

4. Польшакова, Н.В. Навигационные системы для сельскохозяйственной техники/ Н.В. Польшакова // Молодой ученый. – 2014. – № 4 (63). – С. 432–434.

УДК 629.114.4

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Н.А. Поздняков<sup>1</sup>, старший преподаватель,

Л.Г. Сапун<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь

*Аннотация.* В статье рассмотрена методика оценки экологической эффективности транспортных средств с различными типами энергетических установок, приведены результаты математического моделирования выбросов углекислого газа для легкового автомобиля.

*Abstract.* The article discusses the methodology for assessing the environmental efficiency of vehicles with various types of power plants, presents the results of mathematical modeling of carbon dioxide emissions for a passenger car.

*Ключевые слова:* двигатель, КПД, выбросы углекислого газа, ездовые циклы, ДВС, электромобиль.

*Keywords:* engine, efficiency, carbon dioxide emissions, driving cycles, internal combustion engine, electric vehicle.

### Введение

Выявляемые в обоснованиях концепций и опыта эксплуатации преимущества и недостатки электропривода определяют использование в настоящее время как классических источников (поршневого ДВС) так и гибридного привода и электропривода без ДВС[1].

### Основная часть

Важное значение в оценке эффективности производства электроэнергии имеет величина КПД электростанции  $\eta_{ЭС}$ , определяемая как отношение мощности производимой электроэнергии к теплотворной способности топлива  $Q_{н}$ . Особенности рабочих процессов ТЭС определяют величины  $\eta_{ЭС} = 30...38\%$  в зависимости от типа используемого топлива и нагрузки, изменяемой в связи суточными и сезонными колебаниями.

Дополнительное снижение эффективности использования электроэнергии для транспорта происходит в системе передачи и распределения электроэнергии, которое, в зависимости от расстояния и используемых

способов передачи находятся в пределах: от 5% (например, в Дании) до 13% (в РФ). Таким образом КПД передачи и распределения составит  $\eta_{лэп} = 87...95\%$ .

Потери в последнем звене – зарядном устройстве значительно колеблются в зависимости от режимов заряда и составляют 15...20%. Следовательно,  $\eta_{зар} = 80...85\%$ .

Рассмотрим характерный транспортный процесс, заключающийся в транспортировке груза массой  $m_r$  на расстояние  $L$  со средней скоростью  $V$  [2].

Заграты механической энергии (на ведущих колесах транспортного средства), необходимые для осуществления описанного процесса определяются:

$$\Theta_k = \left[ k \cdot F \cdot V^2 + m_r \cdot \left( 1 + \frac{1}{\eta_r} \right) \cdot (\psi \cdot g \pm j) \right] \cdot L, \quad (1)$$

где  $k \cdot F$  – фактор обтекаемости;  $\psi$  – коэффициент дорожного сопротивления;  $\eta_r$  – коэффициент грузоподъемности;  $j$  – ускорение при разгоне или торможении.

Для определения требуемого запаса энергии на борту автомобиля, необходимой для выполнения заданной работы можно воспользоваться следующими зависимостями:

- для электромобиля

$$\Theta_{зап}^{эл} = \Theta_k \cdot \frac{1}{\eta_{пр} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{эд}};$$

- для автомобиля с гибридной силовой установкой

$$\Theta_{зап}^{гиб} = \Theta_k \cdot \frac{1}{\eta_{пр} \cdot \eta_{двс} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{эд}};$$

- для автомобиля с двигателем внутреннего сгорания

$$\Theta_{зап}^{двс} = \Theta_k \cdot \frac{1}{\eta_{двс} \cdot \eta_{тр}},$$

где  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии;  $\eta_{эд}$  – КПД электродвигателей;  $\eta_{пр}$  – КПД преобразователей;  $\eta_{двс}$  – КПД двигателя внутреннего сгорания.

Изменением  $\eta_{тр}$  и  $\eta_{пр}$  при изменении режимных параметров движения автомобиля можно пренебречь, но  $\eta_{эд}$  и  $\eta_{двс}$  в значительной степени зависят от режима движения в заданных эксплуатационных условиях.

Для сравнительной оценки типов приводов часто анализируют стандартизированные ездовые циклы, используемые при стендовых испытаниях (на беговых барабанах) автомобилей при оценке их экологических свойств и топливной экономичности. Например, стандартизированный европейский ездовой цикл NEDC (рис. 1) представляет собой зависимость скорости движения автомобиля от времени.

Результаты расчетов для автомобиля полной массой 3,5 т, движущегося по асфальтобетонному покрытию ( $\psi = 0,011$ ) в соответствии с циклом NEDC представлены на рис. 2. Расчетные исследования проводились с использованием адаптированной модели, разработанной ранее [3].

При расчетах величин  $\eta_{эд}$  и  $\eta_{двс}$  на каждом из режимов работы соответствующих двигателей определялась степень загрузки двигателя, с учетом скоростного режима. Фрагменты результатов расчета представлены на рис. 1.

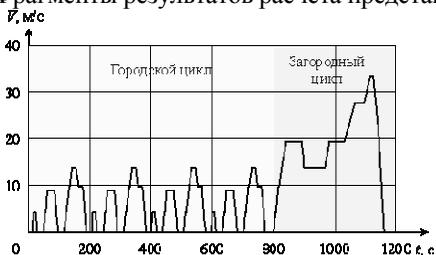


Рисунок 1 – График ездового цикла NEDC

Для расчета эмиссии углекислого газа автомобилями, оснащенными ДВС использовалась формула (3).

Из рис. 1 видно, что КПД бензинового двигателя в составе гибридного привода чаще принимает значения, близкие к максимальным (0,33...0,35). Это объясняется более высокой загрузкой двигателя, обусловленной необходимостью зарядки батареи. Широкие колебания КПД электродвигателя  $\eta_{эд}$  электромобиля объясняются частым переходом электромашин из двигательного режима в режим генератора при рекуперации энергии торможения.

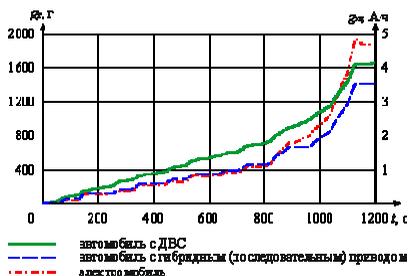


Рисунок 2 – Результаты расчетов расхода топлива ( $g_t, г$ ) и электроэнергии ( $g_{эл}, А·ч$ ) при движении автомобилей по циклу NEDC с различными типами силовых установок

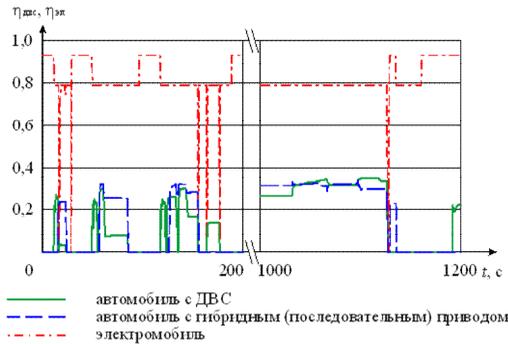


Рисунок 3 – Результаты определения КПД двигателей

Расчет эмиссии  $E_{CO_2}^{ДВС}$ , г углекислого газа автомобилей с ДВС и гибридным приводом при выполнении заданной транспортной работы можно выполнить по формуле [4]:

$$E_{CO_2}^{ДВС} = g_T \cdot H_u \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{44}{12}, \quad (2)$$

где  $g_T$  – масса израсходованного топлива за время выполнения работы, кг;  $H_u$  – низшая теплотворная способность топлива (для автомобильного бензина  $H_u = 44,21$  МДж/кг);  $K_1$  – доля углерода, участвующего в образовании  $CO_2$  ( $K_1 = 0,99$ );  $K_2$  – коэффициент выброса углерода (для автомобильного бензина  $K_2 = 19,13$  кг С/кДж);  $44/12$  – коэффициент пересчета углерода в углекислый газ (молекулярные веса соответственно: углерод – 12 г/моль,  $O_2 = 2 \cdot 16 = 32$  г/моль,  $CO_2 = 44$  г/моль).

Поскольку  $\mathcal{E}_{зап}^{ДВС,гиб} = g_T \cdot H_u$ , то

$$E_{CO_2}^{ДВС} = \mathcal{E}_{зап}^{ДВС,гиб} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{44}{12} \quad (3)$$

Для определения эмиссии углекислого газа при сгорании топлива, расходуемого на производство и передачу электроэнергии до батареи электромобиля при выполнении заданной транспортной работы, использовалась формула

$$E_{CO_2}^{эл} = \frac{g_{эл} \cdot U_{бат}}{\eta_{эл} \cdot \eta_{ЛЭП} \cdot \eta_{зар}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{44}{12},$$

где  $U_{бат}$  – напряжение батареи, В; коэффициенты  $K_1 = 0,995$ ;  $K_2 = 15,04$  кг С/кДж для природного газа.

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов эмиссии углекислого газа автомобиля полной массой 3,5 т с различными типами энергетических установок

Варианты энергетических установок автомобиля		Эмиссия CO <sub>2</sub> в ездовых циклах, г		
		NEDC	10-15	FTP-75
с бензиновым ДВС		5101,4	1809,9	8220,1
с гибридным приводом		4334,3	1576,1	7663,6
электромобиль при η <sub>ЭС</sub> ·η <sub>ЛЭП</sub> ·η <sub>зар</sub>	max	1334,7	356,4	2054,2
	min	908,2	242,5	1397,8

Как видно из таблицы 2, для рассматриваемого ездового цикла эмиссия углекислого газа электромобиля значительно ниже, чем при использовании энергетических установок на основе ДВС или гибридного привода. Это объясняется сравнительно высоким КПД электродвигателя и энергоустановок для производства электроэнергии. Широкие изменения режимных параметров движения автомобиля в значительной степени снижают средний за время испытаний эффективный КПД поршневого ДВС.

### Заключение

Преимущества в экологических свойствах электромобиля составляет 3,8...4,2 раза. Поскольку можно считать, что образование углекислого газа при сгорании топлива имеет зависимость, близкую к линейной от расхода топлива, то и энергетическая эффективность электромобиля имеет значительные преимущества.

### Список использованной литературы

1. «Электромобиль – преимущества, недостатки, перспективы» [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: [http://innoeco.ru/postsView/Elektromobil-preimuschestva\\_nedostatki\\_perspektivy\\_35.html](http://innoeco.ru/postsView/Elektromobil-preimuschestva_nedostatki_perspektivy_35.html)— Дата доступа: 10.10.2019.
2. Методика расчета выбросов парниковых газов (CO<sub>2</sub>-эквивалента) [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyykh-gazov>. — Дата доступа: 10.10.2019.
3. Управление торможением многозвенного автопоезда с рекуперацией тормозной энергии /М.С. Высоцкий, С.В. Харитончик, Н.А. Поздняков //Механика машин, механизмов и материалов. 2011. № 4 (17), с. 13–18.