

УДК 629.331.064

**М.А. ПОДРИГАЛО**, д-р тех. наук, проф., зав. каф-рой ТМ и РМ, ХНАДУ, Харьков  
**Д.В. АБРАМОВ**, канд. техн. наук, доц., докторант, ХНАДУ;  
**Ю.В. ТАРАСОВ**, канд. техн. наук, доц., докторант, ХНАДУ;  
**В.М. ЕФИМЧУК**, инженер, ХНАДУ

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ И КРИТЕРИИ ЕЕ ОЦЕНКИ

Для более объективной оценки энергетических затрат предложено использовать выражение «энергетическая экономичность автомобиля». Представлены аналитические выражения, которые могут послужить основой для оценки энергетической экономичности автомобилей при движении как в установившемся, так и неустановившемся режимах. Предложены выражения, которые определяют расход мерного количества энергии источника на единицу длины пройденного пути и запас хода автомобиля при условии движения с постоянной скоростью. Данные выражения должны являться основными критериями, характеризующими энергетическую экономичность автомобиля.

**Ключевые слова:** экономичность, эффективность автомобиля, энергия топлива, расход, КПД, запас хода автомобиля.

**Введение.** Эффективность любой мобильной машины с двигателем внутреннего сгорания определяется, в первую очередь, ее тягово-скоростными свойствами и топливной экономичностью, связанной с расходом нефтяных топлив. Расход топлива напрямую связан с уровнем совершенства и техническим состоянием автомобиля и его элементов. Затраты энергии на движение автомобиля состоят из затрат, обусловленных преодолением дорожного и аэродинамического сопротивлений.

Появление новых альтернативных энергоустановок (электродвигатели, водородные ДВС, гибридные энергоустановки и т.д.), источников энергии (аккумуляторов, маховиков) вызвало необходимость пересмотра критериев, характеризующих энергетическую экономичность автомобиля.

Возникла необходимость расширения понятия (эксплуатационного свойства) «топливная экономичность», включив в него расход не только тепловой энергии топлива, но и энергии других видов (электрической и механической).

В статье предложено указанное эксплуатационное свойство назвать энергетической экономичностью автомобиля. Также были определены показатели, характеризующие указанное свойство.

**Анализ публикаций.** Вопросам энергетической эффективности автомобиля, экономии топлива и снижения токсичности отработанных газов посвящены работы [1-4]. Топливная экономичность автомобиля определяется такими показателями как часовой расход топлива  $Q_t$  (масса топлива, расходуемого за один час работы двигателя), удельный расход топлива  $g_e$  (масса топлива, расходуемого за один час на единицу выработанной двигателем мощности) [5].

Основным измерителем топливной экономичности в большинстве стран является расход топлива  $Q_s$  в литрах на 100 километров пройденного пути, а для оценки эффективности выполнения транспортной работы удельный показатель  $Q_{tr}$  (отношение фактического расхода топлива к выполненной транспортной работе) [5]. Кроме того, установлены показатели топливной экономичности автомобиля [5]: контрольный расход топлива (КРТ); расход топлива в магистральном ездовом цикле на

дороге (РТМЦ); расход топлива в городском ездовом цикле на дороге (РТГЦ); топливная характеристика установившегося движения (ТХ); топливно-скоростная характеристика на магистрально-холмистой дороге (ТСХ).

Перечисленные показатели не имеют нормативных значений и используются при сравнительной оценке уровня топливной экономичности с аналогами и оценке технического состояния автомобиля [5].

Для оценки влияния эксплуатационных факторов на расход топлива введена топливно-экономическая характеристика автомобиля, представляющая собой зависимость расхода топлива на 100 километров пути от скорости автомобиля при различных значениях коэффициента суммарного сопротивления [5].

Оценка энергетической экономичности автомобиля по расходу топлива пригодна для двигателей, работающих на жидком и газообразном горючем. При этом на расход топлива оказывают влияние не только эксплуатационные (дорожные) условия, но также и техническое состояние автомобиля. Появление электромобилей, гибридных автомобилей и автомобилей с инерционными аккумуляторами энергии [6-10] требует замены критериев топливной экономичности на более общие критерии - энергетической экономичности, учитывающие затраты энергии, приходящиеся на единицу пути, пройденного автомобилем.

**Цель исследования, постановка задач.** Целью исследования является совершенствование методов оценки энергетической экономичности автомобиля.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать критерий энергетической экономичности автомобиля.

**Критерий оценки энергетической экономичности автомобиля.** Критерием оценки энергетической экономичности автомобиля может являться уменьшение запаса источника энергии за время прохождения мерного участка пути. Другим критерием может быть обратная величина, т.е. путь, проходимый автомобилем при израсходовании мерного количества энергии источника. Часть энергии расходуется на преодоление суммарного дорожного и аэродинамического сопротивлений. С учетом потерь энергии в двигателе и трансмиссии уравнение энергетического баланса автомобиля имеет вид

$$\Delta W_u = \frac{\int_0^{S_M} P_k dS}{\eta_e \cdot \eta_{TP}}, \quad (1)$$

где  $\Delta W_u$  – изменение энергии источника за время движения автомобиля на мерном участке пути;

$P_k$  – тяговая сила на ведущих колесах автомобиля;

$S$  – путь, проходимый автомобилем;

$S_M$  – длина мерного участка пути;

$\eta_e$  – эффективный коэффициент полезного действия двигателя;

$\eta_{TP}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии.

Следует различать равномерное и установившееся движение автомобиля. Равномерное движение происходит при постоянной и мгновенной скорости  $V$ , а установившееся при постоянной средней скорости  $\bar{V}$  движения автомобиля.

Для установившегося движения автомобиля можно применять следующие допущение

$$\bar{V}=V=const, \quad (2)$$

где  $\bar{V}$  – средняя скорость автомобиля на мерном участке пути;  
 $V$  – мгновенная скорость автомобиля.  
 Тяговая сила на ведущих колесах автомобиля в этом случае

$$P_k = mg\psi + KF\bar{V}^2, \quad (3)$$

где  $m_a$  – общая масса автомобиля;  
 $g$  – ускорение силы тяжести,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  
 $\psi$  – коэффициент суммарного дорожного сопротивления;  
 $F$  – площадь лобового сопротивления (мидель) автомобиля;  
 $K$  – коэффициент сопротивления воздуха,

$$K = \frac{C_x}{2} \rho; \quad (4)$$

где  $C_x$  – коэффициент лобового аэродинамического сопротивления;  
 $\rho$  – плотность воздуха.  
 В уравнении (1) произведем замену переменной

$$dS = Vdt, \quad (5)$$

где  $t$  – время.  
 Подставляя соотношение (3) и (5) в уравнение (1), получим после интегрирования

$$\frac{m_a g \psi + K F \bar{V}^2}{\eta_e} t_M = S_M, \quad (6)$$

где  $t_M$  – время прохождения автомобилем мерного участка пути.  
 С учетом принятого допущения (2)

$$t_M = \frac{S_M}{V}. \quad (7)$$

После подстановки (7) в (6) получим

$$\frac{m_a g \psi + K F \bar{V}^2}{\eta_e} \frac{S_M}{V} = S_M. \quad (8)$$

Изменение (уменьшение) запаса энергии источника на мерном участке пути тем больше, чем выше скорость его прохождения. Кроме того, КПД двигателя  $\eta_e$  и

трансмиссии  $\eta_{tr}$  также зависят от скорости автомобиля и передаточного числа трансмиссии. Именно указанное обстоятельство привело к появлению значительного количества исследований, посвященных влиянию скоростного режима автомобиля и двигателя на топливную экономичность [1-4].

Уравнение (8) определяет расход энергии источника на мерном участке пути  $S_M$ .  
Расход энергии на единицу длины пути

$$\frac{\Delta W_{исм}}{S_M} = \frac{m_p}{\eta_{tr}} \cdot \quad (9)$$

Изменение энергии источника при прохождении участка пути длиной  $S$

$$\Delta W_{исм} = \frac{m_p}{\eta_{tr}} \cdot S \quad (10)$$

Если определить мерное количество энергии  $\Delta W_{исм}$  источника, то путь, проходимый автомобилем при расходовании указанного количества энергии будет равен

$$S = \frac{m_p}{\eta_{tr}} \cdot \Delta W_{исм} \quad (11)$$

На рис. 1-8 представлены графики, построенные в соответствии с выражением (9). Графики построены для легкового автомобиля, имеющего снаряженную массу  $m_a$   $m_{снар} = 1400$  кг, полную массу  $m_a$   $m_{полн} = 1890$  кг, КПД трансмиссии  $\eta_{tr} = 0,9$ , площадь лобового сопротивления  $F = 2,56$  м<sup>2</sup>, оснащенного бензиновым либо дизельным двигателем с эффективным КПД соответственно  $\eta_e = 0,25$  и  $\eta_e = 0,37$ . Коэффициент суммарного дорожного сопротивления при движении по горизонтальному участку дороги принят  $\psi_{min} = 0,014$ , при движении в гору  $\psi_{max} = 0,12$ .

На рис. 1 и рис. 2 приведены графики зависимости  $\frac{\Delta W_{исм}}{S_M}(\psi)$  и  $\frac{S}{\Delta W_{исм}}(\psi)$ , построенные для бензиновых и дизельных двигателей условного автомобиля при различных скоростях движения  $V$  и коэффициентах сопротивления воздуха  $K$ .

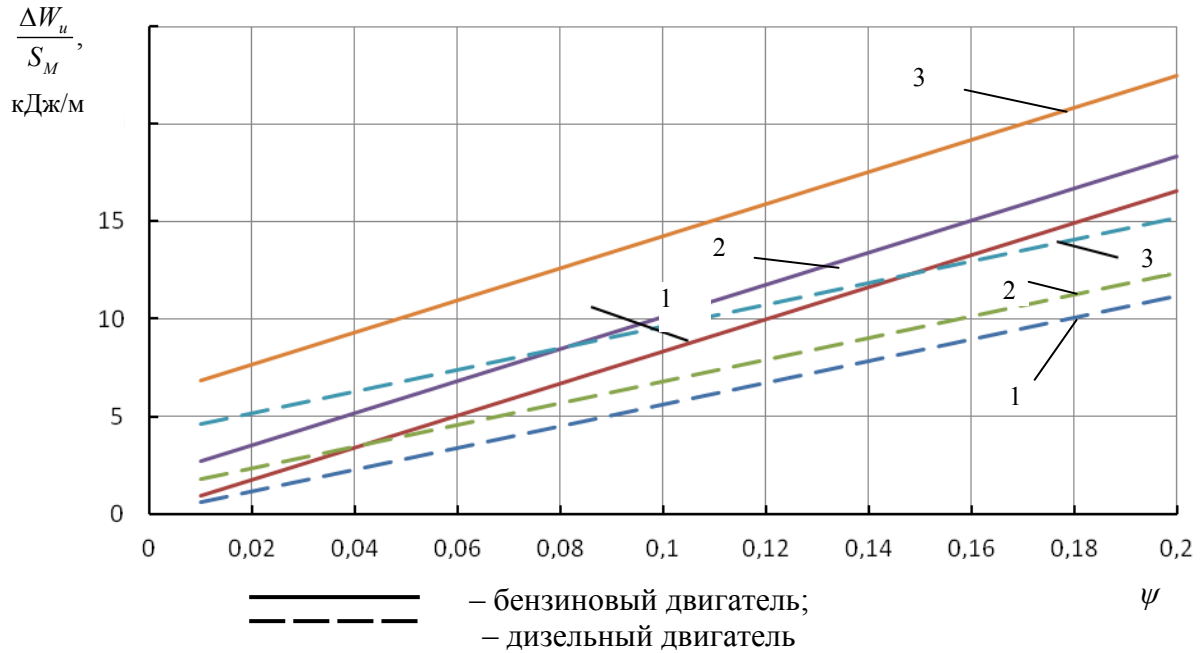


Рисунок 1 – Зависимость отношения изменения энергии к длине мерного участка от коэффициента суммарного дорожного сопротивления: 1 – при скорости движения  $V = 5$  м/с; 2 – при  $V = 25$  м/с; 3 – при  $V = 45$  м/с.

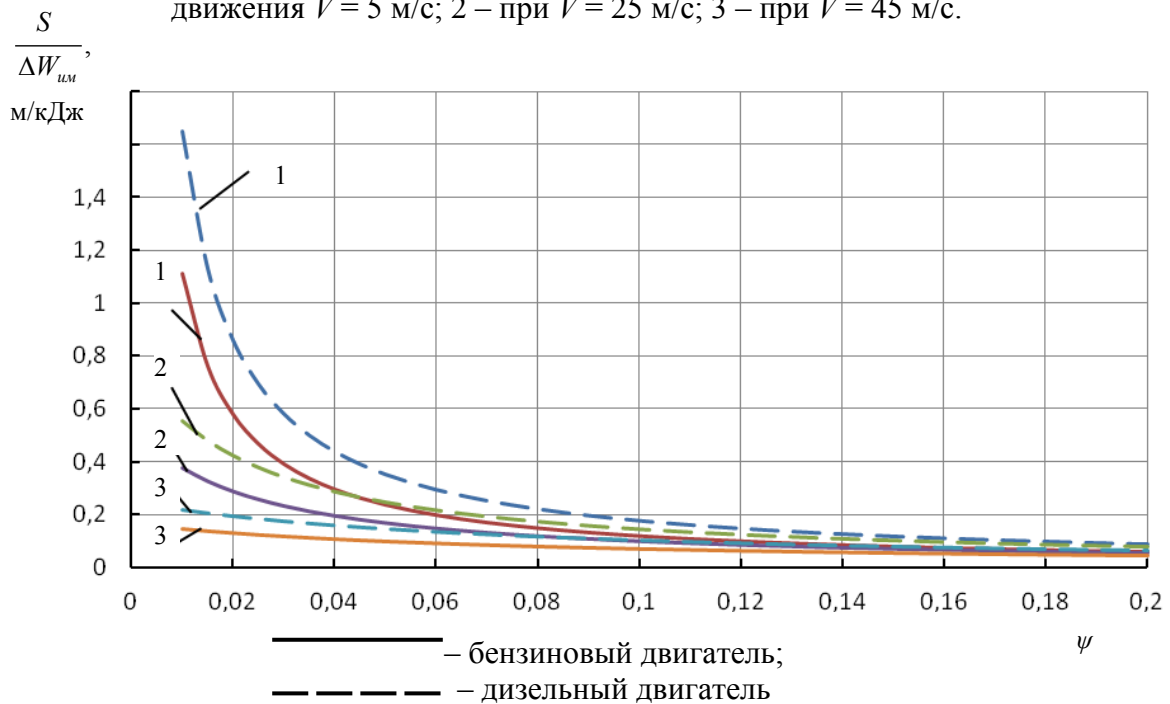


Рисунок 2 – Зависимость отношения длины мерного участка к изменению энергии от коэффициента суммарного дорожного сопротивления: 1 – при скорости движения  $V = 5$  м/с; 2 – при  $V = 25$  м/с; 3 – при  $V = 45$  м/с.

На рис. 3 и рис. 4 приведены графики зависимости  $\frac{\Delta W_u}{S_M}(V)$  при различных значениях суммарного дорожного сопротивления  $\psi$  и коэффициентах сопротивления воздуха  $K$  (для бензиновых и дизельных двигателей).

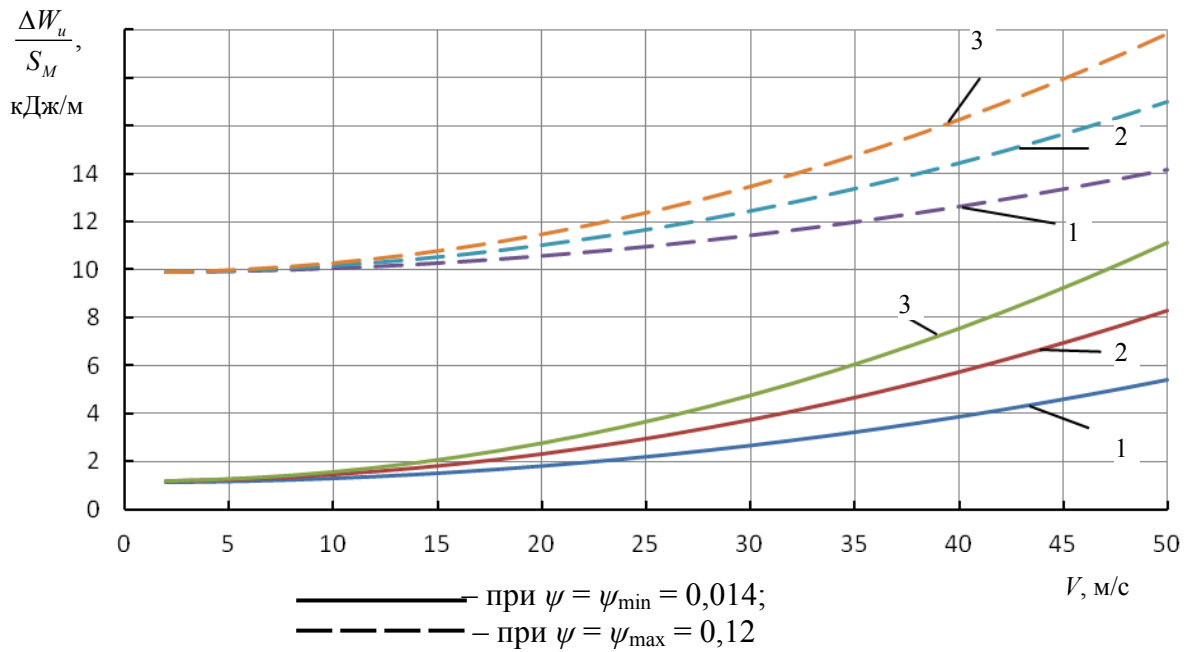


Рисунок 3 – Зависимость отношения изменения энергии к длине мерного участка от установившейся скорости движения автомобиля с бензиновым двигателем:  
 1 – при коэффициенте обтекаемости автомобиля  $K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 – при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 – при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

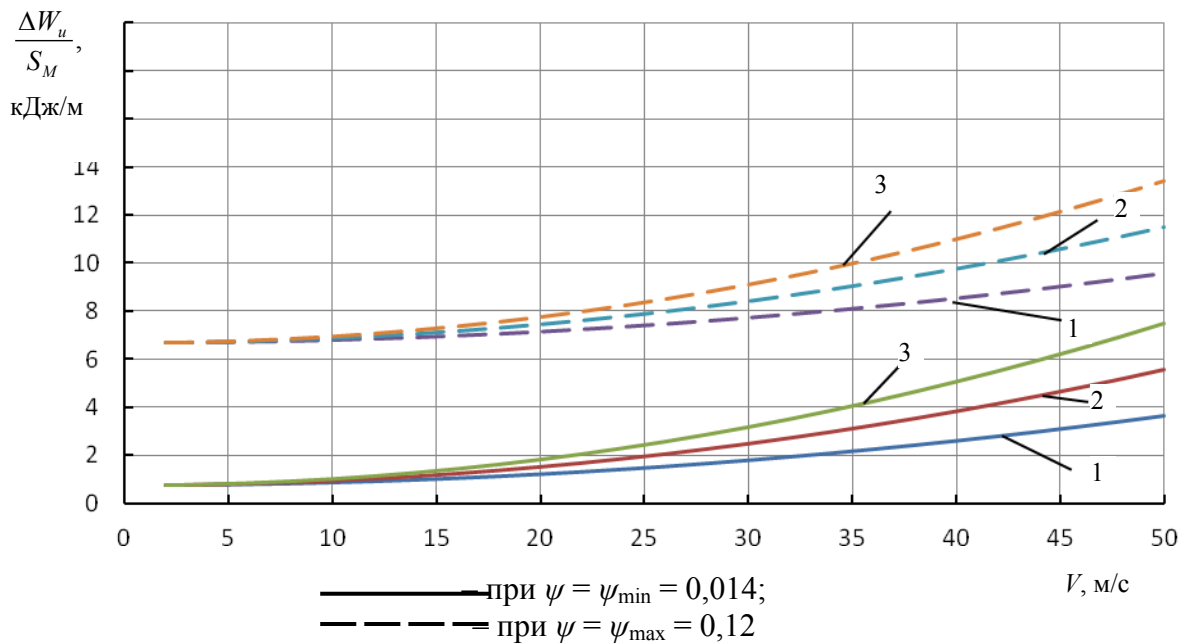


Рисунок 4 – Зависимость отношения изменения энергии к длине мерного участка от установившейся скорости движения автомобиля с дизельным двигателем:  
 1 – при коэффициенте обтекаемости автомобиля  $K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 – при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 – при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

На рис. 5 и рис. 6 для бензиновых и дизельных двигателей, соответственно, приведены графики зависимости  $\frac{S}{\Delta W_{им}}(V)$  при различных значениях коэффициентов сопротивления воздуха  $K$ .

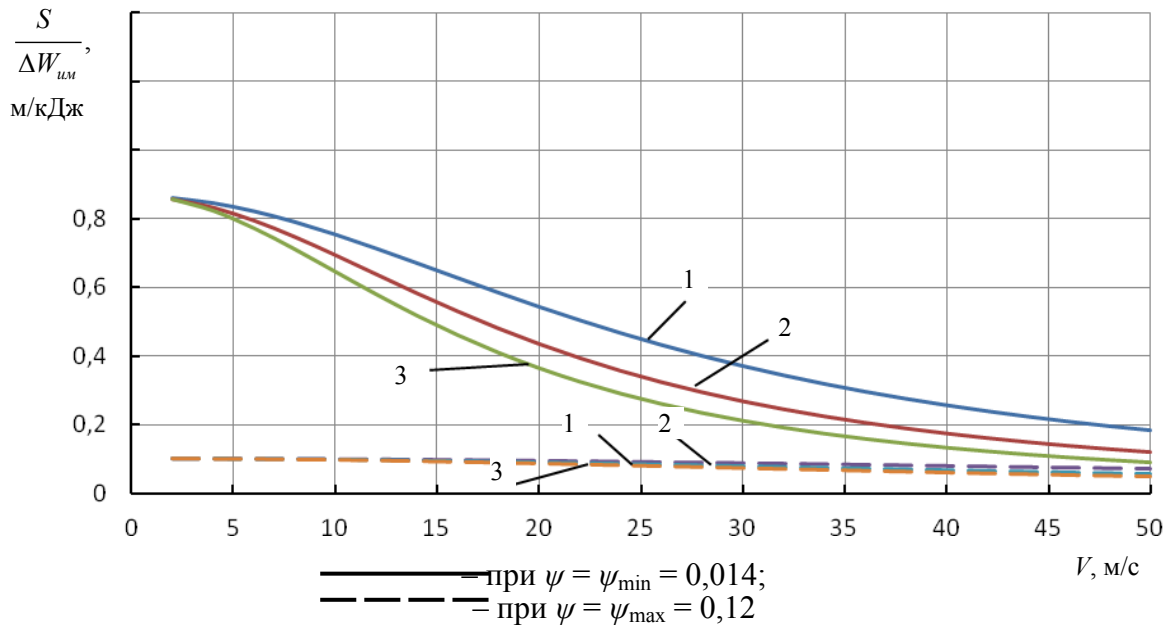


Рисунок 5 – Зависимость отношения длины мерного участка к изменению энергии от установившейся скорости движения автомобиля с бензиновым двигателем:  
 1 – при коэффициенте обтекаемости автомобиля  $K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 – при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 – при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

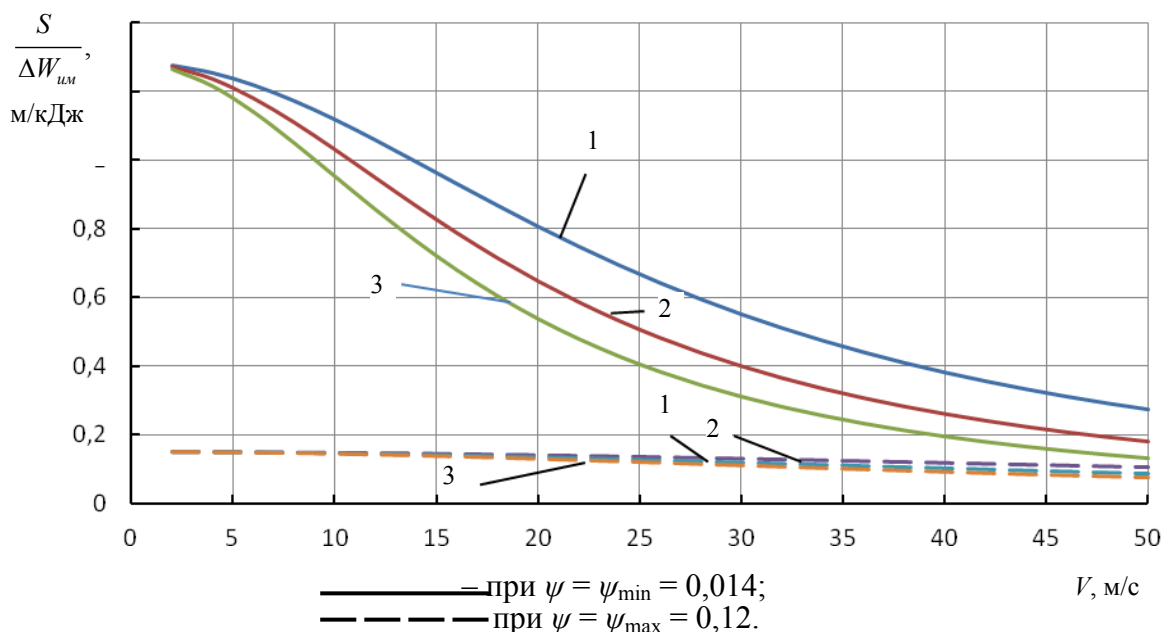


Рисунок 6 – Зависимость отношения длины мерного участка к изменению энергии от установившейся скорости движения автомобиля с дизельным двигателем:  
 1 – при коэффициенте обтекаемости автомобиля  $K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 – при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 – при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

На рис. 7 и рис. 8 приведены графики зависимости  $\frac{\Delta W_u}{S_M}(V)$  и  $\frac{S}{\Delta W_{ум}}(V)$  для легкового автомобиля при различной полной массе автомобиля  $m_a$  и коэффициентах суммарного дорожного сопротивления  $\psi$ .

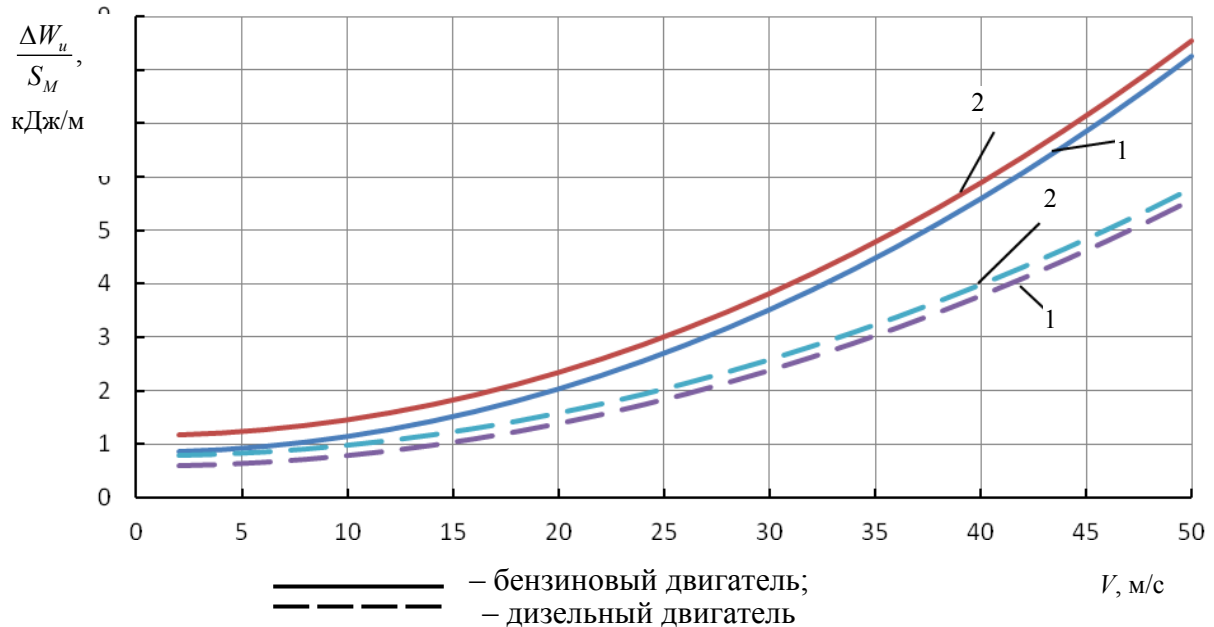


Рисунок 7 – Зависимость отношения изменения энергии к длине мерного участка от установившейся скорости движения автомобиля: 1 – при массе автомобиля  $m_a = m_{a\text{ снар}} = 1400$  кг; 2 – при  $m_a = m_{a\text{ полн}} = 1890$  кг

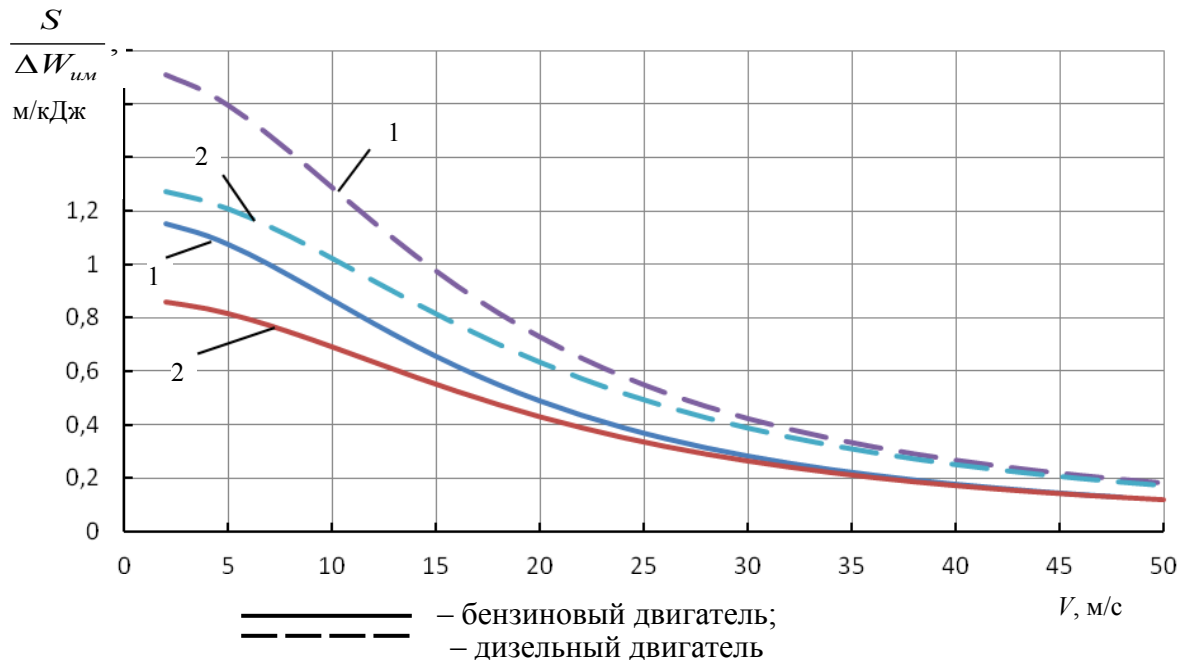


Рисунок 8 – Зависимость отношения длины мерного участка к изменению энергии от установившейся скорости движения автомобиля: 1 – при массе автомобиля  $m_a = m_{a\text{ снар}} = 1400$  кг; 2 – при  $m_a = m_{a\text{ полн}} = 1890$  кг

Запас хода автомобиля при условии движения с постоянной скоростью  $V$  может быть определен с помощью уравнения (8)





(12)

где  $W_u$  – запас энергии источника (топлива, аккумуляторных батарей или инерционного аккумулятора энергии).

**Выводы.**

1. В связи с развитием электроавтомобилей, гибридных автомобилей и автомобилей с инерционными аккумуляторами энергии термин «топливная экономичность» устарел и не отвечает своему назначению. Для более объективной оценки энергетических затрат целесообразно использовать выражение «энергетическая экономичность автомобиля».

2. Полученные аналитические выражения могут послужить основой для оценки энергетической экономичности автомобилей при движении как в установившемся, так и неустановившемся режимах.

**Список литературы:** 1. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М: Транспорт, 1990. – 135 с. 2. Гащук П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля / П.Н. Гащук – Львов: СВІТ, 1992. – 208 с. 3. Евсеев П.П. Некоторые вопросы энергетики автомобиля / П.П. Евсеев – К: ЗАТ «ВІПОЛ», 2006. – 236 с. 4. Мацкерле Ю. Современный экономный автомобиль / Ю. Мацкерле. – М: Машиностроение, 1987. – 320 с. 5. Волков В.П. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебное пособие / В.П. Волков, А.П. Кравченко, под ред. В.П. Волкова. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2008. – 300 с. 6. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Двадненко– Харків: Изд-во ХНАДУ, 2011. – 236 с. 7. Бажинов О.В. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, А.В. Гнашов, А.В. Колесніков– Харків: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 327 с. 8. Dan Ross. Intersection Cars now / Dan Ross. – London: Изд-во Taschen, vol 1, 2011. – 512 с. 9. Щетина В.А. Электромобиль: техника и экономика / В.А. Щетина, Ю.Я. Морговский, Б.И. Центр, В.А. Богомазов – Ленинград: Изд-во Машиностроение, 1987. – 236 с. 10. Хьюард С. Увеличение КПД топлива в гибридных системах для автобусов при помощи высокомоментного серводвигателя / С. Хьюард, Б. Бенсон – Материалы Международного совещания Parker Hannifin Corp., 2008. — 11 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Govorushhenko N.Ja.* Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte / *N.Ja. Govorushhenko.* – Moscow: Transport, 1990. – 135 p. 2. *Gashhuk P.N.* Jenergeticheskaja jeffektivnost' avtomobilja / *P.N. Gashhuk* – L'vov: SVIT, 1992. – 208 p. 3. *Evseev P.P.* Nekotorye voprosy jenergetiki avtomobilja / *P.P. Evseev* – Kiev: ZAT «VIPOL», 2006. – 236 p. 4. *Mackerle Ju.* Sovremennyj jekonomnyj avtomobil' / *Ju. Mackerle.* – Moscow: Mashinostroenie, 1987. – 320 p. 5. *Volkov V.P.* Avtomobil': Teorija jekspluatacionnyh svojstv: Uchebnoe posobie / *V.P. Volkov, A.P. Kravchenko, pod red. V.P. Volkova.* – Lugansk: Izd-vo «Noulidzh», 2008. – 300 p. 6. *Bazhinov O.V.* Sinergetichnij avtomobil'. Teorija i praktika / *O.V. Bazhinov, O.P. Smirnov, S.A. Serikov, V.Ja. Dvadenko*– Kharkov: Izd-vo KhNADU, 2011. – 236 p. 7. *Bazhinov O.V.* Gibridni avtomobili / *O.V. Bazhinov, O.P. Smirnov, S.A. Serikov, A.V. Gnashov, A.V. Kolesnikov*– Kharkiv: Izd-vo /KhNADU, 2008. – 327 p. 8. *Dan Ross.* Intersection Cars now /

*Dan Ross.* – London: Izd-vo Taschen, Vol 1, 2011. – 512 p. **9.** *Shhetina V.A.* Jelektromobil': tehnika i jekonomika / *V.A. Shhetina, Ju.Ja. Morgovskij, B.I. Center, V.A. Bogomazov* – Leningrad: Izd-vo Mashinostroenie, 1987. – 236 p. **10.** *H'juard S.* Uvelichenie KPD topliva v gibridnyh sistemah dlja avtobusov pri pomoshhi vysokomomentnogo servodvigatelja *S. H'juard, B. Benson* – Materialy Mezhdunarodnogo soveshhanija Parker Hannifin Corp., 2008. — 11 p.

*Поступила (received) 05.02.2015*