УДК 62-59:629.113.001.2

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ РОЗГОНУ ШВИДКІСНОГО АВТОМОБІЛЯ КЛАСУ Е-8, ОСНАЩЕНОГО РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ ТРАНСМІСІЇ

М.Г. Михалевич, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. *Подано результати розрахунку динаміки розгону автомобіля із трьома типами трансмісії: зі звичайною механічною, із двопоточною без розриву потоку потужності й однопоточною без розриву потоку потужності. Попарно проаналізовано протистояння автомобілів із зазначеними типами трансмісій у різних комбінаціях.*

Ключові слова: *швидкість, момент інерції, двопоточна трансмісія, передача моменту без розриву потоку потужності.*

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАЗГОНА СКОРОСТНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА Е-8, ОСНАЩЁННОГО РАЗНЫМИ ВАРИАНТАМИ ТРАНСМИССИИ

Н.Г. Михалевич, доцент, к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Анотация. *Представлены результаты расчёта динамики разгона автомобиля с тремя типами трансмиссий: с обычной механической, с двухпоточной без разрыва потока мощности и с однопоточной без разрыва потока мощности. Попарно проанализировано противостояние автомобилей с рассмотренными трансмиссиями в разных комбинациях.*

Ключевые слова: *скорость, момент инерции, двухпоточная трансмиссия, передача момента без разрыва потока мощности.*

ANALYSIS OF ACCELERATION OF CLASS E-8 RACE CAR EQUIPPED WITH VARIOUS TRANSMISSION OPTIONS

M. Mikhalevych, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkov National Automobile and Highway University

Abstract. *Analysis of dynamics of vehicle acceleration with three types of transmissions: with conventional mechanical, with duo flow without breaking the power flow and single flow without breaking the flow of power is presented. Two modes of acceleration: acceleration from the start and acceleration on a straight road section after passing the curve have been considered.*

Key words: *speed, acceleration, single flow without breaking the flow of power, transfer moment without breaking the flow of power.*

Вступ

Сьогодні одним з напрямів покращення динаміки розгону швидкісного автомобіля є застосування трансмісії без розриву потоку потужності. Традиційно на швидкісних автомобілях класу вільної формули не застосовувались гідромеханічні передачі, в силу відомих недоліків [1]. Тому досить тривалий час механічна та роботизована трансмісія з розривом потоку потужності залишалась єдиним варіантом у конструкції зазначених автомобілів. З появою двопоточних коробок передач під час розгону більше не має часу розриву потужності, за який здійснюється перемикання, але і зростають маси, що обертаються. Таким чином, питання скорочення часу розгону не є однозначним.

Аналіз публікацій

Сьогодні відомі дві конструкції механічних трансмісій без розриву потоку потужності:
– двопоточна трансмісія, що має два первинних вали та два зчеплення на кожному з них;
– механічна однопоточна трансмісія без розриву потоку потужності з кулачковими муфтами.

Кожна із трансмісій має свої недоліки та переваги. Розглянемо конструкцію двопоточної трансмісії на прикладі коробки передач DSG фірми Volkswagen (рис. 1) [2], а однопоточної без розриву потужності – на прикладі коробки передач фірми ZeroShift рис. 2 [3]. Ключовою відмінністю двопоточних коробок передач є розподіл на парні та непарні передачі, ведучі шестерні яких знаходяться на різних первинних валах. Кожен первинний вал має своє зчеплення. Таким чином, двопоточна коробка передач синтезована шляхом поєднання в одному корпусі двох коробок, що передають крутний момент по черзі на спільний вторинний вал. Нерозривність передачі потужності забезпечується перекриттям у роботі зчеплень (час, коли обидва зчеплення частково замкнуті). У цей момент обидва зчеплення буксують, а коробка передач навантажена циркулюючою паразитною потужністю. Крім того, витискні підшипники сприймають підвищене навантаження, оскільки в момент передачі потужності одним зчепленням друге повинно бути вимкнене.

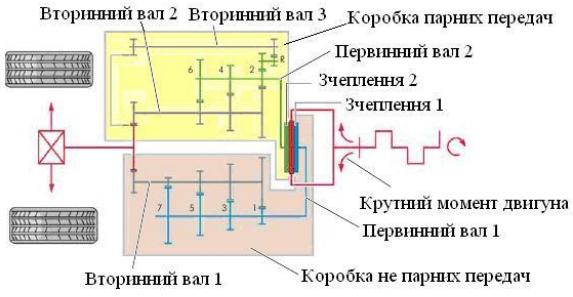

Рис. 1. Принципова схема двопоточної коробки передач DSG [2]

Коробка передач фірми ZeroShift [3] базується на кулачкових муфтах перемикання передач. Такі муфти працюють за принципом миттєвого вмикання. Принципова відмінність муфти фірми ZeroShift полягає у наявності двох кулачкових, протилежно направлених храпових муфт. Кожна з них може рухатись незалежно та передавати крутний момент тільки в одному напрямку. Таким чином, під час руху на одній з передач одна муфта передає крутний момент у режимі розгону, а друга – у режимі гальмування двигуном.

Під час перемикання передачі спочатку переміщається одна з муфт, яка входить у зачеплення із кулачками шестерні наступної передачі. Вона бере на себе передавання крутного моменту, бо шестерня наступної передачі обертається швидше. Другу муфту кулачки шестерні попередньої передачі просто виштовхують із зачеплення, оскільки вона починає обертатися швидше, підкоряючись включеній наступній передачі. Після цього вона переводиться до шестерні наступної передачі, щоб забезпечити режим гальмування двигуном. Під час перемикання на більш низькі передачі відбуваються аналогічні процеси – тільки за зниження швидкостей обертання.

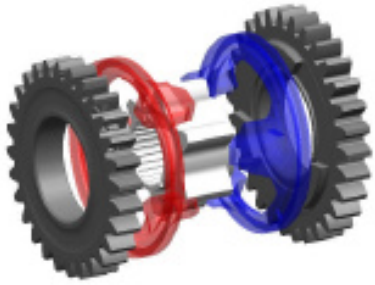

Рис. 2. Конструкція кулачкової муфти фірми ZeroShift, що забезпечує перемикання передач без розриву потоку потужності [3]

Мета і постановка завдання

Під час перегонів обгони відбуваються під час гальмування на вході у поворот, під час старту та під час руху на прямій ділянці траси. Якщо обгін під час гальмування, – це насамперед, заслуга майстерності пілота, то обгін під час старту та руху на прямій ділянці з ходу (наприклад після проходження повороту) – це заслуга потужності двигуна та конструкції трансмісії. Метою даної роботи є порівняльний аналіз динаміки розгону швидкісного автомобіля класу Е-8, конструкція якого відрізняється тільки трансмісією. Розглядаються три типи трансмісій: однопоточна з розривом потоку потужності; двопоточна без розриву потоку потужності і однопоточна без розриву потоку потужності.

Визначення відмінності в інерційних характеристиках автомобілів з одно- та двопоточною трансмісією

Для уточнення розрахованих тягово-швидкісних характеристик автомобіля класу Е-8 F-1600 було визначено різницю в інерційних характеристиках автомобілів з одно- та двопоточною трансмісією. До них відносять масу автомобіля та моменти інерції деталей, що рухаються обертально. Для цього за допомогою програмного забезпечення Autodesk Inventor було виконано об'ємні моделі деталей з максимальною деталізацією та, враховуючи матеріали виготовлення і геометричні розміри, розраховано їх маси та моменти інерції, значення яких зведено до табл. 1.

Таблиця 1 Інерційні характеристики автомобілів з одно- та двопоточною трансмісією

Деталь (вузол)	Параметр	Однопоточна трансмісія	Двопоточна трансмісія
1. Первинний вал	Маса, кг	3, 57	4,556
	Момент інерції, кг·м^2	0,00089	0,00112
2. Вторинний вал	Маса, кг	4,67	
	Момент інерції, кг·м^2	0,00379	
3. Зчеплення з маховиком у зборі	Маса, кг	13,94	19,01
	Момент інерції, кг·м^2	0,12	0,15
4. Переднє колесо	Момент інерції, кг·м^2	0,331	
5. Заднє колесо	Момент інерції, кг·м^2	0,85	

З урахуванням зміни конструкції, маса автомобіля із двопоточною трансмісією збільшилася на 9,1 кг, відносно аналогу з однопоточною трансмісією. Це значення включає збільшення ваги: двох первинних валів; двопоточного зчеплення та гідравлічної системи керування (рідина, трубки, гідроциліндри, насос, електронний блок керування, датчики). Знаючи необхідні параметри, розрахуємо коефіцієнти, що враховують вплив інерції обертальних частин автомобіля при його прискореному русі для одно- та двопоточної трансмісії за формулою (1) [4]

$$\delta_j = 1 + \frac{J_e \cdot u_{\text{е}}^2 \cdot u_0^2 \cdot \eta}{r_{\text{А}}^2} \cdot \frac{g}{G} + \frac{\Sigma J_k}{r_{\text{А}}^2} \cdot \frac{g}{G}. \quad (1)$$

Як відомо, спрощено формула (1) має вигляд

$$\delta_j = 1 + \sigma_1 + \sigma_2 \cdot u_k^2, \quad (2)$$

де σ_1 та σ_2 – коефіцієнти врахування інерції коліс та трансмісії автомобіля відповідно.

Звідси для однопоточної трансмісії $\sigma_1 = 0{,}0463$; $\sigma_2 = 0{,}0363$; для двопоточної трансмісії $\sigma_1 = 0{,}0456$; $\sigma_2 = 0{,}0447$; для однопоточної трансмісії без розриву потоку потужності умовно візмемо коефіцієнти у формулі (2) такими самими як для однопоточної трансмісії із розривом потоку потуж-ності.

Моделювання динаміки розгону

Для дослідження руху транспортного засобу, який має механічну трансмісію, що керується автоматичною системою керування, складемо відповідну систему рівнянь (3). Залежність крутного моменту від положення педалі газу та обертів двигуна закладено у модель у вигляді таблиці, що являє собою поле швидкісних характеристик. Момент двигуна визначається у функції частоти обертаня колінчастого вала та положення педалі акселератора. Для порівняння за отриманими даними будуємо графіки процесу розгону (рис. 3 та 4) та графік залежності різниці шляху, що пройдено, від часу автомобілями з різними комбінаціями трансмісій (рис. 5).

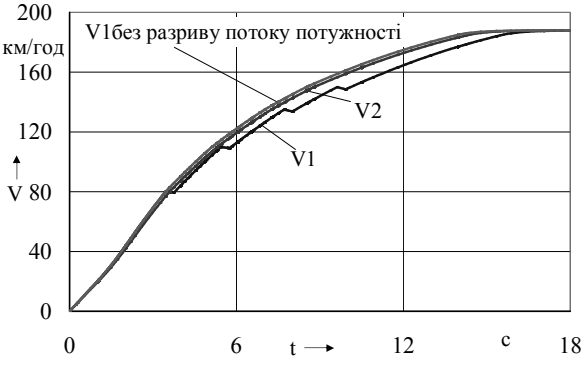

Рис. 3. Процес розгону автомобіля з одно- та двопоточною трансмісією: V1 – швидкість автомобіля з однопоточною трансмісією, V2 – швидкість автомобіля із двопоточною трансмісією

Для порівняльного аналізу створено такі пари: однопоточна трансмісія без розриву потоку потужності та однопоточна традиційна трансмісія; двопоточна трансмісія без розриву потоку потужності та однопоточна традиційна трансмісія; однопоточна трансмісія без розриву потоку потужності та двопоточна трансмісія без розриву потоку потужності.

$$\begin{cases} \dfrac{dV_a}{dt} = \dfrac{M_e \cdot u_i \cdot u_0 \cdot \eta}{m_a \cdot \delta_j \cdot r_d} - \dfrac{k \cdot F \cdot V_a^2}{m_a \cdot \delta_j \cdot 3.6^2} - \dfrac{g \cdot \psi}{\delta_j} \\ \psi = f \cdot cos\,\alpha + sin\,\alpha \\ n_e = \dfrac{u_i \cdot u_0 \cdot V_a}{0{,}337 \cdot r_d} \\ M_e = \mathrm{f}(n_e;\alpha) \\ k = \dfrac{c_x \cdot \rho}{2} \\ V_a = \int \dfrac{dV_a}{dt}\,dt \\ S_a = \int V_a\,dt \end{cases}, \quad (3)$$

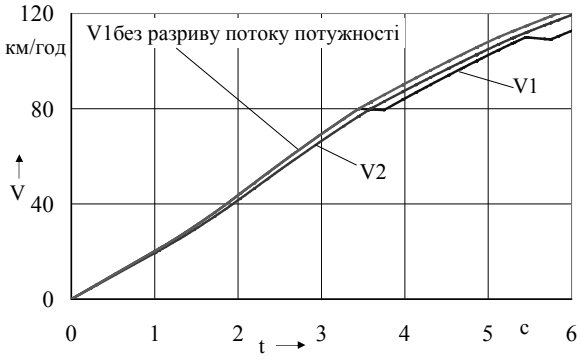

Рис. 4. Початок процесу розгону автомобіля з одно- та двопоточною трансмісією: V1 – швидкість автомобіля з однопоточною трансмісією, V2 – швидкість автомобіля із двопоточною трансмісією

Показовим, з точки зору аналізу, є початок розгону. Автомобілі з однопоточними трансмісіями на першій передачі розганяються синхронно. Це пояснюється однаковими масами, що рухаються поступово, та однаковими моментами інерції обертальних мас.

У той же час автомобіль із двопоточною трансмісією розганяється більш повільно, бо має, насамперед, більші обертальні маси. Цей процес має відображення на початку руху графіку шляху розгону (рис. 5).

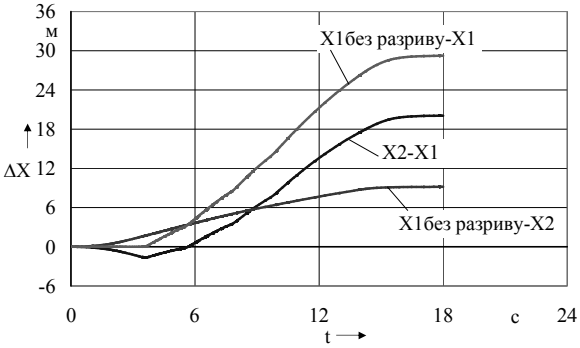

Рис. 5. Шлях розгону автомобіля з одно- та двопоточною трансмісією: X1 – відстань, що пройдена автомобілем з однопоточною трансмісією, X2 – відстань, що пройдена автомобілем із двопоточною трансмісією

З переходом на другу передачу ситуація змінюється і трансмісія з розривом потоку потужності починає програвати у швидкості розгону за рахунок наявності часу перемикання передач. Ця ситуація погіршується з кожним наступним перемиканням, і вже під час переходу на третю передачу автомобіль із двопотчною трансмісією випередить автомобіль, що має трансмісію з розривом потоку потужності. Розбіжність у темпах розгону автомобілів, що мають трансмісії без розриву потоку потужності, відносно не велика і пояснюється також розбіжністю у моментах інерції обертальних мас та загальній масі автомобілів.

Отримані результати свідчать про те, що автомобіль, оснащений двопоточною трансмісією, має перевагу перед традиційною механічною трансмісією в кінці розгону на 1,119 с за часом та 20 м за шляхом. У той же час порівнявши однопоточні трансмісії (традиційну та без розриву потужності), відзначимо значну перевагу другої за часом 1,523 с та за шляхом 29 м.

Під час порівняння обох трансмісій без розриву потоку потужності спостерігається не така явна, але впевнена перевага однопоточної трансмісії, – за часом 0,404 с, за шляхом 9 м. Для порівняння, такий показник можна асоціювати, якщо виразити цю відстань як два корпуси автомобіля. Другий режим розгону під час перегонів – це пряма після проходження повороту. Оскільки під час проходження повороту два автомобілі рухаються один за одним, то для виконання обгону автомобілю, що рухається позаду, необхідно за

той самий час пройти відстань щонайменше на два корпуси автомобіля більш ніж лідер. Проаналізувавши трасу, на якій проходить більшість етапів чемпіонату України для перегонів автомобілів класу Е-8 (Київський автодром «Чайка»), можна виділити середньостатистичні режими руху після проходження повороту. Це швидкість 100–120 км/год та запас прямої ділянки до наступного повороту близько 300–400 м. Із врахуванням таких вихідних даних визначимо різницю у шляху (рис. 6) для вже розглянутих на рис. 5 пар трансмісій.

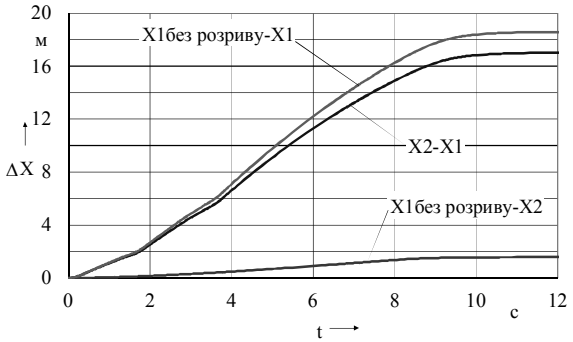

Рис. 6. Шлях розгону автомобіля з одно- та двопоточною трансмісією: X1 – відстань, що пройдена автомобілем з однопоточною трансмісією, X2 – відстань, що пройдена автомобілем із двопоточною трансмісією

Обидві трансмісії без розриву потоку потужності забезпечують суттєву перевагу у 12 м під час випередження на прямій ділянці. Цього цілком достатньо для коректного виконання обгону. Натомість дві трансмісії без розриву потоку потужності дуже щільно конкурують між собою. І під час перегонів тип трансмісії не може дати суттєву перевагу під час випередження у ході гонки. Різниця у шляху розгону становить менш ніж 2 м, що не достатньо для випередження суперника.

Висновки

Слід зазначити, що детальний прорахунок режимів руху слід проводити для кожної прямої ділянки траси після повороту. Крім того, виходячи зі співвідношення складності конструкції та динаміки розгону, безперечним лідером є конструкція однопочної трансмісії без розриву потоку потужності.

Литература

1. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач / С.А. Харитонов. – М.: Астрель АСТ, 2003. – 331 с.
2. Service Training. Программа самообучения 390 «7-ступенчатая коробка передач со сдвоенным сцеплением 0AM» Конструкция и принцип действия: – Volkswagen. – 75 с.
3. Heath R P G. Zeroshift. A seamless Automated Manual Transmission (AMT) with no torque interrupt. R P G Heath, A J Child. [Электронный ресурс]: Zeroshift 2007, SAE International 2007–01-1307. Режим доступа: http://www.zeroshift.com/pdf/A%20Seamless%20Automated%20Manual%20Transmission%20With%20No%20Torque%20Interrupt.pdf.
4. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навч. посібник / В.П. Волков. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 306 с.

References

1. Haritonov S.A. Avtomaticheskie korobki peredach [Automatic gearboxes] Moscow, Astrel’ AST Publ., 2003. 331 p.
2. Service Training. Programma samoobucheniya 390 «7-stupenchataya korobka peredach so sdvoennym scepleniem 0AM» Konstrukciya i princip dejstviya [Self-study program 390 «7-speed dual-clutch 0AM» Design and function], Volkswagen Publ., 75 p.
3. Heath R P G. Zeroshift. A seamless Automated Manual Transmission (AMT) with no torque interrupt. R P G Heath, A J Child. [Net resurs]: Zeroshift 2007, SAE International 2007–01-1307. Available at: http://www.zeroshift.com/pdf/A%20Seamless%20Automated%20Manual%20Transmission%20With%20No%20Torque%20Interrupt.pdf.
4. Volkov V.P. Teoriya ekspluatatsiynih vlastivostey avtomobilya: navch. posibnik [The theory of operational properties of the vehicle: manual], Kharkiv, KhNAHU Publ., 2003. 306 p.

Рецензент: Клименко В.І., професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 27 жовтня 2015 р.