

УДК 621.43.018.82

Химченко А.В., Мищенко Н.И., Коваленко В.В.

## **К ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОРМОЗА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

*Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий  
национальный технический университет», г. Горловка, ДНР*

Аннотация. Работа посвящена выбору рациональных параметров электродвигателя тормозного стенда для испытаний двигателей внутреннего сгорания автомобиля (ДВС). Полученные зависимости и результаты моделирования, показывают, что потребная мощность электродвигателя тормоза существенно ниже мощности ДВС и зависит только от параметров автомобиля и электродвигателя нагрузочного устройства.

Ключевые слова: автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, испытания, моделирование

Abstract. The work is devoted to the selection of rational parameters of the electric motor of the brake test bench for testing internal combustion engines (ICE) of an automobile. The obtained dependencies and simulation results show that the required electric motor power of the brake is substantially lower than the rated power of the ICE and depends only on the parameters of the vehicle and the electric motor of the load device.

Keywords: car, internal combustion engine, testing, simulation.

Электрические тормоза нашли широкое распространение в тормозных стендах для испытания двигателей внутреннего сгорания. Они позволяют осуществлять исследования в широком диапазоне частот вращения и нагрузок как в режиме нагружения, так в режиме прокрутки ДВС. Вопросы о выборе мощности двигателя для электрического тормоза практически не возникает при стандартном снятии скоростных и нагрузочных характеристик. Он освещен в литературе [1, 2]. Однако эти характеристики не дают ответа на вопрос о том, каковы будут параметры токсичности и экономичности автомобиля с установленным испытуемым двигателем. Это связано с тем, что токсичность автомобиля определяется в соответствии с ездовыми циклами и работа двигателя

должна соответствовать режимам работы по этим ездовым циклам. Производители современного испытательного оборудования не делятся своими наработками. Кроме того, для науки, развиваемой на базе учебных заведений, использовать готовые решения в подавляющем большинстве случаев финансово не обосновано, и оборудование разрабатывается под конкретные задачи самостоятельно.

Следует отметить, что для испытаний двигателя внутреннего сгорания существуют стандартные методики. Они отражены в правилах ЕЭК ООН №96-01 для установившихся режимов работы двигателя и правилами ЕЭК ООН №49-02 для работы в динамических режимах нагружения. Однако данные методики, позволяя сравнивать двигатели по характеристикам, не дают возможности оценить эффект от установки двигателя на автомобиль. И получите на этапе испытания экспериментального образца информацию о токсичности отработавших газов и или расходе топлива автомобилем при движении соответствующих условиях, определённых ездовыми циклами. Для легковых автомобилей это правила ЕЭК ООН №83(05).

Мощность двигателя автомобиля при движении, например, в городском ездовом цикле не будет использоваться в полной мере и будет определяться дорожным и воздушным сопротивлением при движении с заданным ускорением. Поэтому мощность электродвигателя тормоза может быть гораздо меньше, чем номинальная мощность испытуемого двигателя внутреннего сгорания.

Вопрос о максимальной мощности важен для выбора параметров измерительных устройств [3] и особенно в случае оценки конструкций двигателей, применение которых эффективно на частичных режимах [4–6].

Целью этой работы было определение методики оценки необходимой мощности электродвигателя тормозного стенда при испытании ДВС по ездовому циклу путем моделирования системы «двигатель — тормоз».

Для испытания ДВС в Европе предусмотрены European Stationary Cycle (Правила ЕЭК ООН №96-01 и №49-02). Как показывает анализ ESC, испытания требуется произвести на 8 и 13 режимах работы двигателя. Также 6 и 13 ступенчатые циклы испытаний предполагают стандарты Японии. Американский стандарт

ISO 8178 имеет 11 режимов испытаний при том, что двигатели различных назначений, в том числе и транспортные, испытываются не более чем на 8 режимах.

Рабочий цикл испытаний автомобиля на токсичность, согласно правилам ЕЭК ООН №83(5), предполагает 4 простых городских цикла и 1 загородный. Ограничимся рассмотрением простого городского цикла. Он включает в себя 25 режимов движения (фазы цикла), которые в общей сложности занимают 195 секунд. Фазы цикла, объединённые по видам, приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Разбиение цикла по фазам

	Время (с)	%	
Холостой ход	60	30,8	35,4
Движение транспортного средства на холостом ходу с выключенным сцеплением	9	4,6	
Переключение передач	8	4,1	
Ускорение	36	18,5	
Периоды постоянной скорости	57	29,2	
Замедление	25	12,8	
	195	100,0	

Фактически это 15 различных режимов, из которых 7 это динамически изменяющиеся частоты вращения и нагрузки. Следует учесть, что отдельная фаза цикла далеко не всегда определяет отдельный режим работы двигателя. Так:

- переключение передач предположительно происходит в режиме холостого хода, но принципиально системой управления работой двигателя при переключении передач могут осуществляться манипуляции, приводящие к изменению частоты вращения и нагрузки;

- движение транспортного средства на холостом ходу с выключенным сцеплением, что на отдельных участках в общей сложности составляет 9 секунд, может проходить с отключением подачи топлива, с помощью системы управления на принудительном холостом ходу;

- фазы ускорения проходят в течение 36 секунд. Фактически в каждый отдельный момент времени при данной фазе испы-

таний двигатель имеет отдельный режим работы, соответствующие уникальные нагрузки и частоты вращения, которые могут не повторяться в течение ускорения.

Таким образом, не один из стандартных циклов испытания двигателей внутреннего сгорания не может в полной мере отразить или имитировать работу двигателя в составе транспортного средства. Эта задача сводится к созданию испытательного стенда, способного обеспечить нагрузку, имитирующую работу в составе автомобиля.

Подробное рассмотрение режимов движения автомобиля, в соответствии с требованиями правила ЕЭК ООН №83(05), позволяет на основании базовых уравнений теории движения колесных машин определить необходимый режим работы двигателя: момент и мощность, отдаваемые в трансмиссию, при заданной скорости движения автомобиля.

Для тягового режима движения из уравнения мощностного баланса получена зависимость потребной мощности двигателя

$$N_e = \frac{(P_\partial + P_B)V + m_a \frac{r_\kappa}{U_{mp}} \frac{d\omega_e}{dt} \delta_{ep}}{\eta_{mp}}. \quad (1)$$

Здесь и далее, если иное не оговорено, все единицы измерения величин приведенных зависимостей должны быть приведены к СИ;  $\frac{r_\kappa}{U_{mp}} \frac{d\omega_e}{dt} = j_a$  — ускорение автомобиля;  $\delta_{ep}$  — коэффициент

учета вращающихся масс;  $(P_\partial + P_B)V / \eta_{mp} = N_{c\Sigma}$  — мощность, затраченная на преодоление сопротивления движению, определяется дорожными испытаниями.

Данные о силах сопротивления автомобиля ВАЗ 2123 Chevrolet Niva базовой комплектации с массой  $m_a = 1770$  кг были получены в результате дорожных испытаний по методике согласно Правил ЕЭК ООН №83(05). Приведенная к нормальным условиям мощность (Вт) на преодоление сопротивления движению с корреляционным отношением 0,9993 выражена полиномом

$$N_{c\Sigma} = 0,0132V^3 + 0,4561V^2 + 27,743V. \quad (2)$$

Скорость автомобиля  $V$  в зависимости (2) выражена в км/ч.

Для режимов замедления мощность двигателя отличается от зав. (1), так как КПД трансмиссии  $\eta_{mp}$  оказывается в числителе:

$$N_{mp\partial} = m_a \delta_{\text{вп}} \frac{r_k}{U_{mp}} \frac{d\omega_e}{dt} \eta_{mp} - (P_{\text{с}} + P_{\text{д}}) V \eta_{mp}. \quad (3)$$

При движении по простому городскому циклу частота вращения коленчатого вала двигателя, предназначенного для использования на автомобиле ВАЗ 2123 Chevrolet Niva, как видно из графика на рисунке 1, не превышает  $3000 \text{ мин}^{-1}$ .

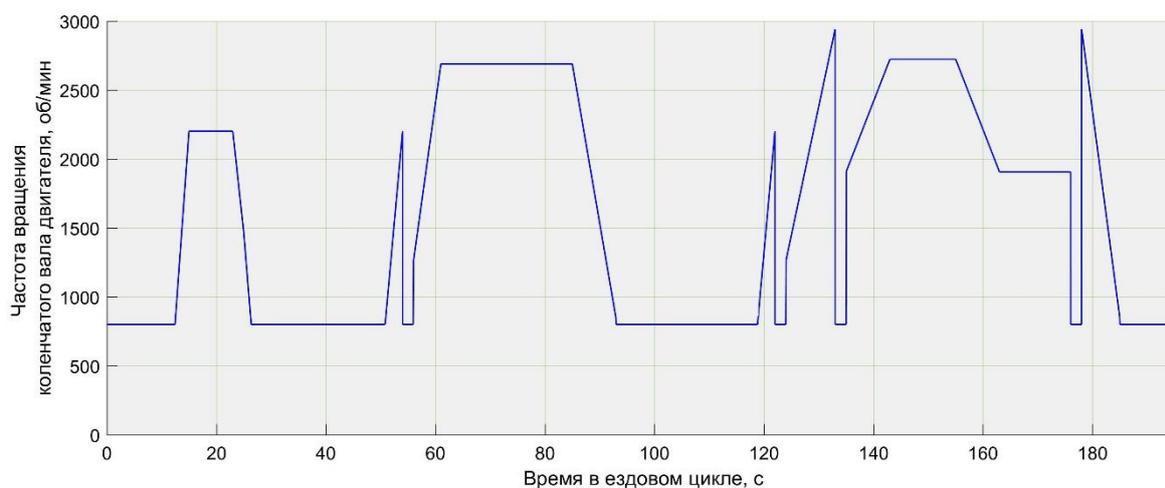


Рисунок 1 — Частота вращения коленчатого вала двигателя автомобиля ВАЗ 2123 Chevrolet Niva в ездовом цикле

Данная методика позволила смоделировать изменение параметров работы ДВС при работе, обеспечивающей движение в соответствии с ездовым циклом. Для упрощения не учитывалось влияние инерции деталей ДВС в момент отключения двигателя от трансмиссии. Моделирование проводилось в среде MatLab Simulink. Фрагмент модели показан на рис. 2. Это позволило получить зависимость эффективной мощности двигателя для ВАЗ 2123 Chevrolet Niva в европейском ездовом цикле (рис. 3).

Из рисунка 3 видно, что максимальная мощность в данных условиях не превышает 6 кВт. На отдельных режимах она отрицательна. В реальном режиме торможения при подключённом к трансмиссии двигателе тормозная мощность будет обеспечиваться не только ДВС, но и тормозными механизмами рабочей тормозной системы. Это требует отдельного рассмотрения режимов торможения и расширения модели с точки зрения работы системы управления электродвигателем нагрузочного устройства.

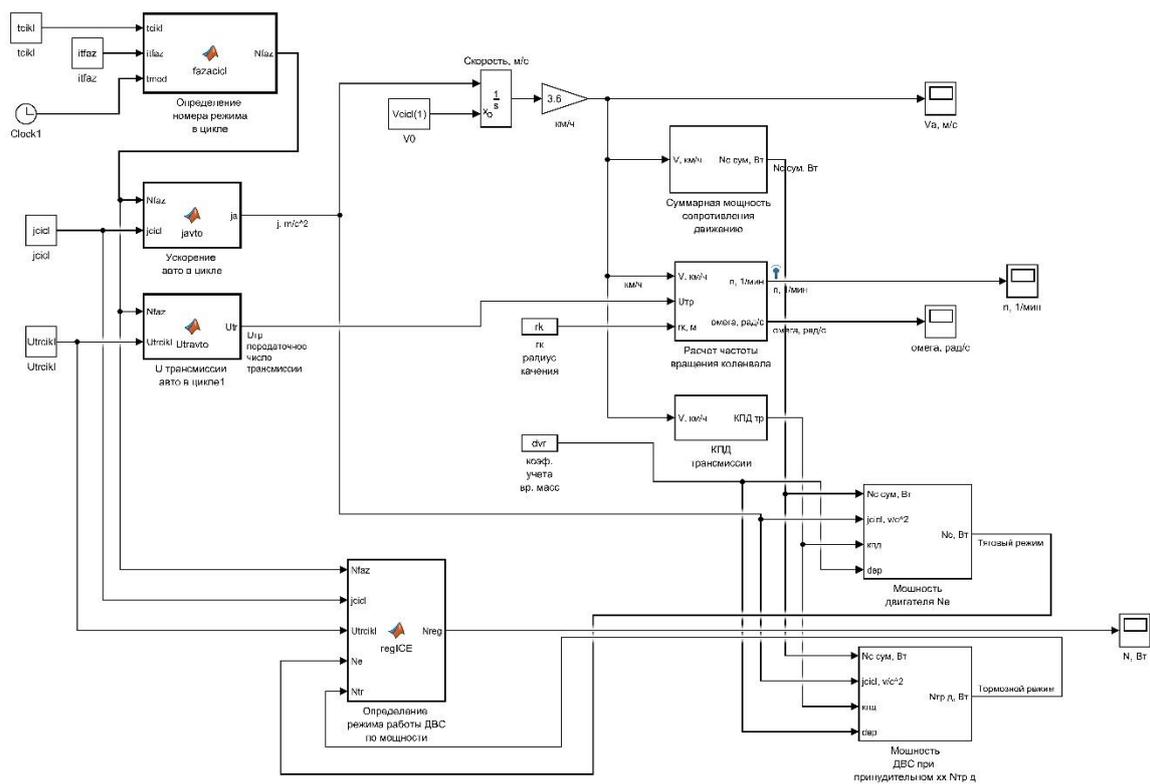


Рисунок 2 — Модель для определения потребной мощности и частоты вращения коленчатого вала ДВС в среде MatLab Simulink применительно для автомобиля ВАЗ 2123 Chevrolet Niva

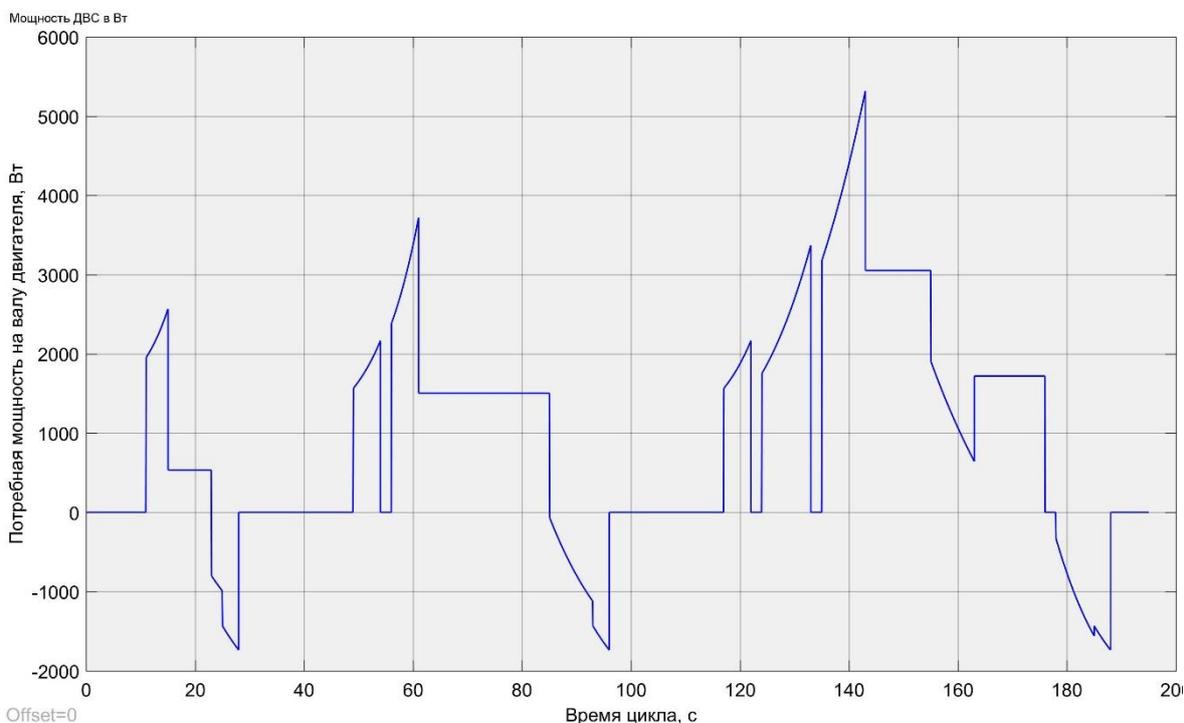


Рисунок 3 — Потребная эффективная мощность двигателя для движения по ездовому циклу

Опуская данный вопрос, оценим мощность электродвигателя тормоза, необходимую для обеспечения нагрузки ДВС. Она отличается от эффективной мощности двигателя, так как включает в себя затраты энергии на разгон и торможение вращающихся масс.

Рассмотрев электродвигатель тормоза с точки зрения теоремы об изменении кинетической энергии, получим связь потребных мощностей ДВС и электродвигателя  $N_{эд м}$ :

$$N_{эд м} = N_{двс} - J_{эд м} \omega_e \frac{d\omega_e}{dt}, \quad (4)$$

где  $N_{двс}$  — мощность двигателя, определяемая по зав. (1) или (3);  $J_{эд м}$  — момент инерции ротора,  $\omega_e$  — угловая скорость электродвигателя жестко соединенного с ДВС,  $t$  — время.

В данном случае максимальная мощность электродвигателя тормоза незначительна и благодаря наличию инерции ротора в своих пиковых значениях, за исключением переходных режимов, ниже потребной мощности ДВС (см. рис. 3).

Таким образом, можно сделать выводы, что:

– предложенная методика позволяет моделировать работу тормозного стенда при испытаниях двигателя внутреннего сгорания на режимах работы соответствующих движению автомобиля по ездовому циклу согласно правилам ЕЭК ООН №83(05);

– потребная мощность электрического тормоза существенно ниже номинальной мощности двигателей внутреннего сгорания, устанавливаемых на автомобилях, и не зависит от мощности ДВС, а определяется параметрами автомобиля и моментом инерции вращающихся масс.

#### Список литературы

1. Atkins, Richard D., An Introduction to Engine Testing and Development / Richard D. Atkins. — SAE International, 2009. — 308 p. ISBN: 0768020999

2. Райков, И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания: учебник для вузов / И.Я. Райков. — М.: Высш. школа, 1975. — 320 с.

3. Химченко, А.В. К вопросу об измерении крутящего момента двигателя внутреннего сгорания с помощью торсионной

муфты / А.В. Химченко, Н.И. Мищенко, // = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. — 2017. — 1(20). — С. 3–15.

4. Мищенко, Н.И. Расчет и исследование механизма изменения степени сжатия для бензинового двигателя. Часть 1. Математическая модель / Н.И. Мищенко, А.В. Химченко, Т.Н. Колесникова и др. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. — Горлівка, 2008. — 1(6). — С. 10–16.

5. Мищенко, Н.И. Расчет и исследование механизма изменения степени сжатия для бензинового двигателя. Часть 2. Анализ / Н.И. Мищенко, А.В. Химченко, Т.Н. Колесникова и др. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. — Горлівка, 2008. — 1(6). — С. 17–21.

6. Мищенко, Н.И. Некоторые результаты исследования отключения цилиндров в автомобильном бензиновом двигателе внутреннего сгорания / Н.И. Мищенко, В.С. Шляхов, Ю.В. Юрченко и др. // Вісник СевНТУ. — Севастополь, 2013. — 142. — С. 84–87.