УДК 629.331

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-66-73

**УТОЧНЕНИЕ РЕЖИМОВ УПРОЩЕННОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**¹Доровских Дмитрий Владимирович¹Глазков Юрий Евгеньевич¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат: Существует два подхода к осуществлению процедуры проверки содержания вредных веществ в отработанных газах двигателя: в первом используют конкретные режимы работы двигателя, а величины выбросов отдельных вредных компонентов отработанных газов приводят к единице мощности или пробега автомобиля; во втором - используют режимы «ездового цикла», а нормирование содержания вредных веществ выполняют за цикл. Разрабатывали упрощенный испытательный ездовой цикл заменой неустановившихся режимов движения Европейского ездового цикла установившимися. Каждый нестандартный режим заменяли «средней точкой» режима цикла, которая представляет собой средние значения показателей, определяющих режим работы двигателя. В результате замены неустановившихся режимов Европейского городского ездового цикла получено девять установившихся режимов, которые составляют упрощенный испытательный цикл. В основу определения «средних точек» режимов упрощенного цикла, положен принцип: работа совершенная двигателем в неустановившемся режиме должна равняться работе двигателя, выполненной на замененном установившемся режиме. Расчетные исследования показывают, что упрощение Европейского ездового цикла возможно осуществлять заменой неустановившихся режимов движения «средними точками» режимов цикла, которые характеризуют средние значения показателей, определяющих режим работы двигателя или автомобиля. Применение упрощенного цикла в условиях эксплуатации позволит выявлять отклонения в регулировках двигателя, его неисправности, а также оценивать показатели автомобиля при использовании альтернативных топлив, устройств для повышения топливной экономичности и экологических показателей транспортных средств.

Ключевые слова: автомобиль, математическая модель, режимы движения, топливная экономичность, европейский ездовой цикл.

**CLARIFICATION OF SIMPLIFIED TEST CYCLE MODES FOR DETERMINING
THE TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES**¹Dorovskikh Dmitriy¹Glazkov Yuriy¹FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract: There are two approaches to the implementation of the verification process the content of harmful substances in the exhaust gases of the engine: the first use of specific modes of operation of the engine, and the magnitude of emissions of certain harmful components of exhaust gases lead to the unit power or the mileage of the car; the second use modes "driving cycle", and the regulation of hazardous substances performed per cycle. A simplified test driving cycle was developed by replacing the unsteady driving modes of the European driving cycle with the established ones. Each non-standard mode was replaced with the "midpoint" of the cycle mode, which is the average values of indicators that determine the engine's operating mode. As a result of replacing the unsteady modes of the European urban driving cycle, nine steady-state modes were obtained, which constitute a simplified test cycle. The basis for determining the "midpoints" of the simplified cycle modes is the principle: the work performed by the engine in the unsteady mode should be equal to the work of the engine performed in the replaced steady mode. Calculated studies show that the simplification of the European driving cycle can be carried out by replacing unsteady driving modes with "midpoints" of cycle modes that characterize the average values of indicators that determine the operating mode of the engine or car. The use of a simplified cycle in operating conditions will allow you to detect deviations in engine adjustments, its malfunctions, as well

as evaluate the performance of the car when using alternative fuels, devices for improving fuel efficiency and environmental performance of vehicles.

Keywords: automobile, mathematical model, driving conditions, fuel efficiency, European driving cycle.

Введение. Двигатель автомобиля большую часть времени работает в неустановившихся режимах, которые характеризуются изменением условий движения, частоты вращения коленчатого вала, ускорения и скорости автомобиля, важным является достижение топливной экономичности, экологических и энергетических показателей.

Математическая модель состоит из дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих движение автомобиля в отдельных режимах. Входными переменными в математической модели является величина и скорость перемещения дроссельной заслонки, выбранная передача, моменты смены передачи, продолжительность переключения передачи, скорость движения, потери в трансмиссии и двигателе, дорожные условия (величина коэффициента сопротивления качению), загруженность автомобиля, выбранный цикл движения. Выходными параметрами являются расход топлива, выбросы вредных веществ с отработавшими газами двигателя и транспортная работа автомобиля.

Во время разработки упрощенного испытательного цикла, разрабатывают установившиеся режимы, учитывая исследования различных авторов [1 – 6], здесь было выдвинуто предположение, о возможности получения такого цикла заменой неустановившихся режимов движения Европейского ездового цикла, установившимися. Замену каждого нестандартного режима было решено осуществлять «средней точкой» режима цикла, которая представляет собой средние значения показателей, определяющих режим работы двигателя, которую можно определять двумя равноценными способами:

- по разрежению во впускном трубопроводе Δp_k и частоте вращения коленчатого вала двигателя n_d (этот способ приемлем при разработке упрощенного цикла для испытаний двигателей);
- по крутящему моменту M_k и частоте вращения коленчатого вала двигателя n_d (этот способ приемлем при разработке упрощенного цикла для испытаний автомобилей).

Определение «средних точек» режимов можно проводить как первым, так и вторым способами. Для начала проведения экспериментальных исследований и первичной проверки адекватности математической модели определение «средних точек» проводилось первым способом, так как его проще реализовать в ходе полигонных испытаний на действующем автомобиле.

Теоретические предпосылки. Основными режимами работы двигателя по ездовым циклам - европейским городским и упрощенным являются следующие (рисунок 1).

Рисунок 1 – Схема ездовых циклов, Европейского и упрощенного

1. Работа двигателя в режиме минимальной частоты вращения холостого хода. В упрощенном цикле этот режим составляют следующие участки Европейского цикла: 1, 7, 8, 17, 18, 28, 31, 32.

При работе бензинового двигателя в режиме минимальной частоты холостого хода крутящий момент двигателя $M_k = 0$. Отсутствуют любые связи между двигателем и трансмиссией. При этом частота вращения n_d и угол открытия дроссельных заслонок $\varphi_{др}$ достигают своих минимальных значений:

$$n_d = n_{xx \min}, \quad (1)$$

$$\varphi_{др} = \varphi_{др \min}, \quad (2)$$

Режим минимальной частоты вращения является устойчивым, показатели работы двигателя в этом случае определяют экспериментально. Поэтому полиномиальные зависимости, описывающие показатели работы двигателя в этом режиме были определены на основе характеристик холостого хода, полученных экспериментально при работе на бензине со стандартными регулировками.

В упрощенном испытательном цикле указанный режим определяет продолжительность режима Δt , которая, представляет собой сумму всех периодов времени, когда двигатель работает в режиме холостого хода в течение одного цикла. Поэтому, режим холостого хода в упрощенном цикле составляют явные режимы холостого хода и неявные - торможение с отсоединенным сцеплением, где двигатель работает в режиме минимальной частоты холостого хода.

Весомость любого режима P определяют по соотношению:

$$P = \frac{\Delta t}{T}, \quad (3)$$

где Δt - продолжительность режима, с; T - общая продолжительность цикла (испытания), с.

Несмотря на это, определенная весомость режима холостого хода в упрощенном испытательном цикле составляет 0,458, или 45,8 % продолжительности всего цикла.

2. Разгон двигателя автомобиля в режиме холостого хода. В упрощенном цикле этот режим составляют такие участки Европейского цикла: 2, 9, 19.

Этот режим непосредственно предшествует началу движения автомобиля, но осуществляется при отсутствии связи двигателя с трансмиссией. При разгоне двигателя в режиме холостого хода от минимальной частоты $n_{xx \min}$ до частоты вращения $n_{д0}$, при которой водитель отпускает педаль сцепления, уравнение движения двигателя имеет вид:

$$\frac{dn_d}{dt} = M_k(\varphi_{др}, n_d) \cdot \frac{30}{I_d \cdot \pi}, \quad (4)$$

где $\frac{dn_d}{dt}$ - ускорение коленчатого вала двигателя, $\text{мин}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; $M_k(\varphi_{др}, n_d)$ - эффективный крутящий момент двигателя, Н; I_d - момент инерции двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Исходя из частоты вращения, определенной по уравнению (4) по экспериментальным характеристикам холостого хода определяют показатели работы двигателя, его топливную экономичность и вредные выбросы за единицу времени и за период разгона двигателя.

В упрощенном испытательном цикле показатели работы при разгоне бензинового двигателя в режиме холостого хода определяет продолжительность участка режима Δt и частота вращения двигателя $n_d(t)$.

Определение среднего значения частоты вращения на выбранном участке режима Европейского ездового цикла осуществляется по соотношению:

$$n_{dc} = \frac{\sum_{i=1}^m n_d(t) \cdot \Delta t_i}{\Delta T}, \quad (5)$$

где n_{dc} - среднее значение частоты вращения на определенном участке режима Европейского ездового цикла; $n_d(t)$ - мгновенное значение частоты вращения на i -х участках режима; Δt_i - продолжительность i -го участка режима цикла; m - количество участков режимов; ΔT - общая продолжительность режима.

Продолжительность режима ΔT представляет сумму тех периодов времени, когда двигатель работает в режиме разгона двигателя на холостом ходу в течение цикла:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^m \Delta t_i. \quad (6)$$

За один городской цикл количество участков, которые отвечают за разгона двигателя в режиме холостого хода, равно трем. После замены их «средними точками», полученные устоявшиеся участки объединяют по продолжительности и заменяют одним общим режимом. Весомость такого режима в упрощенном испытательном цикле невелика и составляет 0,01 (1 % времени от общей длительности цикла). Хотя указанный режим непродолжительный по времени, исключать его из цикла нецелесообразно, потому что разгон двигателя в режиме холостого хода является этапом разгона, характерным для условий эксплуатации городов и населенных пунктов, в которых находятся автомобили. Кроме того, вопрос снижения загрязнения окружающей среды вредными выбросами автомобилей имеет первостепенное значение для населенных пунктов, необходимо как можно точнее приблизить режимы упрощенного цикла до режимов Европейского ездового цикла, которые соответствуют движению транспортного средства в городе.

3. Разгон автомобиля с буксующим сцеплением. Через незначительную продолжительность (менее 1 с) перемещения дроссельных заслонок в режиме разгона с буксующим сцеплением, в упрощенном испытательном цикле этот режим рассматриваем как начальный этап режима трогания автомобиля с места.

4. Трогание автомобиля с места. Режим трогания с места включен в режим разгона автомобиля с пробуксовывающим сцеплением. В упрощенном цикле этот режим составляют такие участки Европейского цикла: 3, 10, 20.

В этом случае необходимо учитывать, что трогание автомобиля начинается при перемещении дроссельных заслонок и продолжается после окончания их перемещения. Кроме того, процесс сопровождается различными частотами вращения ведущей (двигатель) и ведомой частей сцепления (трансмиссия и колеса). Поэтому при открытии дроссельных заслонок (выполняется условие $t_{\text{дрос}} \geq t - t_{\text{xx}}$) расчетные уравнения будут иметь следующий вид:

- для двигателя:

$$\frac{dn_d}{dt} = (M_{\text{KH}}(\varphi_{\text{др}}, n_d) - M_{\text{зч}}) \cdot \frac{30}{I_d \cdot \pi}, \quad (7)$$

где $\frac{dn_d}{dt}$ – замедление или ускорение коленчатого вала двигателя, $\text{мин}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; I_d – момент инерции двигателя, определяется из справочника; $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, $M_{\text{KH}}(\varphi_{\text{др}}, n_d)$ – крутящий момент двигателя в неустановившемся режиме работы, Н·м; $M_{\text{зч}}$ – момент трения сцепления, Н·м.

- для ведомой части сцепления и приведенных к нему масс трансмиссии:

$$\frac{dn_z}{dt} = (M_{\text{зч}} - M_{\text{оп}}) \cdot \frac{30}{I_{\text{аш}} \cdot \pi}, \quad (8)$$

где $\frac{dn_z}{dt}$ – ускорение ведомой части сцепления, $\text{мин}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; $I_{\text{аш}}$ – момент инерции масс автомобиля, которые вращаются, приведен к сцеплению, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $M_{\text{зч}}$ – момент трения сцепления, Н·м; $M_{\text{оп}}$ – момент сопротивления движению автомобиля, Н·м.

Момент инерции массы автомобиля определяется по зависимости:

$$I_{\text{аш}} = \frac{(m_0 + m_{\text{в}}) \cdot r_{\text{к}}^2}{U_i^2 \cdot U_p^2} + \sum_{i=1}^n \frac{I_{\text{Ки}}}{U_i^2 \cdot U_p^2}, \quad (9)$$

где $I_{\text{к}}$ – момент инерции i -го колеса автомобиля, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; U_i – передаточное число коробки передач; U_p – передаточное число главной передачи; m_0 – масса автомобиля, кг; $m_{\text{в}}$ – масса груза, кг.

Крутящий момент двигателя в не установившемся режиме работы двигателя определяется при двух условиях: в процессе открытия дроссельных заслонок и после окончания открытия. Определение крутящего момента в процессе открытия дроссельных заслонок сведено к определению $M_{\text{к}}(\varphi_{\text{др}})$, который определяется экспериментально и описывается полиномиальной зависимостью при постоянной частоте вращения ($n_d = \text{const}$).

После окончания перемещения дроссельных заслонок (выполняется условие $t_{\text{дрос}} < t - t_{\text{xx}}$) крутящий момент определяется следующей формулой:

$$M_{\text{KH}} = M_{\text{кв}} - \lambda \cdot \frac{dn_d}{dt} \cdot \frac{\pi}{30}, \quad (10)$$

где M_{KH} – величина крутящего момента на нестандартном режиме работы двигателя, Н·м; M_{KY} – величина крутящего момента при установившемся режиме работы двигателя, Н·м; λ – коэффициент нестандартного режима движения, полученный опытным путем.

Значение крутящего момента установившегося режима M_{KY} во всем диапазоне нагрузочных и скоростных режимов, за исключением экономайзерного, описывается зависимостью:

$$M_{KY} = A_0 + A_1 \cdot \Delta p_K, \quad (11)$$

где A_0, A_1 – коэффициенты аппроксимации; Δp_K – разрежение во впускном трубопроводе двигателя, кПа.

Коэффициенты A_0 и A_1 получают в результате обработки экспериментальных данных. При работе двигателя по внешней нагрузочной характеристике, крутящие моменты описываются полиномиальной зависимостью второй степени как функция от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Зависимость разрежения во впускном трубопроводе от частоты вращения n_d коленчатого вала и угла открытия $\phi_{др}$ дроссельных заслонок двигателя в частичных нагрузочных режимах двигателя описывают полиномом:

$$\Delta p_K = B_0 + B_1 n_d + B_2 \phi_{др} + B_{11} n_d^2 + B_{22} \phi_{др}^2 + B_{12} n_d \phi_{др}, \quad (12)$$

где $B_0, B_1, B_2, B_{11}, B_{22}, B_{12}$ – полиномиальные коэффициенты.

Скорость движения автомобиля определяют по формуле:

$$V_a = \frac{n_{зч} \cdot r_k \cdot \pi}{U_i \cdot U_p \cdot 30}, \quad (13)$$

где $n_{зч}$ – частота вращения сцепления, мин⁻¹; r_k – радиус качения колеса, м; U_i – передаточное число коробки передач; U_p – передаточное число главной передачи.

Режим разгона автомобиля при пробуксовывающем сцеплении в упрощенном испытательном цикле определяется продолжительностью режима, частотой вращения и крутящим моментом двигателя. Частота вращения определяется по соотношению (5), а крутящий момент зависимостью:

$$M_{K_c} = \frac{\sum_{i=1}^m M_K(t) \cdot \Delta t_i}{\Delta T}, \quad (14)$$

где M_{K_c} – средние значения соответственно крутящего момента и частоты вращения на отдельных режимах Европейского ездового цикла; $M_K(t)$ – мгновенное значение крутящего момента на i -х участках режима; Δt_i – продолжительность i -го участка режима цикла; m – количество участков режимов; ΔT – общая продолжительность режима.

Следовательно, после упрощения получаем вместо трех режимов трогания автомобиля с места один общий. Весомость режима трогания с места в упрощенном испытательном цикле составляет $P = 0,02$.

5. Разгон автомобиля при заблокированном сцеплении (разгон бензинового двигателя автомобиля при работе в режиме частичных нагрузок или при полной нагрузке). В Европейском ездовом цикле, режим разгона при заблокированном сцеплении встречается шесть раз в течение одного цикла: на I передаче – три раза, на II передаче – два, на III передаче – один.

В упрощенном испытательном цикле режим разгона при заблокированном сцеплении составляют отдельные участки в зависимости от передачи, которая используется водителем. Режим разгона при заблокированном сцеплении на I передаче заменяется режимом, составляющим участки 4, 11, 21, режим разгона при заблокированном сцеплении на II передаче заменяется режимом, составляющим участки 13, 23, режим разгона при заблокированном сцеплении на III передаче заменяется одним участком 25.

Разгон автомобиля при заблокированном сцеплении происходит вследствие существования связи между двигателем и трансмиссией и выполнения условия $n_d = n_{зч}$ и заканчивается при заданной частоте вращения коленчатого вала на i -й передаче.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\delta(m_0 + m_b)} \left[\frac{M_{KH} \cdot U_i \cdot U_p \cdot \eta_T}{r_d} - P_f \pm P_i - P_w \right], \quad (15)$$

где η_T – КПД трансмиссии; δ – коэффициент учета масс, которые вращаются; r_k – динамический радиус колеса, м; m_0 – масса автомобиля, кг; m_g – масса груза, кг; U_i – передаточное число коробки передач; U_p – передаточное число раздаточной коробки передач; P_f – сила сопротивления качению автомобиля, Н; P_i – сила сопротивления подъема, Н; P_w – сила сопротивления воздуха, Н.

Коэффициент учета вращающихся масс, δ находим по формуле:

$$\delta = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n I_{Ki} + I_d \cdot U_i^2 \cdot U_p^2 \cdot \eta_T}{(m_0 + m_g) \cdot r_d^2}, \quad (16)$$

где $\sum_{i=1}^n I_{Ki}$ – суммарный момент инерции колес автомобиля, кг·м²; I_d – момент инерции вращающихся масс двигателя кг·м².

Другие составляющие силы уравнения тягового баланса находим по формулам:

$$P_f = (m_0 + m_g) \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha, \quad (17)$$

где f – коэффициент сопротивления качению, Н/кг; α – угол подъема (спуска) дороги, град;

$$P_i = (m_0 + m_g) \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (18)$$

$$P_w = kF \cdot V_a^2, \quad (19)$$

где kF – фактор сопротивления воздуха, Н·с²/м²; V_a – скорость автомобиля, м/с.

Каждый такой участок в упрощенном цикле заменяется "средней точкой", представляющей средние значения параметров, определяющих режим работы двигателя M_k и n_d , определяемых по зависимостям (5) и (14). Далее участки, относящиеся к одной и той же передаче, заменяются «средней точкой», объединяются по своей продолжительности, образуя при этом один режим.

Таким образом, при упрощении таких режимов образуется три устоявшихся режима, заменяющих режимы разгона при сблокированном сцеплении в зависимости от используемой передачи. В упрощенном испытательном цикле весовость режима при сблокированном сцеплении на I передаче составляет – 0,036, на II передаче – 0,076, на III передаче – 0,044.

6. Движение автомобиля при переключении передач. В упрощенном цикле режимы переключения передач заменяются устоявшимися режимами, которые составляют участки 12, 22, 24. Эти участки присоединяются к участкам, составляющим режим принудительного холостого хода.

Для перехода на высшую передачу водитель с помощью сцепления отсоединяет двигатель от трансмиссии. Двигатель работает в режиме принудительного холостого хода (ПХХ). Уравнение его движения:

$$I_d \cdot \frac{dn_d}{dt_3} = M_T \cdot \frac{30}{\pi}, \quad (20)$$

где t_3 – время с момента выключения сцепления, с; M_T – момент механических потерь в двигателе, Н·м.

Показатели работы во время переключения передач в упрощенном цикле определяются временем режима, частотой вращения двигателя и его крутящим моментом. В упрощенном испытательном цикле замена «средней точкой» режима движения автомобиля при переключении передач выполняется по формулам (5) и (14).

7. Устоявшееся движение автомобиля. Европейский ездовой цикл включает четыре режима установившегося движения автомобиля: на I передаче при $V_a = 15$ км/ч (участок 5), на II передаче при $V_a = 32$ км/ч (участок 14), на III передаче при $V_a = 50$ км/ч (участок 26), на III передаче при $V_a = 35$ км/ч (участок 29). Режимы движения с постоянной скоростью являются устоявшимися, поэтому замена таких режимов в упрощенном испытательном цикле не выполняется.

Таким образом, упрощенный цикл включает четыре режима установившегося движения автомобиля, значимость которых составляет: для $V_a = 15$ км/ч – 0,042, для $V_a = 33$ км/ч – 0,125, для $V_a = 50$ км/ч – 0,062, для $V_a = 35$ км/ч – 0,065.

Крутящий момент для движения автомобиля с постоянной скоростью определяется по следующему уравнению:

$$M_K = \frac{[(m_0 + m_g) \cdot (f_0 \cdot \cos \alpha + f_0 \cdot A \cdot V_a^2 \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) + kF \cdot V_a^2] \cdot r_d}{U_i \cdot U_p \cdot \eta_T}, \quad (21)$$

где A – условное сопротивление, $\text{с}^2/\text{м}^2$; ($A=4\ldots 5\cdot 10^{-5}$).

Частота вращения коленчатого вала двигателя определяется по зависимости:

$$n_d = \frac{V_a \cdot U_i \cdot U_p}{\pi \cdot r_k} \cdot 30, \quad (22)$$

8. Замедление автомобиля с соединенными трансмиссией и двигателем (работа двигателя в режиме принудительного холостого хода). В упрощенном цикле это режимы участка 6, 16, 27, 30.

Для случая замедления автомобиля, когда существует связь с трансмиссией, процесс описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\delta(m_0 + m_a)} \cdot \left[\frac{M_T \cdot U_i \cdot U_p}{\eta_T \cdot r_d} - P_f \pm P_i - P_w \right], \quad (23)$$

где $(m_0 + m_a)$ – полная масса автомобиля, кг; M_T – момент механических потерь двигателя при закрытых дроссельных заслонках, Н·м.

Работа двигателя в режиме торможения автомобиля с заблокированным сцеплением аналогична его работе во время переключения передач, в упрощенном испытательном цикле, эти режимы сводятся в один по своей продолжительности. Поэтому режим ПХХ в упрощенном цикле заменяется режимом, который составляют участки 6, 12, 16, 22, 24, 27, 30. Общая весомерность режима, заменяющего режим принудительного холостого хода, в упрощенном цикле составляет 0,062 (6,2 % времени продолжительности цикла).

9. Замедление автомобиля с отсоединенным от трансмиссии двигателем характеризует работу двигателя в режиме минимальной частоты холостого хода. В упрощенном цикле это участки 7, 17, 28, 31. Как указано выше, эти участки объединяются по продолжительности с участками, которые определяют режим минимальной частоты холостого хода.

Результаты и их обсуждение. Указанные режимы, в определенной комбинации вариантов состояния системы «водитель–автомобиль–дорога», образуют на участке в 1013 м Европейский городской цикл. В упрощенном испытательном цикле все неустановившиеся режимы заменены установившимися, которые соответствуют по длительности и показателям работы двигателя, установившимся режимам.

Создание упрощенного испытательного цикла для проверки экологических и топливно-экономических показателей двигателей автомобилей базируется на замене неустановившегося режима Европейского ездового цикла установившимся.

Для доказательства возможности использования принципов замены неустановившихся режимов Европейского ездового цикла установившимися, проведены расчеты расхода топлива и массовых выбросов вредных веществ за цикл при замене режимов «средними точками», определенными средними значениями Δp_k и n_d . Результаты расчета расхода топлива и массовых выбросов таким способом и на математической модели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов на математической модели и при замене режимов Европейского ездового цикла «средними точками».

Показатель работы автомобиля, г/цикл		Тип расчета		Расхождение, %
		Математическая модель	«Средние точки» режимов Δp_k и n_d	
Суммарное количество топлива		85,5	81,7	4,4
Массовые выбросы	оксид углерода	12,6	11,4	9,3
	углеводороды	1,14	1,26	10,5
	оксид азота	1,58	1,44	8,9
	Двуокись углерода	240	230,2	4,1

Сравнение полученных расчетных значений, расхода топлива и массовых выбросов по результатам расчета на математической модели показывает допустимое расхождение и делает возможным её использование для замены неустановившихся режимов указанным выше путем.

Выводы. Расчетные исследования показывают, что упрощение Европейского ездового цикла возможно осуществлять заменой неустановившихся режимов движения «средними точками» режимов цикла, которые характеризуют средние значения показателей, определяющих режим работы двигателя или автомобиля.

Применение упрощенного цикла в условиях эксплуатации позволит выявлять отклонения в регулировках двигателя, его неисправности, а также оценивать показатели автомобиля при использовании альтернативных топлив, устройств для повышения топливной экономичности и экологических показателей транспортных средств.

Список литературы

1. Триги Х.А. Повышение экологической безопасности карбюраторных автомобилей в эксплуатации на основе стационарного диагностирования. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва.– 2000. – 21 с.
2. Скирков Н.Д. Оптимизация регулирования бензинового двигателя по топливной экономичности с учетом токсичности. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва.– 1980. – 16 с.
3. Гарбер А.З. совершенствование методов снижения токсичности отработавших газов и расхода топлива городскими автобусами с карбюраторными двигателями в условиях эксплуатации. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва. – 1986. – 23 с.
4. Хавторин С.В. Быстрое экспериментальное определение базовых регулировок при многопараметрическом управлении двигателем. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва. – 1995. – 20 с.
5. Трофименко Ю.В. Теория экологических характеристик автомобильных энергоустановок. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва.– 1996. – 32 с.
6. Аманов К.А. Совершенствование технологии определения связанного многопараметрического управления двигателем внутреннего сгорания. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Москва. – 2004. – 24 с.

References

1. Trigi H.A. Povyshenie jekologicheskoj bezopasnosti karbjuratornyh avtomobilej v jekspluatacii na osnove stacionarnogo diagnostirovanija. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva.– 2000. – 21 s.
2. Skirkov N.D. Optimizacija regulirovanija benzinovogo dvigatelja po toplivnoj jekonomichnosti s uchetom toksichnosti. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva.– 1980. – 16 s.
3. Garber A.Z. sovershenstvovanie metodov snizhenija toksichnosti otrabotavshih gazov i rashoda topliva gorodskimi avtobusami s karbjuratornymi dvigateljami v uslovijah jekspluatacii. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva. – 1986. – 23 s.
4. Havtorin S.V. Bystroe jeksperimental'noe opredelenie bazovyh regulirovok pri mnogoparametricheskom upravlenii dvigatelem. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva. – 1995. – 20 s.
5. Trofimenko Ju.V. Teorija jekologicheskikh harakteristik avtomobil'nyh jenerougustanovok. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva.– 1996. – 32 s.
6. Amanov K.A. Sovershenstvovanie tehnologii opredelenija svjazannogo mnogoparametricheskogo upravlenija dvigatelem vnutrennego sgoranija. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. tehn. nauk. Moskva. – 2004. – 24 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Доровских Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru.

Глазков Юрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: glazkov_yural@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Dorovskikh Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru.

Glazkov Yuri – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: glazkov_yural@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 14.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 21.10.2020