—146.
16. Knight, K. (1985). A Fancional and Structural Measurement of Technology. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 27, no. 2/3, 107—127.
17. Trapeznikov, V. A., Amirov, Ju. D., and Berezovskij, B. A. (1989). General methodological recommendations of industrial products technical level evaluation, *GKNT*, Moscow (in Russ.)
18. Grichanjuk, M. V. (2013) Methodology of automobiles' energy efficiency evaluation, *Transport Urala*, no. 4, 84–88 (in Russ).
19. Grichanjuk, M. V. (2013). Methodology of energy efficiency increase in multipurpose cars by means of reheat power operation mode of motor transmission facilities: Thesis for Cand. Sc. (Engineering), 05.05.03, Chelyabinsk, (in Russ).
20. Ahn, K., Rakha, H., and Trani, A. (2002). Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels. *Journal of Transportation Engineering*, no. 128 (2), 182—190.
21. Bezdek, R., and Wendling, R. (2005). Fuel Efficiency and the Economy. *American Scientist*, no. 93, 132—141.
22. Filimonov, A. A. and Kusjak, V. A. (2009). Actual time imitation model for the study of gear shift laws, *Vestnik Belorusskogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta: Transport*. no. 4, 60–65. (in Russ.)
23. Rukteshel', O. S. (1987). Analysis and synthesis of vehicles gear shift automatic operation systems: Thesis for Dr. Sc. (Engineering), 05.05.03, Minsk (in Russ.).
24. Trembovel'skij, L. G. (2011) Complex approach to the formation of automobiles' fuel-velocity characteristics and efficiency, *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*, vol. 2, no. 67, 48 — 50. (in Russ.)
25. Hashchuk, L. P. and Hashchuk, P.M. (2014). Extreme dynamics of acceleration and braking operation of a fire fighting truck. *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*, no. 24, 20 — 32 (in Ukr.)
26. Hashchuk, L. P. and Hashchuk, P.M. (2015). Dynamics of the process of an automobile starting, *Dynamika, mitsnist ta proektuvannia mashyn i pryladiv: Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*, Lviv, no 820, 3—13 (in Ukr.)
27. Gromovoj, S. V. (2003). Optimization of the process of car acceleration at the design of automated mechanic stepped transmissions: Thesis for Cand. Sc. (Engineering), 05.05.03, Izhevsk (in Russ.)
28. Narbut, A. N., and Muhitdinov, A. A. (2002) Automobile acceleration optimization. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, no.1, 20—21. (in Russ.)
29. Hashchuk, P.M. (1992). *Automobile's energy efficiency*. Lviv, Svit (in Russ.).
30. Hashchuk, P.M. (1998). *Automobile's energy transforming systems: identification and analysis*. Kharkiv, *RIO HGADTU* (in Russ.)
31. Krajnyk, L. and Hastschuk, P. (1987) Über die Bewertung von Beschleunigungsvorgängen. *Kraftfahrzeugtechnik*, Berlin: VEB Verlag Technik (in German).

32. Hashchuk, L. P. and Hashchuk, P.M. (2015). Special assessment of military car acceleration dynamics. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk*, no. 13, 20—29 (in Ukr.)
33. Schwedler, G. (1975). Der Bescheunigungsex-index-cinnehmer Begriff. *Antriebstechnik*, No. 8, S. 466—468 (in German).
34. Krasikov, S. M. (1955). On the assessment of automobile's acceleration economic efficiency. *Avtomobil'naja i traktornaja promyshlennost'*, no. 10, 14—19 (in Russ.)
35. Narbut, A. N. (1986). Automobile acceleration optimization. Abstracts of the All-Union Workshop, Moscow: *MVTU*, 78—79. (in Russ.)
36. Pluzhnikov, B. I. (1986) Methodology of determining the laws of automobile's engine operation and gear shift. Abstracts of the All-Union Workshop, Moscow: *MVTU*, 88—89. (in Russ.)
37. Hashchuk, P. M., Sychevskyi, M. I., and Dominik, A. M. (2016). On the content of the notion «automobile's efficiency coefficient». *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*, no. 14, pp. 152—175 (in Ukr.)
38. Ajzerman, M. A. (1948). Automation of gear shift. Moscow: *MASHGIZ*, (in Russ.)
39. Nagajcev, M. V. (2003). Method of prognostication of stepped gearbox operation modes in the transport vehicle with automated system of shift: Thesis for Cand. Sc. (Engineering) 05.05.03, Moscow (in Russ.)
40. Tarasik, V. P., and Rynkevich, S. A. (2004). Intellectual systems of automobiles operation. Minsk: *Tehnoprint* (in Russ.)
41. Vasil'ev, V. V. (2018). Development of adaptable laws of operating the transmission aggregate of a wheeled machine “hydrodynamic transmission – clutch coupling – shaft gearbox”: Thesis for Cand. Sc. (Engineering) 05.05.03, Moscow (in Russ.)
42. Jeffery, L. [et al.] (1998). Patent US 5806370: Method for modifying the shift-points of an automatic transmission.
43. Taffin, C. (2000). Patent US 6044317: Method for eliminating instability in a vehicle automatic transmission which constantly shifts from one speed ratio to the higher ratio and conversely.
44. Douglas, A. [et al.] (2012). Patent US 063797: Method for tuning a gearshift point of an automatic transmission.
45. Larin, V. V. (2010). The theory of 4-wheel-drive wheeled vehicle. Moscow: *Izdatel'stvo MGTU im. N. Je. Baumana* (in Russ.)
46. Morey J. [et al.] (1995). Patent US 5459658: Automatic transmission with programmable shiftpoints.
47. Hosseini, J. [et al.] (1998). Patent US 5846161: Control system for an automatic transmission having shift points based on part throttle positions which are used when engine speed is lowered below an adjustable minimum engine speed setting.
48. Thierry Baize (2005). Patent US 0114003A1: Method for controlling an automatic gearbox according to a road profile.
49. Henneken, M. [et al.] (2004). Patent US 0098181: Method for controlling an automatic gearbox of a motor vehicle in the vent that the gas/pedal is spontaneously released.
50. Sahlberg, E., and Lowndes, A. (2015). Patent UK 2517438: Method and apparatus for downshifting an automatic vehicle transmission.
51. Bezlepkin, A. A., Koshman, V. A. and Smoljakov, V. A. (2012). On the peculiarities of algorithm development to operate the hydromechanic gearbox in a special multipurpose wheeled vehicle. *Mechanics and Engineering*, no. 1, 81—89. (in Russ.)
52. Hashchuk, P. M. and Pelo, R. A. (2004). Interdependence of transmission rows structure and optimal laws of automobile's stepped transmission shift]. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University*, no. 515, 74—80. (in Ukr.)
53. Hashchuk, P. M. and Pelo, R. A. (2006). Peculiarities of optimal gear shift in automobile's multispeed transmission. *Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, no. 7 (101), 45-48 (in Ukr.)
54. Pelo, R. A. (2006). Substantiation of some peculiarities of automobile's transmission operation robot. *Scientific-and-technical collected works. Design, manufacture and operation of motor vehicles and trains*, no. 9, 94-98 (in Ukr.)
55. Hashchuk, P. M. and Pelo, R. A. (2007). Substantiation of the shifting program choice in automobile's mechanic transmission under the defined motion program realization. *Automation of production processes in mechanical engineering and instrumentation: Ukrainian intermediate. Sci.-Tech. Collection. Lviv: National University "Lviv Polytechnic"*, no. 41. 73—80. (in Ukr.)
56. Hashchuk, P. and Pelo, R. (2018) Optimal laws of gear shift in automotive transmissions. *ECONTECHMOD. An International quarterly journal. Lublin-Rzeszow: Vol. 07, No. 2, 59—69.*
57. Hashchuk, P. M. and Pelo, R. A. (2009) Analysis of transition process under the shift of automobile's transmission speeds. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu, Kiyv*, no.18, 32—41. (in Ukr.)

FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF OPTIMAL GEAR SHIFT SYNTHESIS THEORY IN AUTOMOBILE STEPPED RATION GEAR TRANSMISSION

The laws of gear transmission are practically always transformed into rather illustrative and relatively easy programmed in the controller the so called maps of transmission. But the notion of optimality are prone to misunderstanding. To avoid this it is suggested a driver opt for himself for the factored technical possibilities of multiprogrammed automated or automatic control of transmission, or at sole discretion to implement a certain programing compromise that in most cases is not disclosed. Thus the system of automated control is subject to uncertainty. There has been no theory able to recommend an irrefutable compromise.

It turned out that alongside with insufficiently optimal laws of gear transmission the so called cycle of shift operation occurs, i.e. excessive or irrational changeability of structure and parameters of transmission which cannot be blocked by the criterion of optimality. To contend this phenomenon the optimal laws are considerably distorted and invalidated. So, why do we strive for optimality? Was it really necessary to create a true model of automobile, search for the sense of ultimate transmission? Are there any other issues possible more important than dynamics, energy saving, purely technical factors that determine the efficiency of transmission? Should we prognosticate artificially created chaos in the control system while programming asystemic errors in the operation of the controller? It is obvious that these questions presuppose substantial negative answers that are to be proved.

However, there are grounds to suggest completely different explanation of gear shift optimality laws: when a driver chosen program of automobile motion is realized we can mention only the energy saving, whereas the requirement of dynamics means “interference” in driver’s actions, “limitation” of the freedom of choice, decrease in operability within the “drive – automobile” system. This treatment of the sense of transmission automation is firmly grounded. “Dynamics” is based only on the assumption that there exists an indicator of car sensitivity to the driver.

If both paradigms coexist, undoubtedly, everything related to one of them is absolutely false. It is the traditional paradigm that seems false, for it relies on so called map of shifts. Due to this fact in the theory of automated operation of “engine – transmission – automobile” system there has long been ambiguity in the understanding of automobile transmission operation. And this statement is the fundamental, key one in defining really objective principles for the synthesis of automobile transmission operation laws.

The aim of this paper is to reveal the content, evaluate the objectivity and credibly validate both paradigms contesting in the theory of automobile stepped ration gear transmission and constituting the basis of synthesis theory of optimal gear shift laws in these transmissions.

Usually, the problem of gear shift softness is treated outside the general motivation of the gear shift optimization laws. It is considered that the softness of the shift is just a reason of comfort and prevention from harmful dynamic load of transmission. In fact the synchronization of transmission elements rotation under participation of engine is directly connected with transference of energy to automobile’s propulsion units and the accuracy of the desired motion program representation. That is why the effectiveness of synchronization is to be evaluated according to the same criteria as the rationality of the choice of transmissions. It is worth mentioning that in the process of active (with the participation of the engine) operation of synchronization the automobile transmission transforms to the variator that, although it dispels energy in the form of the heat, potentially allows the engine to work longer and under more energy saving modes.

It is proved that the optimization of the gear shift laws should be considered solely according to the criterion of energy saving. Herewith, the organization of the process of shift from one transmission to another should be submitted solely to the laws of energy saving rather than to the requirements of softness that could hardly be formalized. In this case the algorithms of internal combustion engine operation in the process of automobile transmission shift (in the process of clutches slipping) are of great importance.

Keywords: automobile stepped ration gear transmission, gear shift, optimal control laws, energy saving criterion