

Влияние на някои експлоатационни фактори върху разхода на гориво на автомобилите

Иван Евтимов, Росен Иванов

***The influence of some running factors on the fuel consumption of the cars:** The paper analyses the influence of various running factors such as mass, speed, acceleration etc. on fuel consumption of the cars, powered by petrol and diesel engines. This analysis is done on the base of statistic data and the assessment of the impact of main running factors on the fuel consumption is given.*

***Key words:** petrol and diesel cars, fuel consumption, car mass, driving speed, car acceleration*

ВЪВЕДЕНИЕ

Намаляване замърсяването на въздуха, съгласно протокола от Киото, е съвкупност от координирани действия на държавните органи, различните обществени организации и на всеки отделен член на обществото. С такива действия, използвайки съвременни технологии на производство в различните сфери на икономиката, модернизиране на транспортната инфраструктура и реализиране на интеграция на различните видове транспорт на съвременно ниво, неминуемо ще се реализират поставените цели за един осмислен и по-здравословен начин на живот. Във връзка с това, намаляването на разхода на гориво на автомобилите разкрива една от възможностите за намаляване на замърсяването на въздуха от автомобилния транспорт.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основните експлоатационни фактори, които оказват влияние върху разхода на гориво са:

- видът и състоянието на пътната настилка;
- масата на автомобила;
- скоростта на движение;
- температурата на околната среда;
- интензивността на ускоряването;
- време на експлоатация на автомобила.

Влияние на вида и състоянието на пътната настилка

Проучването за влиянието на вида и състоянието на пътната настилка върху разхода на гориво показват, че разходът на гориво за товарните автомобили се увеличава с 26% [9] при движение по път с чакълена настилка, в сравнение с асфалтиран път. Ако средната скорост на товарните автомобили спадне от 45 на 20 km/h, разходът на гориво може да се увеличи до 56%. Ясно е, че лошото състояние на пътната настилка намалява средната скорост на движение на превозните средства, което в определена степен оказва влияние върху разхода на гориво.

При движение на тежкотоварни автомобили по път с бетонова настилка, могат да се реализират икономии на гориво от 4,3 до 9,2%, в сравнение при движение по асфалтиран път [6, 7].

Освен влиянието на различните видове настилки върху разхода на гориво, изследванията в тази насока показват и влиянието на структурата на асфалтирания път върху разхода на гориво. Резултатите от изследванията в [6, 7], за разхода на гориво при движение на леки автомобили по асфалтиран път с различна структура на настилка, показват изменение до 12%.

Влияние на масата на автомобила

Един от техническите параметри, който оказва влияние върху разхода на

гориво, а следователно и на отделените емисии CO_2 (въглероден двуокис), е масата на автомобила [5, 12, 13, 14].

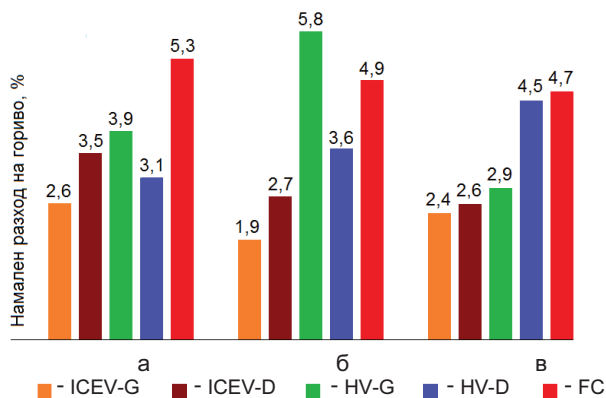
Всяка година технологията на производство на автомобилите се усъвършенства. Използваните материали непрекъснато подобряват свойствата си в съответствие с непрекъснатите предизвикателства за проектиране и производство на по-икономични и екологични транспортни средства [13].

В различни източници и в частност медиите, често се посочва, че намаляването на масата на автомобилите, съответно намаля и разхода на гориво. Ако масата на автомобила се намали с 10%, разходът на гориво при различните автомобили, може да намалее максимално в границите от 6 до 8% [5, 13, 14].

На фиг. 1 и 2 са показани направените изследвания [5], на пет вида автомобили с различни източници на енергия. Стойностите на резултатите са в границите от 1,9 до 5,8% намаление на разхода на гориво (0,15 l/100 km, до 0,7 l/100 km) при намаление на масата им с 10%.

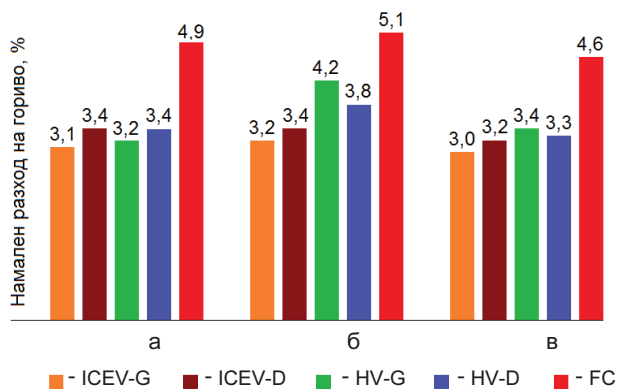
Намалението на разхода на гориво при конвенционалните автомобили с бензинов двигател (ICEV-G) е в границите от 1,9% до 3,2%, а при конвенционалните автомобили с дизелов двигател (ICEV-D) – от 2,6% до 3,5%. Най-голямо е влиянието на масата върху разхода на гориво при хибридните автомобили с бензинов ДВГ (HV-G) – от 3,2 до 5,8%. При хибридните автомобили с дизелов двигател (HV-D), намалението на разхода на гориво за трите класа автомобили е от 3,1 до 4,5%, а на автомобилите, задвижвани с горивни клетки (FC) – от 4,6 до 5,3%.

Изследванията се отнасят за два вида изпитателни цикли – NEDC и NYZEM. NEDC е комбиниран цикъл, състоящ се от четири свързани ECE 15 цикъла и един от EUDC. Тези цикли са стандартни и не могат да представляват реалния модел на шофиране.



Фиг. 1. Намаление на разхода на гориво при намаление масата на автомобила с 10% по стандартен цикъл на движение (NEDC-New European Drive Cycle): а – нисък клас (Compact Class); б – среден клас (Mmid-Size Class); в – висок клас (SUV)

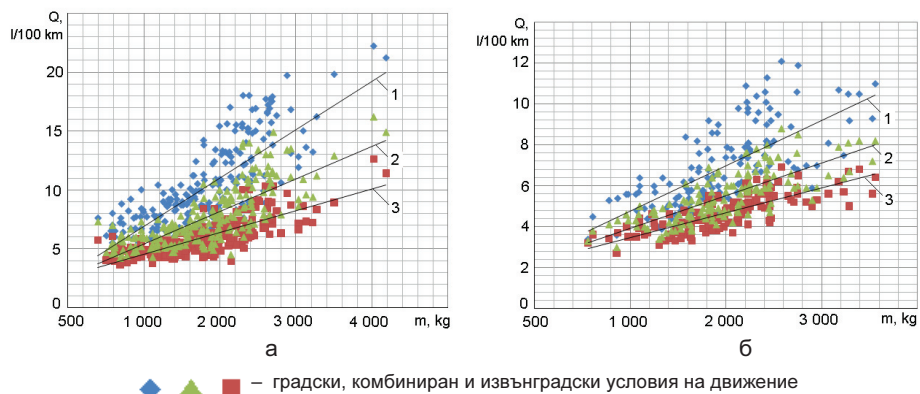
NYZEM е преходен цикъл. Участъците, в които скоростта на движение е постоянна, са много по-малки, отколкото в стандартните цикли. Циклите NYZEM са съставени въз основа на реалната експлоатация на автомобилите в Европа (най-добре симулират стила на шофиране). Поради това, те по-добре представят реалния модел на шофиране, отколкото стандартните европейски цикли. Циклите NYZEM често се използват, но те не са официални. Представяват комбинация от градски, извънградски и магистрален цикъл.



Фиг. 2. Намаление на разхода на гориво при намаление масата на автомобила с 10% по динамичен цикъл на движение (HYZEM): а – нисък клас (Compact Class); б – среден клас (Mmid-Size Class); в – висок клас (SUV)

В [1] е изследвано влиянието на масата върху разхода на гориво на 407 конвенционални автомобили, произведени след 2000 год. Това са различни модели автомобили на марките Lancia, Opel, Renault, Chevrolet, Citroen, Fiat, Ford, Honda, Audi, BMW, Mercedes, Nissan, Skoda, Volkswagen, Seat, Toyota, Volvo, Lexus, Suzuki, Rover, Mini Cooper, Kia и Smart, които са на пазара у нас.

На фиг. 3 е показано изменението на разхода на гориво за различните условия на движение в зависимост от масата на автомобилите с бензинов и дизелов двигател.



Фиг. 3. Изменение на разхода на гориво в зависимост от масата на автомобила: а – бензинов двигател; б – с дизелов двигател; 1, 2 и 3 – градски, комбиниран и извънградски условия на движение

Апроксимиращите зависимости са линейни и могат да се изразят със следните уравнения:

– за автомобилите с дизелови двигатели;

$$Q = 4,4 \cdot 10^{-3} m + 0,37, \text{ l/100 km} \quad \text{– за градски условия на движение;}$$

$$Q = 2,42 \cdot 10^{-3} m + 1,07, \text{ l/100 km} \quad \text{– за извънградски условия на движение;}$$

- $Q = 3,2 \cdot 10^{-3} m + 0,7, \text{ l/100 km}$ – комбиниран разход на гориво.
 – за автомобилите с бензинови двигатели;
 $Q = 8,17 \cdot 10^{-3} m - 1,18, \text{ l/100 km}$ – за градски условия на движение;
 $Q = 3,69 \cdot 10^{-3} m + 0,84, \text{ l/100 km}$ – за извънградски условия на движение;
 $Q = 5,48 \cdot 10^{-3} m - 0,06, \text{ l/100 km}$ – комбиниран разход на гориво.

При дизеловите автомобили изменението на масата на автомобила със 100 kg предизвиква съответно изменението на разхода на гориво за различните автомобили и при различни условия на движение от 0,24 до 0,44 l/100 km или от 4 до 11,6%. Големите стойности се отнасят за автомобилите с по-малка маса и градски условия на движение. При градски условия на движение, изменението на масата е по-чувствително към изменението на разхода на гориво, поради по-честите ускорения, които изискват и съответно по-голямо количество на енергия.

При бензиновите автомобили изменението на масата на автомобила със 100 kg предизвиква съответно изменението на разхода на гориво за различните автомобили и при различни условия на движение от 0,37 до 0,8 l/100 km или от 4 до 17,6%. Големите стойности се отнасят за автомобилите с по-малка маса и градски условия на движение, аналогично на дизеловите автомобили.

Ако се анализират зависимостите, показани на фиг. 3 ще се констатира значителната разлика в разхода на гориво между дизеловите и бензинови автомобили с по-голяма маса, особено при градски условия на движение. Например, при автомобилите с маса около 700 – 800 kg разликата в разхода на гориво при градски условия на движение е малко над 1 l/100 km, а при маса около 2 300 kg разликата в разхода на гориво при същите условия на движение надхвърля 7 l/100 km. При другите условия на движение разликата в разхода на гориво за двата вида автомобили, при различна маса, е по-малка.

Влияние на скоростта на движение на автомобила

Движението на автомобила може да се разгледа като съставено от няколко етапа: работа на двигателя на празен ход; ускоряване; движение с постоянна скорост; закъснително движение (намаляване скоростта на движение) и спиране. Делът на всеки етап от целия маршрут зависи от поведението на водача, типа на пътното платно, условията на движение (в града, извън града), трафика на движение и др. Графично влиянието на тези фактори може да се представи чрез изменението на скоростта на движение за определен период от време (фиг. 4).

Количеството CO₂, което се отделя по време на движение на превозните средства зависи от посочените фактори. Като се има предвид конкретна скорост на движение и съответната характеристика на транспортното превозно средство, могат да се определят емисиите на CO₂, с помощта на математични модели. Например в [16], въз основа на различни пътувания на голям брой различни видове автомобили, чрез използване на съответни математични модели, са определили най-често отделяните емисии от един съвременен автомобил (фиг. 5). Както се вижда от фигурата, повечето пътувания са отделяли около 210 g/km CO₂ емисии, съответстващи на приблизителен разход на гориво 9 l/100 km.

Емисиите CO₂ са най-често свързани със средната скорост на движение, а тя е важна при изпълнение на различните транспортни операции.

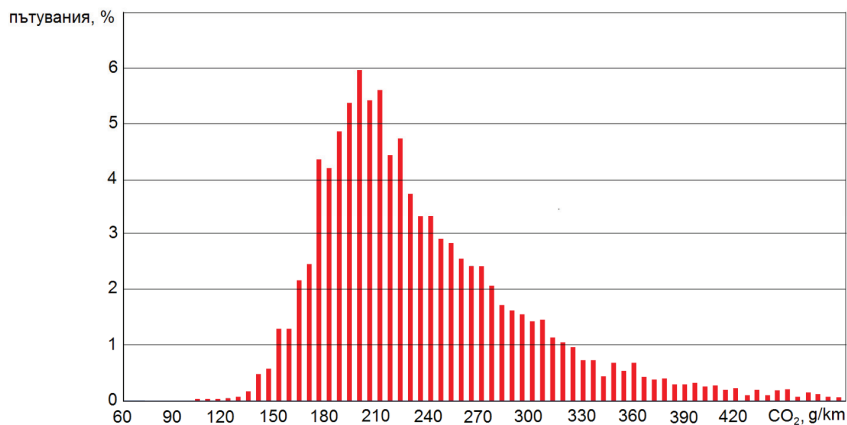
Изследванията в [8, 11] показват, че икономията на гориво за автомобили се постига при скорости на движение от 60 до 90 km/h (фиг. 6). При по-високи скорости на движение разходът на гориво се увеличава поради нарасналото въздушно съпротивление и съпротивлението от предвижване. При ниски скорости на движение, разходът на гориво също се покачва, поради честите спирания и потегляне от място на автомобилите и изразходване на по-голямо количество

гориво при ускоряване. Разходът на гориво над посочените икономични скорости се увеличава както следва [15]:

- 3% увеличение разхода на гориво при 97 km/h;
- 8% увеличение разхода на гориво при 105 km/h;
- 17% увеличение разхода на гориво при 113 km/h;
- 23% увеличение разхода на гориво при 121 km/h;
- 28% увеличение разхода на гориво при 129 km/h



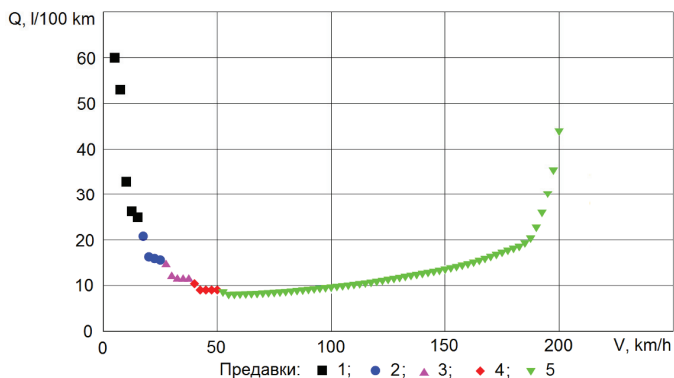
Фиг. 4. Изменение скоростта на движение в определен интервал от време при различни условия на движение



Фиг. 5. Разпределение на емисиите CO₂ в зависимост от различните видове пътувания

Ако по време на движение се използва климатик, разходът на гориво може да се увеличи с 10% [8].

Данните за разхода на гориво за товарни автомобили са оскъдни, но има изследвания за тежкотоварни автомобили с цистерни за гориво, за които приблизително може да се приеме четири пъти разхода на гориво на леките автомобили [8].



Фиг. 6. Изменение на разхода на гориво в зависимост от средната скорост на движение за лек автомобил VW Passat Synchro 1.8 (118 kW)

Пропорционално на разходът на гориво е отделеното количество CO_2 емисии, които зависят и от вида на използваното гориво. От фигурата се вижда, че при ниски средни скорости на движение, разходът на гориво бързо нараства. Това се дължи най-вече на честите спиания, при които двигателят работи на празен ход. Изследванията в [16] показват, че ако се намалят задръстванията и средната скорост на движение се повиши с 32 km/h (20 mph) отделените емисии CO_2 ще намалят с 12%.

В табл. 1 е посочено консумираното количество гориво и отделените CO_2 емисии при работа на двигателя на празен ход за една година. Прието е, че $1\,000 \text{ cm}^3$ бензинов и дизелов двигател изразходват еднакво количество гориво –

Таблица 1
 CO_2 емисии при работа на двигателя на празен ход

Време, min/day	Консумирано гориво, литри			CO_2 , kg ICEV-G, ICEV-D		
	ДВГ, $1\,000 \text{ cm}^3$	ДВГ, $2\,000 \text{ cm}^3$	ДВГ, $3\,000 \text{ cm}^3$	ДВГ, $1\,000 \text{ cm}^3$	ДВГ, $2\,000 \text{ cm}^3$	ДВГ, $3\,000 \text{ cm}^3$
1	3,65	7,30	10,95	8,73 9,34	17,46 18,68	26,19 28,02
2	7,30	14,60	21,90	17,46 18,68	34,92 37,36	52,38 56,04
3	10,95	21,90	32,85	26,19 28,02	52,38 56,04	78,57 84,06
4	14,60	29,20	43,80	34,92 37,36	69,84 74,72	104,76 112,08
5	18,25	36,50	54,75	43,65 46,70	87,30 93,40	130,95 140,10
6	21,90	43,80	65,70	52,38 56,04	104,76 112,08	157,14 168,12
7	25,55	51,10	76,65	61,11 65,38	122,21 130,76	183,31 196,14
8	29,20	58,40	87,60	69,84 74,72	139,68 149,44	209,52 224,16
9	32,85	65,70	98,55	78,57 84,06	157,14 168,12	235,71 252,18
10	36,50	73,00	109,50	87,30 93,40	174,30 186,80	261,60 280,20

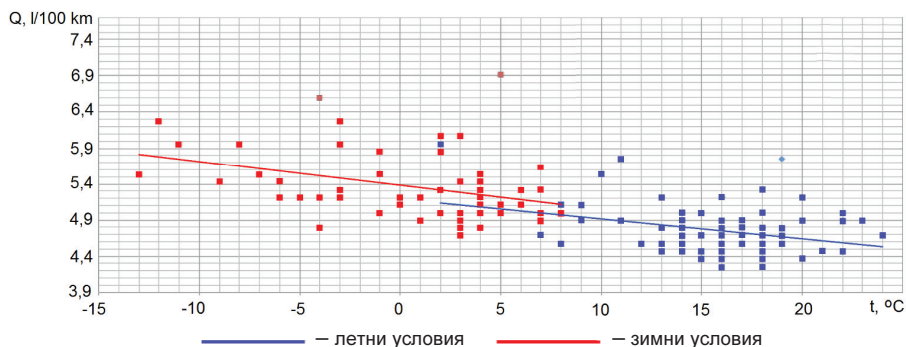
0,6 l/h. От таблицата се вижда, че бензинов двигател ако работи по 1 минута на ден на празен ход, в годината консумира 3,65 литра за една година и се отделят 8,73 kg емисии CO_2 . За автомобил с дизелов двигател се получават съответно 9,34 kg емисии CO_2 . Лесно може да се направи сметка, с колко биха се увеличили емисиите CO_2 в една страна с милиони автомобили, ако по някакви причини (недобре регулирано светофарно кръстовище, изчакване двигателят да повиши температурата на охладителната система, изчакване пред пешеходните пътеки и др.) различните по работен обем двигатели на автомобилите работят ненужно само една минута на ден. Десетки и стотици тонове емисии CO_2 могат да бъдат намалени само ако се подобри дисциплината при шофиране, без да се влагат никакви инвестиции.

Влияние на температурата на въздуха

Температурата на околната среда също оказва влияние върху разхода на гориво и съответно върху количеството отделени емисии CO_2 . Работата на двигателя след първоначално пускане при ниски температури на околната среда е неустойчива и е съпроводена с увеличен разход на гориво, влошени мощностни показатели и увеличени емисии на токсични вещества в отработените газове [2]. Една от причините за увеличения разход на гориво са по-големите механични загуби, дължащи се основно на увеличения вискозитет на маслото, но основната причина за влошените показатели обаче се дължи на условията на протичане на самия горивен процес.

Изследванията в [17] за разхода на гориво при движение по един и същи градски маршрут и по едно и също време през различни дни на годината (при различна температурата на околната среда), показват увеличен разход на гориво при ниски температури (фиг. 7). От фигурата се вижда, разходът на гориво се е увеличил от 4,53 l/100 km до 5,82 l/100 km при промяна на температурата на околната среда от +24 на -15 °C, увеличение с 12%. Увеличеният разход при ниски температури зависи не само от температурата на околната среда, но и от други фактори (смяна на летните гуми със зимни, пътна обстановка и др.).

Средната скорост на движение е 33,9 km/h – характерна скорост за европейски градски условия на движения. Изследванията са направени с автомобили Toyota Prius XW30.



Фиг. 7. Влияние на температурата на околната среда върху разхода на гориво при градски условия на движение

Математичните модели, с които се описва влиянието на температурата върху разхода на гориво са:

– при летни условия;

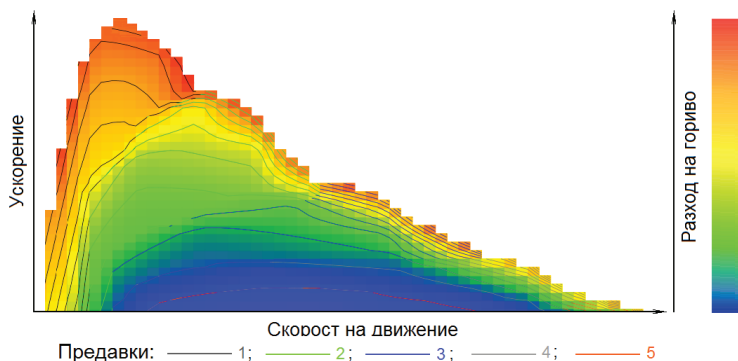
$$Q = -0,0276t + 5,193, \text{ l/100km}$$

– при зимни условия;

$$Q = -0,0331t + 5,383, \text{ l/100km}$$

Влияние на ускорението на автомобила

Ускорението при движение, особено в градски условия, оказва съществено влияние върху средния разход на гориво. Обикновено времето за равномерно движение на автомобила в градски условия е само 15–25%, а времето за ускоряване заема 30–45% от общото време [3]. Разходът на гориво в зависимост от ускоряването и скоростта на движение е показан на фиг. 8.



Фиг. 8. Влияние на ускорението и скоростта на движение върху разхода на гориво

Водачите на автомобили трябва винаги да бъдат внимателни, да следят заобикалящата ги пътна обстановка и да прибегват възможно най-рядко до ненужна употреба на спирачките и последващо рязко ускоряване на автомобила. Практически, използвайки умело управление на автомобила, може да се подобри горивната му ефективност до 25% и годишно да се намалят до 1 т от CO₂ емисиите [4].

Влияние на времето на експлоатация автомобила

Според изследванията в [10], разликата в средния разход на гориво на автомобилите, намиращи се в експлоатация и новите автомобили, може да достигне 1 l/100 km (0,01 l/km).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на направения преглед и анализ на съществуващи изследвания за влиянието на различните експлоатационни фактори върху разхода на гориво, могат да се направят следните обобщения:

1. Разходът на горива за товарните автомобили се увеличава с 26% при движение по път с чакълена повърхност, в сравнение с асфалтиран път. При движение на тежки товарни автомобили по път с бетонова настилка, могат да се реализират икономии на гориво от 4,3% до 9,2%, в сравнение с движението по асфалтиран път. При движение на леки автомобили по асфалтиран път с различна структура на настилка, изменението на разхода на гориво може да достигне до 12%.

2. Ако средната скорост на товарните автомобили спадне от 45 на 20 km/h, разходът на гориво може да се увеличи до 56%.

3. При дизеловите автомобили изменението на масата на автомобила със 100 kg предизвиква съответно изменението на разхода на гориво за различните автомобили и при различни условия на движение от 0,24 до 0,44 l/100 km или от 4 до 11,6%. Големите стойности се отнасят за автомобилите с по-малка маса и градски

условия на движение. При бензиновите автомобили изменението на масата на автомобила със 100 kg предизвиква съответно изменението на разхода на гориво за различните автомобили и при различни условия на движение от 0,37 до 0,8 l/100 km или от 4 до 17,6%. Големите стойности се отнасят за автомобилите с по-малка маса и градски условия на движение, аналогично на дизеловите автомобили.

4. Използването на климатик, може да увеличи разхода на гориво до 10%.

5. При пътуванията най-често се отделят около 210 g/km CO₂ емисии, съответстващи на приблизителен разход на гориво 9 l/100 km.

6. Ако бензиновият и дизеловият двигател изразходват еднакво количество гориво на празен ход (0,6 l/h), то за работа на двигателя 1 минута на празен ход всеки ден, в годината ще се консумира 3,65 литра и ще се отделя от 8,73 kg до 9,34 kg емисии CO₂.

7. Разликата в средния разход на гориво на автомобилите, намиращи се в експлоатация и новите автомобили, може да достигне 1 l/100 km (0,01 l/km) при скорости на движение над 100 km/h.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват благодарност на фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет, проект 2015-ТФ-01, с чиято финансова помощ е проведено това изследване.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Иван Евтимов. Изследване влиянието на масата на автомобилите върху разхода на гориво при различни условия на движение. BulTrans-2014, September 17-19, Sozopol, стр. 179-181.

[5] Кирил Хаджиев. Особености на работния процес на бензиновите двигатели при студен старт. Научни трудове на Русенския университет - 2009, том 48 серия 4, с. 42-45.

[3] Любенов С., Б. Ангелов, И. Евтимов. Автомобили и трактори. Експлоатационни свойства. Русе, Издателски комплекс при Русенски университет „А. Кънчев“, ISBN 978-954-712-584-1, 2013, стр. 245.

[4] An Improved Education Kit for Fuel-Efficient Driving.
<http://www.nrcan.gc.ca/science/story/1395>

[5] Determination of Weight Elasticity of Fuel Economy for Conventional ICE Vehicles, Hybrid Vehicles and Fuel Cell Vehicles. Project number 55510, Contractor: International Iron and Steel Institute WorldAutoSteel Middletown, OHIO 45044-6211 USA Aachen, June 2007.

[6] Environmental Impacts and Fuel Efficiency of Road Pavements. Industry Report March 2004. PREPARED BY JOINT EPA/EUROBITUME TASK GROUP FUEL EFFICIENCY. http://www.eapa.org/usr_img/position_paper/fuel_efficiency_report.pdf

[7] Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption. Authors: Gordon Taylor, P. Eng. & Jeff Patten, P. Eng. Centre for Surface Transportation Technology (CSTT), National Research Council of Canada (NRC) <http://road-transport-technology.org/>

[8] Financial Assumptions and Parameters. http://www.wisdot.info/ekonomics/index.php?title=Financial_Assumptions_and_Parameters

[9] Fuel Consumption of Vehicles: Poor Road Condition Adds to the Woes of Vehicle Owners. <http://pradeepkumarb.expertscolumn.com/article/fuel-consumption-vehicles-poor-road-condition-adds-woes-vehicle-owners>

[10] Jan Rouwendal. An Economic Analysis of Fuel Use Per Kilometre by Private Cars. Journal of Transport Economics and Policy, January 1996, p. 158.

[11] M. Treiber, A. Kesting and C. Thiemann. How Much does Traffic Congestion Increase Fuel Consumption and Emissions? Applying a Fuel Consumption Model to the NGSIM Trajectory Data, 2007, p.17.

[12] Rhett Allain. Fuel Economy Versus Mas.
<http://www.wired.com/2012/08/fuel-economy-vs-mass/>

[13] The Relationship Between Mass Reduction and Fuel Economy
<http://www.worldautosteel.org/why-steel/fuel-efficiency/>

[14] Rhett Allain Fuel Economy Versus Mas.
<http://www.wired.com/2012/08/fuel-economy-vs-mass/>

[15] Speed Kills MPG. <http://www.mpgforspeed.com/>
[16] Traffic Congestion and Greenhouse Gases, by Matthew Barth and Kanok Boriboonsomsin. http://www.uctc.net/access/35/access35_Traffic_Congestion_and_Grenhouse_Gases.shtml

[17] Urban driving FE – a real life case analysis.
<http://prius3.wordpress.com/2012/03/04/urban-driving-fe-a-real-life-case-analysis/>

За контакти:

Доц. д-р Иван Евтимов, катедра „Двигатели и транспортна техника“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082-888 527, e-mail: iewtimov@ru.acad.bg

Проф. д-р Росен Иванов, катедра „Двигатели и транспортна техника“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.: 082-888 528, e-mail: rossen@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.