

Висновок: при коректно підібраних автобусах-аналогах похибка у розрахункових значеннях мас проектного автобуса у спорядженому стані, визначених за всіма пропонованими емпіричними формулами, становить не більше 1 %, що для міських автобусів еквівалентно зменшенню або збільшенню вмістимості на 1-2 пасажирів.

#### Список літератури

1. Правила ЕЭК ООН № 107-01:2004. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М(2) или М(3) в отношении их общей конструкции.

УДК 621.83:658:652

### АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ТРАНСМІСІЙ АВТОМОБІЛЯ

ANALYSIS OF CONTROL SYSTEMS IN AUTOMATIC TRANSMISSION OF AUTOMOBILE

Роман Пельо

Національний університет «Львівська політехніка»  
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32

*In the work the analysis of algorithms of control of robotized automatic transmission boxes of cars of leading world manufacturers is carried out. Arguments in favor of the fact that a large number of designs of automotive transmissions and their management algorithms does not indicate a high level of perfection. It is emphasized that there are no differences between the laws of gear shifting, which are optimal for fuel economy or car dynamic.*

Різноманіття існуючих конструкцій автомобільних трансмісій та законів і алгоритмів керування ними надзвичайно широке [1—6]. Але це, звісно, не є ознакою надзвичайних досягнень інженерної думки й технічної науки, оскільки будь-яке різноманіття зазвичай нівелюється на шляху пошуку будь-чого досконалого чи оптимального.

Вважають, що автоматична коробка передач була винайдена фахівцями американського концерну General Motors. Перший автомобіль з автоматичною трансмісією — Oldsmobile Custom & Cruiser — зійшов з конвеєра в 1939 році. Відтоді, мабуть, і виникли підстави обмірковувати принципи, закони, алгоритми доцільного чи оптимального керування структурою і параметрами автомобільної трансмісії.

Добір передач і та власне процес перемикання передач з однієї на іншу здійснює система-автомат (в наш час — з участю бортового комп'ютера). Але стільки особливих режимів роботи автоматичної трансмісії, які доводиться добирати самостійно водію. Інтелектуалізація електронних систем керування створила підстави для надання автоматичним трансмісіям особливих властивостей. Зокрема, з'явилися так звані адаптивні автоматичні коробки передач. Адаптивність полягає в тому, що бортовий комп'ютер відстежує манеру водія керувати автомобілем, та ніби підлаштовується до неї. Алгоритм роботи комп'ютера часом передбачає навіть контроль за ступенем зношеності фрикціонів.

Існують системи керування автоматичною коробкою передач — AutoStick (Steptronic, Tiptronic), — що надають водію можливість ніби самому командувати вибором передач, а от здійснювати процес перемикання вони беруть цілком на себе. Але самостійність водія часом ілюзорна, адже режим Autostick не менш автоматичний: комп'ютерна система все-таки «не дозволить» безпосередньо впливати на агрегат; водій лише пересилає свої побажання

комп'ютеру, а він аналізує їх адекватність та приймає рішення про перемикання. У всьому іншому трансмісія — ніби звичайна механічна. Але для чого розробнику вкладати інтелект і кошти в автоматику, а потім ще й в засоби імітації неавтоматичності («мануальності»)?

Впроваджують також паралельно кілька на вибір водія алгоритмів керування трансмісією — енергоощадний, спортивний, зимовий. Енергоощадний режим ніби покликаний забезпечити плавне пересування автомобіля з мінімальними витратами пального (щоправда, трактування та вимірники енергоощадності зазвичай сумнівні). Спортивний алгоритм налаштований на реалізацію максимальних потужностей двигуна і відповідно максимальних прискорень автомобіля. Передбачають також режим kickdown, коли у разі різкого натискання до краю на педаль акселератора система перемикає трансмісію на нижчу передачу — одну або й через одну. Зворотне перемикання знову на вищу передачу може відбутися у разі досягнення двигуном максимальної частоти обертів. Зимовий алгоритм передбачає можливість особливо плавного рушання автомобіля на слизькій дорозі.

Але чи існує впевненість у тому, що ці алгоритми корисні і що водій здатен раціонально ними оперувати? Хіба ця варіантність не підконтрольна автоматичній системі? А чи не можна проблему вибору алгоритму розв'язати на засадах компромісу, принаймні часткового? А може взагалі мотивація поліалгоритмічності надумана? Саме на цьому в подальшому доведеться зосередити увагу.

Автоматична трансмісія енергетично менш досконала (її ККД загалом нижчий) порівняно з механічною трансмісією, але завдяки оптимальному суміщенню з двигуном та втіленню оптимальних законів блокування гідродинамічного трансформатора, а також законів перемикання передач в механічній її частині вона потенційно здатна все ж інколи забезпечити вищу паливну ощадність та динамічність автомобіля. А ще: властивість автоматичної трансмісії поглинати ударні навантаження сприяє збільшенню ресурсу двигуна й ходової частини автомобіля.

Але це не означає, що класична автоматична трансмісія не має рівноцінної альтернативи. Радше навпаки, вона унаочнює можливі напрямки удосконалення механічних трансформаторів енергії. Отже, удосконалити традиційну механічну трансмісію можна, впроваджуючи принципи оптимального суміщення режимів, оптимальні закони керування, засоби підвищення еластичності — всього того, чим приваблива автоматична трансмісія. Цікаво, що в трансмісії Mercedes AMG Speedshift MCT 7 гідротрансформатор був витіснений «мокрим» фрикційним зчепленням — це дало змогу помітно збільшити ККД трансмісії і поєднати її із швидкохідними двигунами.

Традиційна механічна трансмісія має в своєму складі фрикційне зчеплення, механічну коробку передач, у якій водій на свій розсуд важелем добирає передачу і здійснює перемикання з передачі на передачу за посередництва зчеплення та механізму перемикання із синхронізаторами. Вправний водій змінює передачу в синхронізованій коробці за 0,5...0,6 с. Перші механічні коробки «містили» дві передачі — одну для рушання автомобіля, другу для руху. Тепер — десятки передач, ніби як засіб наблизитися до варіатора. Але примітивне збільшення кількості передач в механічній трансмісії — шлях, що веде у глухий кут, оскільки трансмісія губить в певній мірі і в певному сенсі керованість.

Звісно, перше, що природно спадає на думку, — традиційній механічній трансмісії надати автомат, який би сам здійснював добір і перемикання передач. Таку операцію називають автоматизацією чи роботизацією. Відповідно — автоматизованою (automatic) чи роботизованою (robotic) — доведеться називати і удосконалену таким чином трансмісію. Її позначають також аббревіатурою MTA (Manual Transmission Automatically Shifted) чи аббревіатурою AMT (Automated Manual Transmission).

Шлях роботизації може бути різний. Доречно згадати, що серед перших не завжди вдалих кроків на шляху автоматизації була автоматизація тільки зчеплення. За приклад

може правити дуже ненадійна трансмісія Toyota FreeTronic (TFT) — суто механічна, але з автоматичним зчепленням. В механічній трансмісії автомобіля Mercedes-Benz А-класу, приміром, також було встановлено автоматичний (електрогідравлічний) привід зчеплення. Перемикання передач покладено цілком на водія, а на допомогу йому електрогідравлічний автомат має відстежувати поточне положення важеля керування коробкою передач (селектора) і здійснювати потрібні маніпуляції зі зчепленням. Електронна система керування має брати до уваги сигнали сесорів двигуна й ABS та запобігати ривкам при перемиканні передач й не давати двигуну глухнути. Якщо обмежитися автоматизацією лише зчеплення, то матимемо справу з напівавтоматичною (semi-automatic) трансмісією. У разі часткової чи повної автоматизації зникає педаль керування зчепленням, як і у разі автоматичної коробки передач, — зчепленням керує автомат.

За приклад глибшої роботизації може правити адаптивна роботизована коробка передач 2-Tronic, розроблена французькою групою PSA Peugeot Citroen сумісно з Siemens і Bosch для легкового автомобіля Peugeot 207: трансмісія визріла на основі п'ятиступеневої суто механічної, що виготовлялась перед тим уже два десятиліття; до неї прилаштували два електромеханічні приводи, один з яких здійснює перемикання передач, а другий вмикає-вимикає зчеплення, а також бортовий комп'ютер, що керує цими процесами на підставі інформації про значення різних режимних величин, насамперед — про положення акселератора та швидкість руху автомобіля. Спрощений з одним зчепленням робот (йдеться, приміром, про трансмісії автомобілів Toyota, Opel, Alfa Romeo, Peugeot, Suzuki) здійснює перемикання передач за 1...2 с. Залишається можливість й для ручного перемикання передач. Коробка передач 2-Tronic, до прикладу, надає можливість скористатись трьома режимами: перший — цілком автоматизований; другий — так званий напівмеханічний, яким можна скористатись, не полишаючи цілком автоматичного режиму, у разі нагальної потреби перемкнутись на нижчу передачу (в процесі обгону, скажімо; коли ж ситуація вичерпалась і автомобіль повернувся до звичайного режиму руху, коробка через деякий час самовільно відновлює свій автоматизм); третій — цілком ручний (хоча, якщо водій доведе частоту обертання вала двигуна до максимального допустимого значення, не перемкнувши трансмісію на вищу передачу, то це за нього все-одно зробить автомат).

Визнана якісною роботизація, приміром, шестиступеневої механічної трансмісії автомобіля BMW серії M, яку названо SMG — Sequential M Gearbox (последовного переходу з передачі на передачу, від лат. sequentia — слідування). Вимикання зчеплення і перемикання передач тут покладено на електронно керовану гідравлічну систему. Швидкість перемикання передач дуже висока, при розгоні перемикання відбувається за 0,08 с.

Комп'ютерна інтелектуалізація автомата-робота розкриває шлях до вищого рівня досконалості роботизованої трансмісії у порівнянні з параметрично такою самою традиційною механічною трансмісією. Якісне електронне керування актуаторами дає змогу навіть відмовитися від так званих синхронізаторів. Завдяки цьому АМТ стає за довжиною компактнішою та ще й здатною пересилати більші обертові моменти, їй буде потрібна менша кількість оливи, зменшиться й маса. Роботизовані коробки передач можуть мати електричний чи гідравлічний привід зчеплення і механізма перемикання передач. У разі електричного приводу за виконавчі органи правлять сервомеханізми (електродвигуни), а у разі гідравлічного приводу — гідроциліндри. Склалось так, що у разі гідроприводу (що буває частіше) коробка передач є секвенційною (йдеться про последовне перемикання передач у ручному режимі).

Потенційно існують засоби технічно удосконалити роботизовану трансмісію в такій мірі, аби вона могла конкурувати і за динамічністю пересилання енергії, і за енергоощадністю як з будь-якою звичайною механічною, так і з будь-якою автоматичною

(навіть варіаторною). В такому разі звична проблема перегрівання зчеплення залишиться в минулому.

Принципово глибшого удосконалення зазнає роботизована трансмісія, якщо до її складу ввести ще одне зчеплення. Найвідомішою серед таких є трансмісія з так званою коробкою передач DSG (Direct Shift Gearbox, інколи — Dual Clutch Transmission), яка була застосована на автомобілях Volkswagen і Audi. Прийшла вона у широкий світ з автоспорту (це технологія з Формули 1). Трансмісія DS(G) масово була застосована на автомобілях Golf R32 компанією Volkswagen у 2002/03 році. Її пробують застосувати навіть на тракторній техніці [6].

Отож одне зчеплення має обслуговувати непарні передачі, а друге — парні. Якщо, приміром, рух автомобіля відбувається на третій передачі при замкненому першому зчепленні (друге вимкнене), то за необхідності увімкнути заздалегідь налаштовану комп'ютерним автоматом четверту передачу (у разі збільшення швидкості руху) чи заздалегідь налаштовану автоматом другу (у разі зменшення швидкості) перший зчіпник вимикається (і переходить в очікувальний стан), а синхронно вмикається другий. Перемикання передач відбувається за частки секунди. Приміром, коробки передач з двома зчепленнями DSG, S-Tronic перемикаються з передачі на передачу за 0,2...0,4 с, коробки SMG и DCT M Drivelogic спортивних автомобілів BMW, — за 0,1 с.

В такому разі можна казати, що трансмісія містить преселекторну коробку передач: за ввімкненої якої-небудь передачі можна заздалегідь вибрати наступну і в потрібну мить увімкнути її без переривання потоку енергії. Передачі можуть перемикатися без втрат потужності. Потенційно DSG-трансмісія порівняно зі всіма іншими здатна забезпечити автомобілю, найвищі як динамічність, так і енергоощадність. Звісно, в DS(G)-трансмісії перемикаються з непарної передачі на непарну можна тільки через проміжну парну. Натомість, в автоматичних трансмісіях з планетарними рядами зубчастих зачеплень фрикціони можуть забезпечити довільну послідовність перемикань: приміром, у Mercedes 7G-Tronic можна перестрибнути за один крок на чотири передачі «вниз». Але навряд чи можна це вважати якоюсь перевагою автоматичної трансмісії.

В трансмісії з подвійним зчепленням DCT M Drivelogic від BMW в систему керування закладена функція Drivelogic, яка передбачає можливість використання одинадцяти програм перемикання передач. Шість програм втілюються в режимі ручного перемикання, а п'ять належать до програм автоматизованого перемикання передач. Тож є можливість адаптувати умови зміни передач відповідно до стилю водіння. Але ж така програмна різноманітність та адаптивність є свідченням радше недосконалості.

Чим потужніший двигун, з яким працює трансмісія DSG, тим більші енергетичні втрати в околі так званої точки поцілунку (kiss point), коли одночасно інтенсивно пробуксовують обидва зчеплення. Ось тому новіша семиступенева коробка передач DSG з двома сухими зчепленнями, розроблена разом компанією Volkswagen і фірмою Luk, не повинна пересилати обертовий момент, більший як 250 Н м. Натомість, з більшим двигуном може працювати давніша шестиступенева коробка передач DSG з двома мокрими зчепленнями (зчепленнями у мокрому картері, фрикціонами). Але втрати енергії у процесі перемикання передач неминучі, вони супроводжують перемикання у будь-якій іншій трансмісії.

Вважають, аби повноцінно усунути людину з контура керування АМТ повинна алгоритмічно співпрацювати десь із сотнею сенсорів, які мали б постачати автоматичну систему належною кількістю інформації належної якості. Така велика кількість складових елементів, звісно, негативно позначається на потенційній надійності системи керування. Неякісна робота бодай одного сенсора спричиняє спотворення алгоритмів керування: енергоощадний, динамічний та будь-який інший алгоритм перестають бути такими, а радше трансформуються в неробочий, аварійний. Хоча існують доволі ефективні комп'ютерні

засоби детального дослідження енергетичних характеристик автомобіля і двигуна [3, 4], та водночас є підстави припустити, що оптимальність законів перемикання передач змістовно значно простіша, аби треба було покладатися на настільки великий обсяг інструментальної і комп'ютерної інформації [5].

Відтак дослідників усе більше цікавить питання: наскільки вмотивованим є існуюче різноманіття законів керування механічними сходинчастими трансмісіями; наскільки глибоко різні критерії оптимальності законів перемикання сходинок (ступенів) суперечать один одному; чи є сенс паралельно передбачати декілька алгоритмів керування трансмісією.

#### Список літератури

1. Koralewski G. Metodyka wyznaczania optymalnych momentów przełączania biegów przekładni hydromechanicznej w czasie rozpędzania samochodu// Folia Societatis Lublinensis.— Vol. 5.— Nr 1.— Lublin, 1996.— S. 5—17.
2. Гащук П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля.— Львов: Свит, 1992.— 208 с.
3. Кусяк В.А. Синтез алгоритма переключения передач в трансмиссии автомобиля: Дисс. ... канд. техн. наук. - Минск: БГПА, 2000. — 174 с.
4. Гируцкий О.И. Есеновский-Лашков Ю.К. Поляк Д.Г. Электронные системы управления агрегатами автомобиля. - М.: Транспорт, 2000. — 213 с.
5. Kurata K., Minowa T., Ibamoto M. A study of smooth gear shift control system with torque feedback // Electronic transmission control. Edited by Ronald K. Jürgen, SAE, 2005. – P. 217-221.
6. Minowa T., Ochi T. Smooth shift control technology for clutch-to-clutch shifting // Electronic transmission control. Edited by Ronald K. Jürgen, SAE, 2005. – P. 253-258.

УДК 629.022

### КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ АВТОБУСІВ ВЕЛИКОГО КЛАСУ ТА СИМУЛЯЦІЙНІ МОДЕЛІ ЇХ РУХУ У СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK

#### DESIGN FEATURES OF HIGH CLASS BUSES AND SIMULATION MODELS OF ITS RIDING AT SIMILINK SOFTWARE

**Богдан Кіндрацький<sup>1</sup>, Станіслав Войтків<sup>2</sup>, Олексій Осмак<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>Науково-технічний центр «Автополіпром»,  
вул. Городоцька, 174, м. Львів, 79022, Україна.

*General information about high-class buses, its advantages and drawbacks, development prospects are considered. Simulation model of a multi-axle bus in MATLAB Simulink software environment is presented.*

Створення електробусів – автобусів обладнаних електричним тяговим приводом є перспективним напрямом розвитку пасажирського автомобільного транспорту. Їхніми перевагами, порівняно з традиційними автобусами (з механічним або гібридним приводами), вважають екологічність та меншу вартість експлуатації. Однак ринкова вартість електробусів великого класу з габаритною довжиною до 12 м становить близько 340 тис. дол. США, що у 2 – 2,5 рази перевищує ринкову вартість міських автобусів аналогічної довжини, оснащених дизельними двигунами [1]. Очевидно, що це стримує поширення подібної техніки. Зокрема, потреба у повній заміні щонайбільше кожних 4 роки блока