

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗГОНА АВТОМОБИЛЯ С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЕГО ДВИГАТЕЛЯ

К.Т.Н. Уланов А.Г.

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия,
ulanovag@susu.ru

Автомобильная техника широко используется в сельском хозяйстве для выполнения различных работ. Предлагается методика выбора оптимальных передаточных чисел бесступенчатой трансмиссии автомобиля с учетом режимов движения и работы его двигателя. С целью эффективного использования энергетических ресурсов двигателя и реализации требуемых показателей тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля, производители стремятся придать конструкции трансмиссии определенные свойства, которые позволят обеспечить наиболее полное согласование их совместной работы. Эффективность процесса согласования совместной работы двигателя и трансмиссии, определяемая соответствием проектируемого автомобиля своему функциональному назначению, во многом зависит от применяемых методов проектирования. Для совершенствования этого процесса необходимо применение методов оптимального проектирования. Аналитические выражения для уравнения тягового баланса и соответственно математические модели разгона автомобиля в зависимости от поставленных задач могут и должны усложняться. Это бесспорно и определяется только допустимой погрешностью вычислений в каждом конкретном случае. В работе показано, что закономерность изменения передаточного числа бесступенчатой трансмиссии может быть управляемой, а самое главное – оптимальной в зависимости от режима движения автомобиля. Современный уровень развития средств автоматизации и управления позволяет реализовать этот процесс на практике. Полученные результаты расчета тягово-динамических и топливно-экономических показателей автомобиля с бесступенчатой трансмиссией, передаточные числа которой во время движения изменялись в соответствии с предлагаемой методикой, в сравнении с реально существующим прототипом, подтвердили ранее принятую гипотезу оптимизации и дают все основания для рекомендации применения данной методики на практике при выборе передаточных чисел бесступенчатой трансмиссии в зависимости от режима движения автомобиля.

Ключевые слова: автомобиль, бесступенчатая трансмиссия, вариатор, разгон, передаточное число

Введение

Многообразие существующих в настоящее время автомобилей определяется ростом требований, предъявляемых к ним со стороны потребителей. С целью эффективного использования энергетических ресурсов двигателя и реализации требуемых показателей тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля производители стремятся придать конструкции трансмиссии определенные свойства, которые позволят обеспечить наиболее полное согласование их совместной работы [1].

Эффективность процесса согласования совместной работы двигателя и трансмиссии, определяемая соответствием проектируемого автомобиля своему функциональному назначению, во многом зависит от применяемых методов проектирования. Для совершенствования этого процесса необходимо применение

методов оптимального проектирования [2–4]. В этой связи большой интерес представляют исследования, направленные на раскрытие потенциала системы «двигатель–трансмиссия», на сегодняшний день исчерпавшие возможности технического совершенствования механических ступенчатых трансмиссий. Решение данной задачи возможно только за счет применения других типов трансмиссий и формирования оптимальных режимов управления трансмиссиями.

Анализ продукции передовых фирм-производителей автомобилей показывает, что в рамках практически каждой производимой ими модели реализуются различные варианты силовых агрегатов (типы и объемы двигателей) и трансмиссий (типы трансмиссий и варианты передаточных чисел). Это позволяет в рамках одной модели обеспечить широкий диапазон эксплуатационных характеристик и суще-

ственно повысить ее покупательную способность. Появление на рынке бесступенчатых трансмиссий дает возможность для одной модификации автомобиля решить эту проблему за счет выбора оптимальных в зависимости от поставленной задачи параметров трансмиссии. Разнообразие конструкций современных вариаторов, а также средств автоматизации и управления предоставляет возможность сделать этот процесс управляемым и оптимальным с точки зрения показателей его динамичности и топливной экономичности.

В настоящее время скоростной режим автомобиля определяется скоростью транспортного потока, рекомендациями дорожных знаков, сложившейся дорожной обстановкой, настроением водителя, но только не условиями оптимального режима движения в данной ситуации. Нет и инструмента, который бы позволил задать, а затем проконтролировать этот процесс.

Цель исследования

Целью исследования является разработка математической модели для определения текущих значений передаточного числа бесступенчатой трансмиссии автомобиля в зависимости от режима его движения.

Математическая модель

Максимально возможное ускорение автомобиля при работе двигателя с полной подачей топлива определяется из уравнения тягового баланса [5]:

$$j = \frac{dv}{dt} = (D - \psi) \frac{g}{\delta}, \quad (1)$$

где j – ускорение автомобиля; v – скорость автомобиля; t – время разгона; D – динамический фактор; ψ – коэффициент сопротивления дороги; g – ускорение свободного падения; δ – коэффициент учета вращающихся масс.

В результате исследования функции изменения ускорения автомобиля от скорости его движения (1) на экстремум получено выражение для определения значений передаточного числа трансмиссии в зависимости от скорости движения автомобиля:

$$i_{\text{тр}} = -2 \sqrt{\frac{0,0628 r_k^2 n_N^2}{v^2}} \cdot \cos\left(\varphi + \frac{2}{3}\pi\right) + \frac{0,1253 r_k n_N}{v}, \quad (2)$$

где r_k – радиус качения колеса; n_N – частота вращения вала двигателя при максимальной мощности.

В уравнении (2):

$$\varphi = \frac{1}{3} \arccos\left(\frac{0,000469 G_a v}{N_{\text{max}} \eta} \times \left[\frac{kF v^2}{13 G_a} + f_0(1 + k_1 v^2)\right] - 0,6875\right),$$

где G_a – полный вес автомобиля; N_{max} – максимальная мощность двигателя; $\eta_{\text{тр}}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии; kF – фактор обтекаемости; f_0 – коэффициент сопротивления качению при малых скоростях; k_1 – коэффициент, равный $(4...5)10^{-5}$.

На рис. 1 в качестве примера представлена предлагаемая закономерность (2) изменения передаточного числа вариатора в зависимости от скорости движения автомобиля *Subaru Impreza 2.0R*.

Использование выражения (2) при выборе передаточного числа бесступенчатой трансмиссии в зависимости от скорости движения позволило обеспечить автомобилю максимальную динамику разгона, т.е. достичь максимальной скорости движения за кратчайшее время.

В результате исследования функции изменения ускорений автомобиля от оборотов вала двигателя (1) на экстремум было получено выражение для определения значений передаточного числа трансмиссии в зависимости от оборотов двигателя:

$$i_{\text{тр}} = \sqrt[3]{\frac{0,1414 r_k^3 G_a n_{\text{max}}^2 (kF / 13 / G_a + f_0 k_1) n}{9550 N_{\text{max}} \eta_{\text{тр}} (0,5 - n / n_{\text{max}})}}, \quad (3)$$

где G_a – полный вес автомобиля; n_{max} – максимальная частота вращения вала двигателя; n – текущее значение частоты вращения вала двигателя; N_{max} – максимальная мощность двигателя.

Область существования полученной функции (3) для определения передаточного числа трансмиссии $i_{\text{тр}}$ ограничена значениями частоты вращения вала двигателя $n < 0,5 n_{\text{max}}$.

На рис. 2 в качестве примера представлена предлагаемая закономерность изменения передаточного числа вариатора в зависимости от оборотов вала двигателя автомобиля *Subaru Impreza 2.0R*.

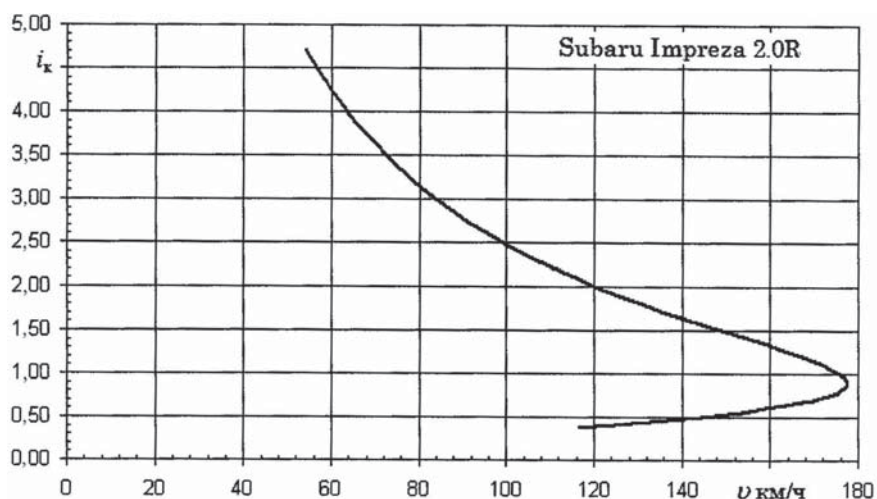


Рис. 1. Закономерность изменения передаточного числа вариатора в зависимости от скорости движения автомобиля *Subaru Impreza 2.0R*

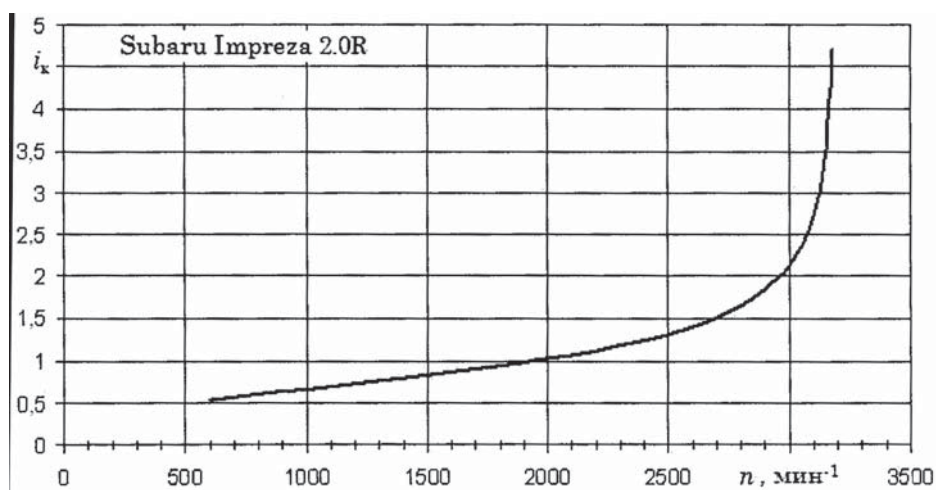


Рис. 2. Закономерность изменения передаточного числа вариатора в зависимости от частоты вращения вала двигателя автомобиля *Subaru Impreza 2.0R*

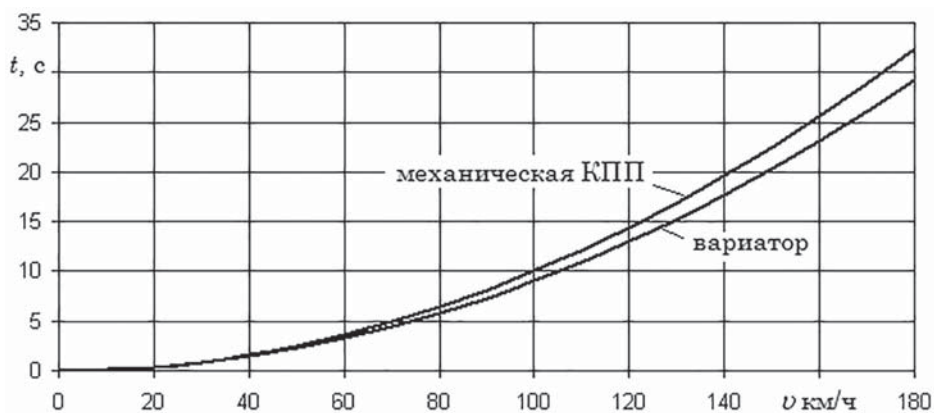


Рис. 3. Графики времени разгона автомобиля *Subaru Impreza 2.0R*

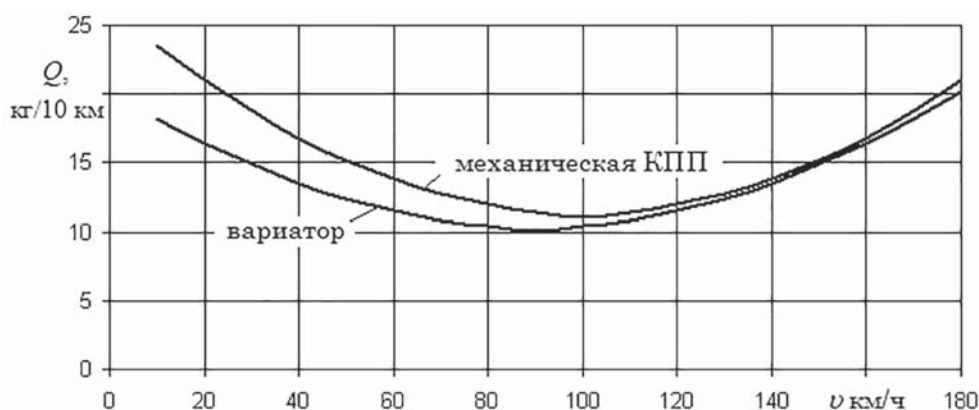


Рис. 4. Топливо-экономическая характеристика автомобиля *Subaru Impreza 2.0R*

Использование выражения (3) при выборе передаточного числа бесступенчатой трансмиссии в зависимости от частоты вращения вала двигателя позволило автомобилю двигаться с минимальным расходом топлива.

Результаты расчетов

Сравнительные расчеты подтвердили сделанные предположения. Были произведены расчеты времени разгона и расхода топлива автомобиля *Subaru Impreza 2.0R* с серийной механической коробкой перемены передач и с серийным вариатором, передаточные числа которого изменялись во время разгона в первом случае согласно выражению (2), а во втором – согласно выражению (3). Результаты расчетов представлены, соответственно, на рис. 3 и 4.

Из представленных графиков видно, что если во время разгона автомобиля с бесступенчатой трансмиссией передаточные числа ее будут изменяться согласно закономерностям (2) и (3), то в первом случае автомобиль будет разгоняться до заданной скорости за самый короткий промежуток времени, а во втором случае расход топлива будет минимальным. В том и в другом случае поставленная цель достигнута: процесс разгона удалось сделать управляемым и оптимальным.

Заключение

Аналитические выражения для уравнения тягового баланса (1) и соответственно математические модели разгона автомобиля в зависимости от поставленных задач могут и должны усложняться. Это бесспорно и определяется только допустимой погрешностью вычислений в каждом конкретном случае. Установлено, что закономерность изменения передаточно-

го числа бесступенчатой трансмиссии может быть управляемой, а самое главное – оптимальной в зависимости от режима движения автомобиля. Современный уровень развития средств автоматизации и управления позволяет реализовать этот процесс на практике.

Литература

1. Русаков С.С. Разработка методики оптимизации передаточных чисел механической ступенчатой трансмиссии легкового автомобиля с учетом режимов работы его двигателя: дис. ... канд. техн. наук. Тольятти, 2007. 134 с.
2. Мартыхин Ю.М. Методика тягово-динамического расчета мототранспортного средства с автоматическим клиноременным вариатором в силовой передаче. Серпухов: ВНИИмотопром, 1975. 18 с.
3. Рябов. Г.К., Андреев С.А. Автоматическая трансмиссия мототранспортных средств: теория, расчет и конструирование. Ковров: КГТА, 2006. 92 с.
4. James I.B., Vaughan N.D.. Dynamic modeling and validation of the regime change characteristics of a split power, infinitely variable transmission // IMechE International Seminar S540, 1997.
5. Бортницкий, В.И. Задорожный. Тягово-скоростные качества автомобилей. Киев: Вища школа, 1978. 176 с.

References

1. Rusakov S.S. *Razrabotka metodiki optimizatsii peredatochnykh chisel mekhanicheskoy stupenchatoy transmissii legkovogo avtomobilya s uchetom rezhimov raboty ego dvigatelya*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Development of a technique for optimizing the gear ratios of a mechanical fixed-ratio transmission of a passenger automobile, taking into account the operating modes of its

- engine: Dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Tol'yatti, 2007. 134 p.
2. Martykhin Yu.M. *Metodika tyagovodnamicheskogo rascheta mototransportnogo sredstva s avtomaticheskim klinoremennym variatorom v silovoy peredache* [Technique of traction-dynamic calculation of a motor-vehicle with an automatic V-belt variator in power transmission]. Serpukhov: VNIImotoprom Publ., 1975. 18 p.
 3. Ryabov G.K., Andreev S.A. *Avtomaticheskaya transmissiya mototransportnykh sredstv: teoriya, raschet i konstruirovaniye* [Automatic transmission of vehicles: theory, calculation and design]. Kovrov: KGTA Publ., 2006. 92 p.
 4. James I.B., Vaughan N.D.. Dynamic modeling and validation of the regime change characteristics of a split power, infinitely variable transmission. IMechE International Seminar S540, 1997.
 5. Bortnitskiy, V.I. Zadorozhnyy. *Tyagovoskorostnye kachestva avtomobiley* [Traction-speed characteristics of vehicles]. Kiev: Vishcha shkola Publ., 1978. 176 p.

OPTIMIZATION OF VEHICLE ACCELERATION PROCESS, TAKING INTO ACCOUNT THE MODE OF OPERATION OF ITS ENGINE

Ph.D. **A.G. Ulanov**

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia,
ulanovag@susu.ru

Automotive vehicles are widely used in agriculture for various works. The technique of a choice of optimum gear ratio of a continuously variable transmission of vehicle taking into account the modes of movement and work of its engine is offered. With the purpose of efficient use of engine power resources and implementation of the required indicators of traction-speed and fuel-economic properties of the automobile, manufacturers are trying to impart certain properties to the transmission design that will ensure the most complete coordination of their joint work. The efficiency of the process of coordinating the joint operation of the engine and transmission, determined by the conformity of the designed vehicle to its functional purpose, largely depends on the design methods used. To improve this process, it is necessary to use methods of optimal design. Analytical expressions for the equation of traction balance and, correspondingly, the mathematical model of the vehicle acceleration, depending on the tasks, can and should become complicated. This is indisputable and is determined only by the permissible error in the calculations in each particular case. The paper shows that the regularity of the change in the transmission ratio of a continuously variable transmission can be controlled, and, most importantly, optimal, depending on the mode of vehicle movement. The modern level of development of automation and control means allows to implement this process in practice. The results of calculating the traction-dynamic and fuel-economic parameters of vehicle with continuously variable transmission, the gear ratios of which changed during the movement in accordance with the proposed procedure, in comparison with the actual prototype, confirmed the previously accepted optimization hypothesis and lead to recommendation of the application of this technique in practice when choosing the gear ratios of a continuously variable transmission, depending on the driving mode of the vehicle.

Keywords: vehicle, continuously variable transmission, variator, acceleration, gear ratio