

Динамические качества автомобиля и мощность двигателя

Р. С. ГАН,
д-р техн. наук В. Б. ПРОСКУРЯКОВ

Кафедра «Колёсные и гусеничные машины», С.-Петербургский государственный технический университет

Одним из важнейших параметров, характеризующих динамические качества автомобиля, является время разгона до определённой скорости. В технических характеристиках автомобилей чаще всего приводится время разгона до 100 км/ч и до максимальной скорости, которое определяется экспериментальным путём.

Это время также можно определить в результате тягово-динамического расчёта, который является важным этапом проектирования автомобиля. В основу классического тягового расчёта положена внешняя характеристика двигателя, то есть зависимость мощности и момента от угловой скорости вращения коленчатого вала при полной подаче топлива.

Существует два метода расчёта времени разгона – аналитический и графоаналитический [2]. Основное преимущество первого метода заключается в том, что он позволяет получить аналитическое выражение для времени разгона и исследовать его математически. Таким образом, уже на стадии проектирования автомобиля можно прогнозировать зависимость времени разгона от мощности двигателя и осуществлять выбор двигателя более обоснованно, добиваясь сочетания экономичности с хорошими динамическими показателями машины.

В аналитическом методе используется дифференциальное уравнение прямолинейного движения машины [2]. Решая его относительно времени разгона, запишем

$$t_i = m \delta_{epi} \int \frac{dv}{P - P_R} \quad (1.1)$$

или, используя зависимость $N = Pv$,

$$t_i = m \delta_{epi} \int \frac{v dv}{N - N_R} \quad (1.2)$$

где m – масса автомобиля, кг;
 δ_{epi} – коэффициент учёта вращающихся масс на i -ой передаче;
 v – скорость движения автомобиля, м/с
 P – сила тяги, Н;
 P_R – суммарная сила сопротивления, действующая на автомобиль, Н;
 N – мощность, расходуемая на движение автомобиля, Вт
 N_R – суммарная мощность сопротивления, Вт.

Очевидно, что для нахождения решений интегралов в выражениях (1.1) и (1.2) необходима аппроксимация экспериментальных зависимостей $P(v)$ и $N(v)$ аналитическими выражениями. В литературе [1], [2] встречается несколько подобных выражений, в частности, зависимости момента двигателя от частоты вращения коленчатого вала двигателя,

которые легко могут быть преобразованы в зависимости $P(v)$ и $N(v)$. Однако мы в данной работе предлагаем воспользоваться непосредственно аппроксимацией зависимости мощности двигателя от частоты вращения коленчатого вала полиномом второй степени. Здесь и в дальнейшем мы будем оперировать именно с мощностью как с наиболее естественным параметром оценки транспортных двигателей.

Коэффициенты полинома мощности при наличии эмпирической характеристики двигателя $N(\omega)$ могут быть найдены по любым трём точкам этой характеристики или методом наименьших квадратов.

Используя известное соотношение частоты вращения коленчатого вала и скорости движения автомобиля [2], можем найти зависимость мощности двигателя от скорости движения автомобиля для каждой передачи

$$N_i(v) = a_{0i} + a_{1i}v + a_{2i}v^2, \quad (1.3)$$

где i – номер передачи,

a_{0i} , a_{1i} , a_{2i} – коэффициенты полинома.

На следующем этапе необходимо определить скоростные диапазоны, т. е. начальную и конечную скорости движения на каждой передаче v_{Hi} и v_{Ki} . Разгон начинается на первой передаче. Переключение на вторую передачу происходит при достижении оборотов n_N , при которых двигатель развивает максимальную мощность. Конечную скорость движения на первой передаче при оборотах двигателя n_N определим, используя то же соотношение частоты вращения коленчатого вала и скорости движения автомобиля, что и в предыдущем случае.

Снижением скорости за время переключения передач можно пренебречь, следовательно, $v_{K1} = v_{H2}$. Конечная скорость движения на второй передаче определяется аналогично первой, и так далее.

В случае прямолинейного движения по горизонтальной поверхности на автомобиль действуют две силы сопротивления – сила сопротивления качению и сила сопротивления воздуха. Эти силы, а также соответствующие мощности могут быть найдены по формулам [1]. Однако в этом случае знаменатель подынтегральной функции выражения (1.2) будет содержать слагаемое с третьей степенью скорости. Для приведения интеграла движения к табличной форме целесообразно аппроксимировать суммарную мощность сопротивления полиномом второй степени на участках, соответствующих скоростным диапазонам движения на каждой передаче:

$$N_{Ri} = b_{0i} + b_{1i}v + b_{2i}v^2 \quad (1.4)$$

Коэффициенты b_{0i} , b_{1i} и b_{2i} могут быть найдены так же, как и коэффициенты полинома $N(\omega)$.

Как отмечалось ранее, классический тяговый расчёт основан на использовании внешней характеристики двигателя, в то время как на практике в основном используются режимы с частичной подачей топлива. Чтобы учесть этот факт, а также возможность форсирования и установки на автомобиль более мощного двигателя, введём понятие коэффициента использования мощности двигателя C . Этот безразмерный коэффициент представляет собой отношение фактической мощности, расходуемой на движение автомобиля на данном режиме работы двигателя к базовой, определяемой по внешней характеристике стандартного двигателя:

$$C = \frac{N_{i\phi}(v)}{N_i(v)},$$

где $N_{i\phi}(v)$ - фактическая мощность, расходуемая на движение.

Пределы изменения коэффициента можно принять от 0 до 2. Значение коэффициента $C = 0$ соответствует движению по инерции с двигателем, отключённым от ведущих колёс. $C = 1$ соответствует внешней характеристике двигателя, $C < 1$ – частичным (дроссельным) характеристикам, $C > 1$ – форсированию либо установке более мощного двигателя. Верхний предел $C = 2$ устанавливается исходя из того, что возможности форсирования ограничены, а использование существенно более мощного двигателя приведёт к значительному увеличению массы автомобиля, что исказит результаты расчётов.

Запишем выражение для времени разгона автомобиля на i -ой передаче со скорости v_{Hi} до скорости v_{Ki} с учётом коэффициента использования мощности

$$t_i = m\delta_{epi} \int_{v_{Hi}}^{v_{Ki}} \frac{v dv}{CN - N_R} \quad (1.5)$$

или, с учётом (1.3) и (1.4)

$$t_i = m\delta_{epi} \int_{v_{Hi}}^{v_{Ki}} \frac{v dv}{(Ca_{0i} - b_{0i}) + (Ca_{1i} - b_{1i})v + (Ca_{2i} - b_{2i})v^2}, \quad (1.6)$$

Произведя интегрирование, получим

$$t_i = \frac{m\delta_{epi}}{2(Ca_{2i} - b_{2i})} \left[\ln |(Ca_{0i} - b_{0i}) + (Ca_{1i} - b_{1i})v + (Ca_{2i} - b_{2i})v^2| - \frac{Ca_{1i} - b_{1i}}{\sqrt{\Delta_i}} \times \right. \\ \left. \times \ln \left| \frac{2(Ca_{2i} - b_{2i})v + (Ca_{1i} - b_{1i}) - \sqrt{\Delta_i}}{2(Ca_{2i} - b_{2i})v + (Ca_{1i} - b_{1i}) + \sqrt{\Delta_i}} \right| \right]_{v_{Hi}}^{v_{Ki}}, \quad (1.7)$$

где $\Delta_i = (Ca_{1i} - b_{1i})^2 - 4(Ca_{0i} - b_{0i}) \times (Ca_{2i} - b_{2i})$

Вычислив по формуле (1.7) время разгона автомобиля на каждой передаче, можно определить суммарное время разгона до определённой скорости:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i + (n-1)t_{nep}, \quad (1.8)$$

где n – число передач, на которых осуществляется разгон;

$t_{пер}$ - время, затрачиваемое на каждое переключение передач.

Данная методика была использована авторами для расчёта времени разгона автомобиля ВАЗ-21083 от 0 до 100 км/ч при полной подаче топлива ($C = 1$). Результаты расчёта с точностью до 5 % соответствуют экспериментальным данным, полученным на АО «АВТОВАЗ». Это свидетельствует о возможности практического применения методики.

Обращаясь к выражениям (1.7) и (1.8), необходимо отметить, что время разгона может быть рассмотрено как функция коэффициента использования мощности. Зависимости времени разгона на первой – четвёртой передачах и суммарного времени разгона до 100 км/ч от коэффициента использования мощности для автомобиля ВАЗ-21083 представлены на рис. 1 и рис. 2.

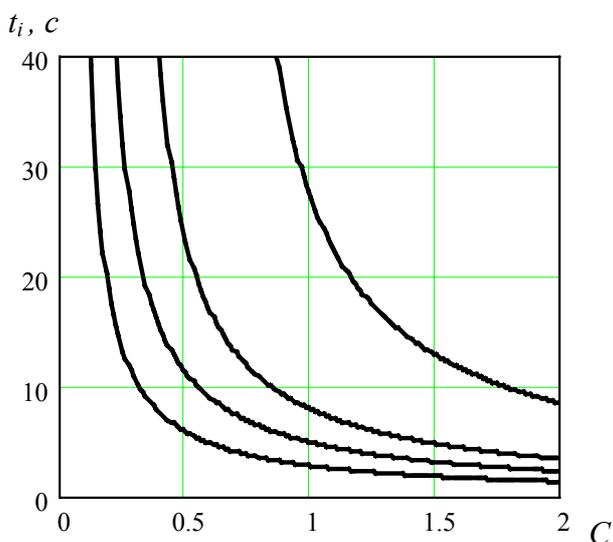


Рис.1. Зависимость времени разгона на первой – четвёртой передачах от коэффициента использования мощности для автомобиля ВАЗ-21083

Интересно отметить, что большую часть общего времени разгона автомобиль проходит на высших передачах. Так, при разгоне до максимальной скорости и работе двигателя при полной подаче топлива ($C = 1$) время движения автомобиля на четвёртой передаче в 9,5 раз превышает время движения на первой передаче.

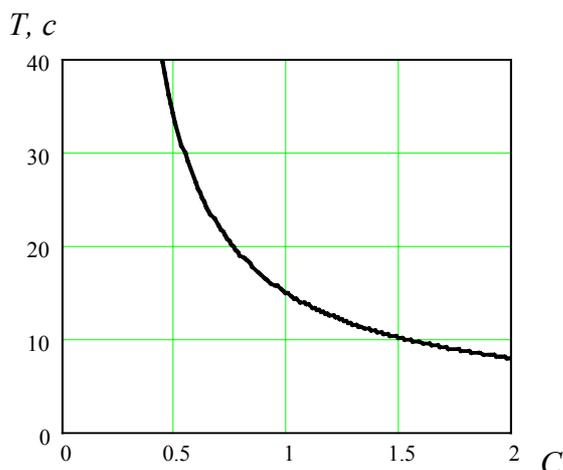


Рис. 2. Зависимость суммарного времени разгона до 100 км/ч от коэффициента использования мощности для автомобиля ВАЗ-21083

Как видно из рис. 1 и рис. 2, зависимость времени разгона от коэффициента использования мощности является нелинейной убывающей функцией. Вследствие нелинейности этой функции «цена» уменьшения времени разгона до 100 км/ч на одну секунду оказывается неодинаковой для различных значений коэффициента C . Так, при $C = 0,5$ время разгона до 100 км/ч составляет 33 с, и чтобы снизить его до 32 с, необходимо увеличение C до 0,52, т. е. на 0,02. При $C = 1,5$ это время составляет 10 с, а его уменьшения на 1 с можно добиться увеличением C на 0,2, что в десять раз больше, чем в первом случае.

Выводы.

1. Получена аналитическая зависимость времени разгона автомобиля от основных его параметров – мощности двигателя (косвенно, через коэффициенты полинома мощности a_{0i} , a_{1i} и a_{2i}), массы, коэффициента учёта вращающихся масс, начальной и конечной скорости разгона.
2. Введён коэффициент использования мощности, который позволяет проводить расчёт для обычного двигателя, работающего при полной или частичной подаче топлива, а также для форсированного или более мощного по сравнению со штатным двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Забавников Н. А. Аналитическое определение времени и пути разгона//Автомобильная промышленность. – 1961. - № 6. – С.11-14.
2. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. Т. IV-15 – М.: Машиностроение, 1997.- С. 56-61.