

ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

УДК 629.113 + 504

С. П. Высоцкий, д-р техн. наук, проф., Н. А. Столярова, канд. техн. наук, доц., Е. И. Харлова

Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЕЙ

Выполнен анализ влияния факторов на топливную экономичность автомобилей. Показано, что экономические показатели автотранспортных средств зависят от скорости автомобиля, аэродинамического сопротивления давлению, эффективного поперечного сопротивления, качества дорог, движения и условий равномерности движения. Получены аналитические зависимости между расходом топлива и экономией топлива для разных типов автомобилей от скорости автомобиля. Проанализированы коэффициенты аэродинамического сопротивления для различных типов транспортных средств. Оценено влияние токсичных компонентов, выбрасываемых автомобильным транспортом, на состояние окружающей среды.

Введение

Автомобильный транспорт является одним из важных составляющих хозяйства страны. Перевозка грузов (пищевые продукты, товары легкой промышленности, радиоэлектроники и пр.), а также перевозка пассажиров внутри городов осуществляется в основном только с использованием автомобильного транспорта. Увеличивается также доля использования автомобильного транспорта в межгосударственных перевозках. Значительная часть потока грузоперевозок осуществляется в городах. Это оказывает неблагоприятное влияние на состояние атмосферы городов. Вклад автомобилей составляет до 50 % всех выбросов оксидов азота в атмосферу, на тепловые электростанции приходится 20 % указанных выбросов и на остальные источники – 30 % [1]. Жидкое топливо в обозримом будущем будет являться основным источником энергии. Только в 2032–2035 гг. увеличится доля потребления твердого топлива в мировом балансе потребления энергоносителей и приблизится к использованию жидкого топлива (рисунок 1).

Цель работы

Цель работы заключается в определении факторов, влияющих на экономические и экологические показатели работы автомобильного транспорта, и в выборе мероприятий, обеспечивающих снижение расхода топлива и, соответственно, уменьшение нагрузки на окружающую среду.

Основная часть

Давно уже прошло время дешевого автомобильного топлива. В настоящее время в странах с относительно недорогим автомобильным топливом предпочитают использовать в повседневной практике легкие автомобили с малым или умеренным расходом топлива.

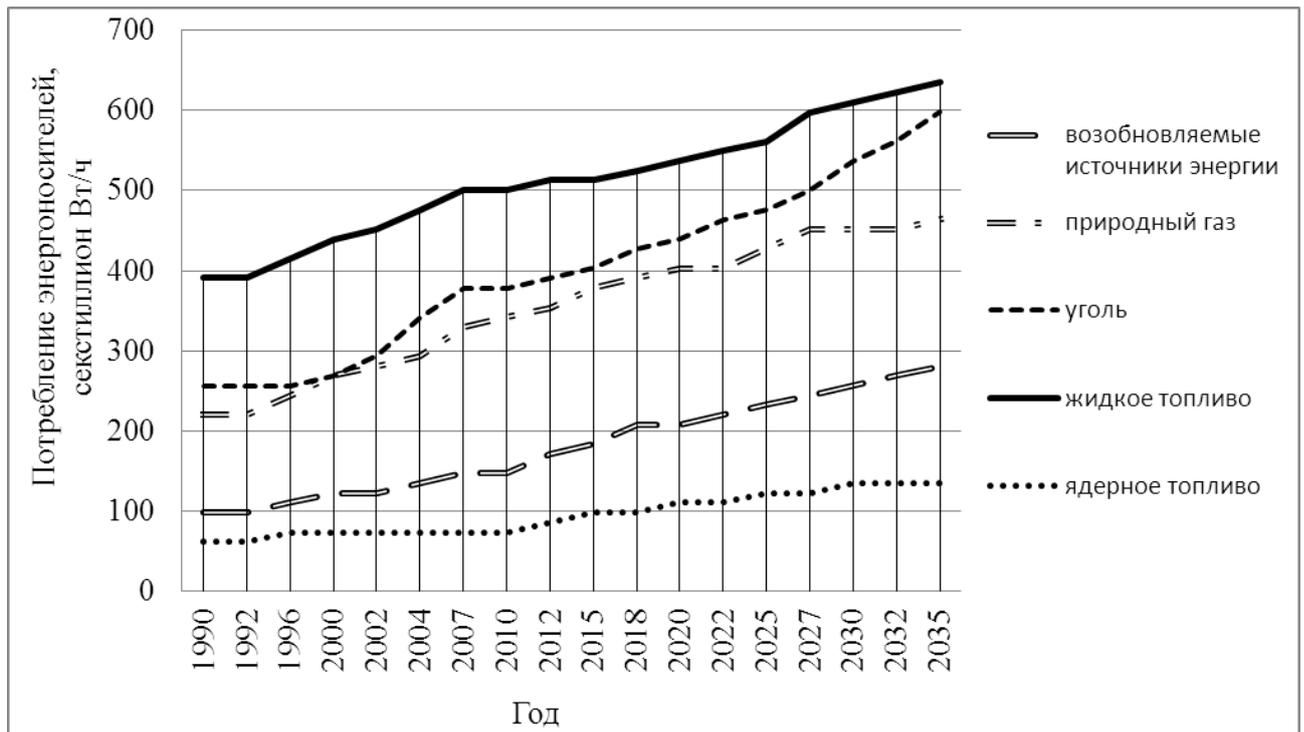


Рисунок 1 – Изменение потребления различных видов топлива по годам

В отдельных странах введены государственные стандарты на расход топлива в зависимости от массы снаряженного (загруженного) автомобиля. Так, например, в Китае приняты следующие стандарты, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы расхода топлива в зависимости от массы снаряженного (загруженного) автомобиля по государственным стандартам в Китае

Масса загруженного автомобиля МАЗ, кг	Этап 1:2005.07		Этап 2:2008.01		Этап 3 (предполагаемый)
	Р/Т	А/Т	Р/Т	А/Т	Все
МЗА ≤ 750	7,2	7,6	6,2	6,6	5,7
750 < МАЗ ≤ 865	7,2	7,6	6,5	6,9	5,7
865 < МАЗ ≤ 980	7,7	8,2	7,0	7,4	5,7
980 < МАЗ ≤ 1,090	8,3	8,8	7,5	8,0	6,1
1,090 < МАЗ ≤ 1,205	8,9	9,4	8,1	8,6	6,5
1,205 < МАЗ ≤ 1,320	9,5	10,1	8,6	9,1	6,9
1,320 < МАЗ ≤ 1,430	10,1	10,7	9,2	9,8	7,3
1,430 < МАЗ ≤ 1,540	10,7	11,3	9,7	10,3	7,7
1,540 < МАЗ ≤ 1,660	11,3	12,0	10,2	10,8	8,1
1,660 < МАЗ ≤ 1,770	11,9	12,6	10,7	11,3	8,6
1,770 < МАЗ ≤ 1,880	12,4	13,1	11,1	11,8	9,0
1,880 < МАЗ ≤ 2,000	12,8	13,6	11,5	12,2	9,4
2,000 < МАЗ ≤ 2,110	13,2	14,0	11,9	12,6	9,8
2,110 < МАЗ ≤ 2,280	13,7	14,5	12,3	13,0	10,3
2,280 < МАЗ ≤ 2,510	14,6	15,5	13,1	13,9	11,0
2,510 < МАЗ	15,5	16,4	13,9	14,7	11,8

Р/Т – ручная трансмиссия; А/Т – автоматическая трансмиссия

Целесообразно оценить как используется энергия сжигаемого топлива. Энергия двигателя автомобиля расходуется следующим образом: 33 % энергии уходит с дымовыми газами, 29 % теряется в системе охлаждения двигателя и 33 % превращается в механическую

энергию. Третья часть механической энергии расходуется на преодоление сил трения и 5 % – на преодоление сопротивления ветра. В качестве сравнения можно привести данные по электромобилям. В последних на преодоление сил трения расходуется в два раза меньше энергии по сравнению с двигателями внутреннего сгорания.

По среднестатистическим мировым данным годовые расходы энергии на преодоление сил трения составляют 11860 мегаджоулей, из которых 24 % расходуется на преодоление трения в колесах, 35 % – на трение в двигателе, 15 % – в коробке скоростей и 15 % – в тормозной системе. В современных автомобилях только 21,5 % энергии сжигаемого топлива расходуется на движение автомобиля, остальная энергия теряется бесполезно.

Необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на перерасход топлива:

- снижение давления внутри шин с $2,0 \text{ кг/см}^2$ до $1,5 \text{ кг/см}^2$ ведет к перерасходу топлива примерно на 3 %;
- каждые 500 кг веса машины потребляют примерно 700 литров бензина в год (при норме пробега 20 тыс. км в год). Если автомобиль весит 1000 кг, сжигается за год около 1400 литров топлива, если автомобиль весит 1500 кг – 2100 литров;
- разрегулированный автомобиль потребляет топливо на 10 % больше, поэтому необходима правильная регулировка колес («развал-схождение»);
- включенный кондиционер увеличивает расход топлива примерно на 10 %;
- открытые окна автомобиля при скорости свыше 50 км/час приводят к перерасходу топлива.

Некоторые факторы, влияющие на расход топлива, зависят непосредственно от водителя:

- важным элементом экономии топлива является скорость переключения передач. Для карбюраторного двигателя переключение передач должно происходить при достижении числа оборотов двигателя 2500 об/мин, а для дизельных – 2000 об/мин;
- торможение и последующий разгон вызывают повышенный расход топлива;
- не следует держать ногу на педали тормоза во время движения;
- необходимо использовать ручной тормоз для удерживания автомобиля на склоне;
- воздерживаться от поездок в часы пик;
- медленное плавное движение предпочтительнее резких разгонов и торможений;
- не следует полностью прогревать двигатель перед началом движения. Но педаль газа при этом надо нажимать как можно меньше, пока двигатель полностью не прогреется;
- езда со скоростью 130 км/ч увеличивает расход топлива на 25 % по сравнению со скоростью 110 км/ч, но, с другой стороны езда со скоростью 110 км/ч увеличивает расход топлива по сравнению со скоростью 100 км/ч и т. д.;
- при остановке более чем на минуту необходимо заглушить двигатель;
- не следует часто нажимать на педаль газа;
- любое изменение мощности двигателя вызывает перерасход топлива.

Увеличение расхода топлива Δq_a на преодоление аэродинамического сопротивления существенно зависит от скорости движения автомобиля (рисунок 2) и описывается полученной авторами формулой

$$\Delta q_a = 1,7 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(2,46 \cdot 10^{-2} \cdot V), \quad (1)$$

где V – скорость движения автомобиля, км/ч.

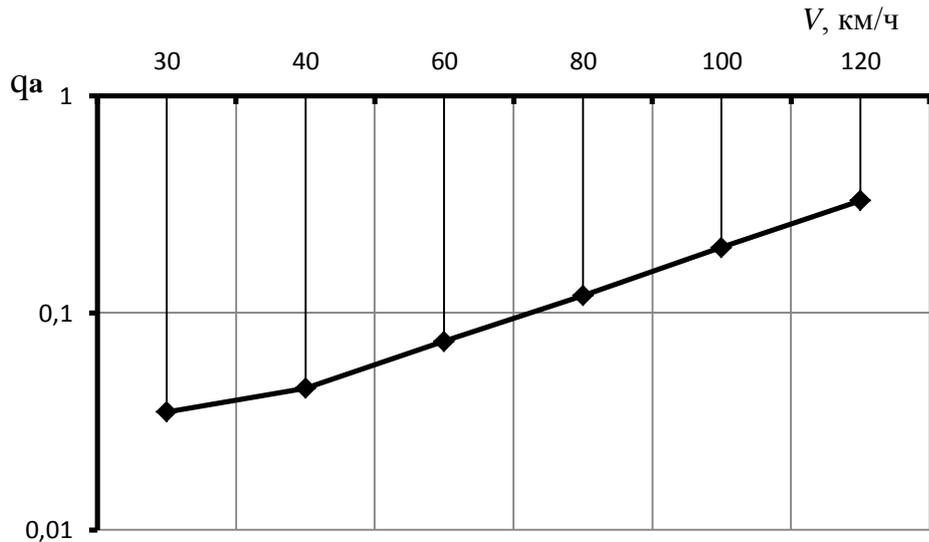


Рисунок 2 – Зависимость относительного расхода топлива на преодоление аэродинамического сопротивления от скорости движения автомобиля

Аэродинамическое сопротивление зависит от коэффициента трения (K_T). На рисунке 3 показаны относительные изменения коэффициентов сопротивления для различных типов автомобилей. K_T всегда относится к фронтальной поверхности автомобиля.

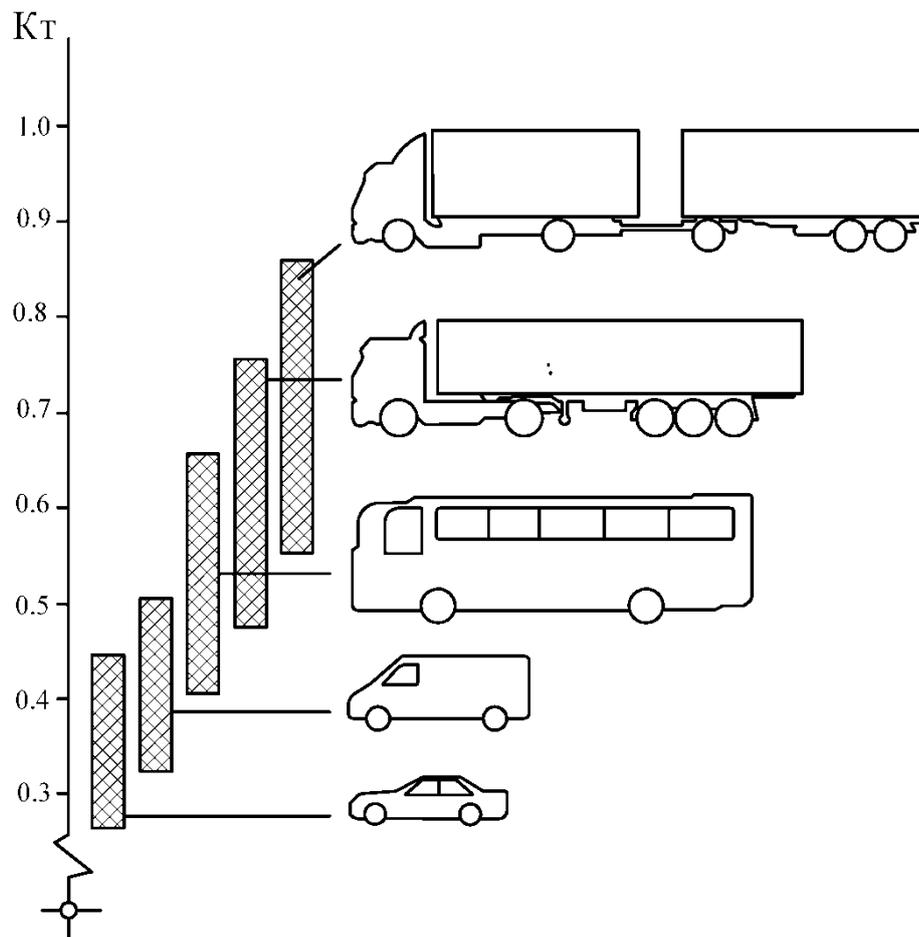


Рисунок 3 – Коэффициенты сопротивления для различных типов автомобилей

Преодоление трения корпуса автомобиля о поток воздуха является одним из

основных источников расхода топлива. Расход энергии на преодоление трения выражается формулой

$$\mathcal{E} = 1/2(K_t \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S), \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

V – скорость автомобиля, км/ч;

S – лобовое сечение автомобиля, м².

Автомобиль с высоким коэффициентом трения и малой фронтальной поверхностью будет иметь меньшее трение по сравнению с автомобилем с малым коэффициентом трения. Острые края автомобиля, выступающие части (открытые люки, надстройки для транспортировки груза на крыше и др.) создают местные турбулентные потоки, которые увеличивают сопротивление. Следующие основные правила: кабина должна иметь одинаковую высоту и ширину с полуприцепом; зазор между кабиной и полуприцепом должен быть минимальным; верхние и боковые части зазора должны быть «сглажены» соответствующими надстройками; наличие верхних открытых люков, грузов, перевозимых на крыше автомобиля, существенно увеличивает аэродинамическое сопротивление и, соответственно, расход топлива.

На рисунке 4 показано влияние коэффициента аэродинамического сопротивления от соотношения ширины зазора к высоте прицепа на K_t .

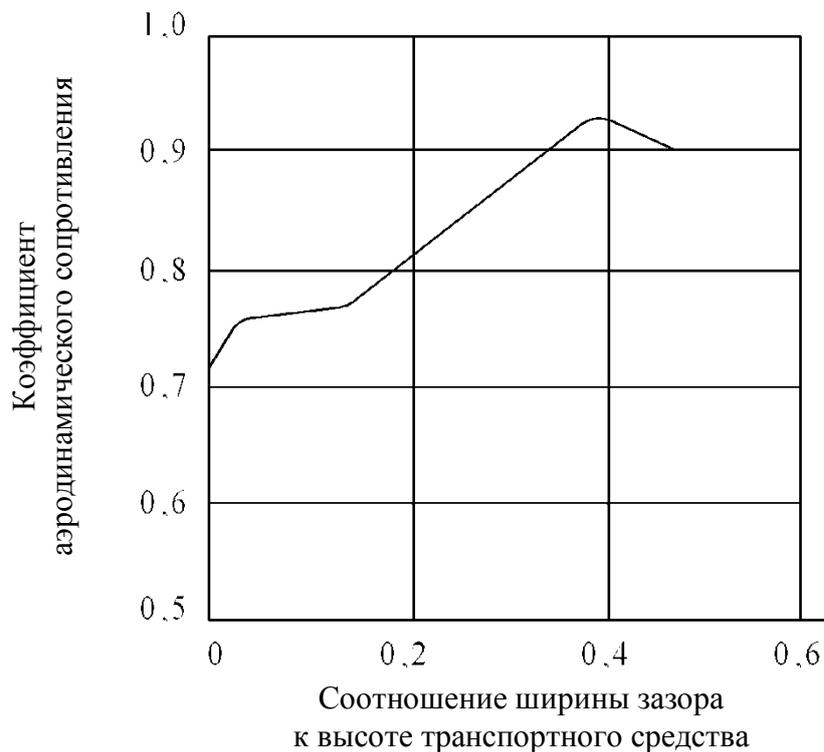


Рисунок 4 – Изменение коэффициента аэродинамического сопротивления в соответствии с изменением отношения ширины зазора к высоте транспортного средства

Следующим фактором, влияющим на экономичность двигателя, является уровень топлива в топливном баке. Езда с минимальным уровнем топлива (полупустым баком) отрицательно сказывается на работе двигателя и увеличивает расход топлива.

Температуру воздуха от +5° С до +20° С считают нормальной для работы автомобиля, т. к. в этом диапазоне температур легко поддерживается оптимальное тепловое состояние агрегатов автомобиля и обеспечивается их нормальная работа.

При высокой температуре воздух имеет пониженную плотность. Следовательно, масса засасываемого воздуха уменьшается. Плотность топлива и его вязкость понижаются, но его испаряемость становится выше, и в целом горючая смесь оказывается немного переобогащенной. Переобогащенная смесь сгорает не полностью, что ведет к потерям топлива (перерасход незначителен) (таблица 2) [2]. Переобогащение приводит и к увеличению токсичности отработавших газов.

Таблица 2 – Средние расходы топлива для автомобилей

ЗИЛ-130		ГАЗ-24		Москвич-434	
$t_b, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{ л/100 км}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{ л/100 км}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{ л/ 100 км}$
19	38,62	22	13,81	19	12,47
-5	39,78	6	13,79	3	12,49
-19	42,18	-8	14,13	-7	12,95
-31	43,65	-20	15,50	-23	13,63
-38	47,16	-34	16,33	-31	14,44
-45	48,26	-42	-	-39	14,60

Влияние пониженной температуры окружающего воздуха характеризуется:

- 1) трудностью пуска холодного двигателя и подготовкой к движению автомобиля;
- 2) значительными износами при пуске двигателя и при работе на пониженных тепловых режимах;
- 3) повышенным расходом топлива и увеличением токсичности отработавших газов.

По данным исследований, выполненных зарубежными фирмами, расход топлива может быть существенно снижен за счет добавок к смазкам, использования смазочных масел с низкой вязкостью и использования шин с низким коэффициентом сопротивления качению и повышенным давлением внутри шин.

Применение технологий обработки трущихся поверхностей алмазосодержащими и нанокompозитными материалами позволяет снизить трение от 10 % до 50 %, а потребности топлива – на 4–5 %. Применение ионизации жидкостей позволяет получить разнозаряженные частицы, что позволяет снизить трение еще на 25–50 %.

По реалистичным оценкам в ближайшие 5–10 лет использование новых технологий по снижению трения позволит ежегодно экономить 117 млрд литров бензина, т. е. экономить приблизительно 18 % от современного уровня его потребления. При этом выбросы двуокиси углерода уменьшатся на 290 млн тонн.

В дизельных двигателях из-за недостаточной температуры конца такта сжатия топливо плохо воспламеняется или воспламеняется с большим запаздыванием. Это сопровождается повышенной скоростью нарастания давления, что ведет к повышенному износу деталей и неполному сгоранию топлива.

Для дизельных двигателей трудность воспламенения зависит также от ухудшения качества распыла топлива вследствие роста его вязкости. При пуске холодного дизельного двигателя температура конца такта сжатия может оказаться недостаточной для обеспечения самовоспламенения топлива и двигатель может не запуститься. Пуск дизеля может быть также затруднен из-за выпадения кристаллов парафина из дизельного топлива, что может привести к прекращению подачи топлива.

К факторам, которые непосредственно влияют на расход топлива автомобилей, относятся: внутренние – связанные с преодолением механических сопротивлений двигателя и трансмиссии, и внешние – связанные с преодолением сопротивления движению автомобиля.

Суммарный расход топлива представляет собой сумму составляющих расходов на преодоление различных видов сопротивлений [3], который имеет вид:

$$Q_{\Sigma} = Q_{qb} + Q_t + Q_f + Q_{\gamma} + Q_{\alpha} + Q_a, \text{ л/100 км}, \quad (3)$$

где Q_{qb} – расход топлива на преодоление механических, тепловых и гидравлически потерь в двигателе;

Q_t – расход топлива на преодоление гидромеханических и тепловых потерь в трансмиссии;

Q_f – расход топлива на преодоление сопротивления качению колес;

Q_γ – расход топлива на преодоление сил инерции автомобиля;

Q_α – расход топлива, связанный с дорожными эволюциями (подъем, спуск, крутые повороты);

Q_a – расход топлива на преодоление аэродинамического сопротивления.

Одним из эффективных направлений экономии топлива на автомобильном транспорте является использование топливных элементов. Последние позволяют снизить расход топлива на 30–90 %. Топливные элементы «работают» на водороде, который является возобновляемым источником энергии. Использование топливных элементов исключает эмиссию такого парникового газа как двуокись углерода. Использование топливных элементов существенно упрощает конструкцию автомобиля, т. к. практически исключает количество движущихся частей (за исключением колес автомобиля). Если 20 % автомобилей в мировой практике будут переведены на использование топливных элементов, то это позволит уменьшить потребление углеводородных топлив на 5,678 млн литров в день. Еще одно достоинство – практически отсутствие необходимости использования электрохимических аккумуляторов с токсическими жидкостями (в основном с кислотой) и перезарядных батарей.

Для отечественной практики важной составляющей расхода топлива является качество покрытий автомобильных дорог.

Ухудшение ровности дорожного покрытия, (см/км) вызывает необходимость снижения скорости автомобиля, вследствие чего происходит перерасход топлива. Зависимость средней скорости транспортного потока от ровности дорожного покрытия показана на рисунке 5.

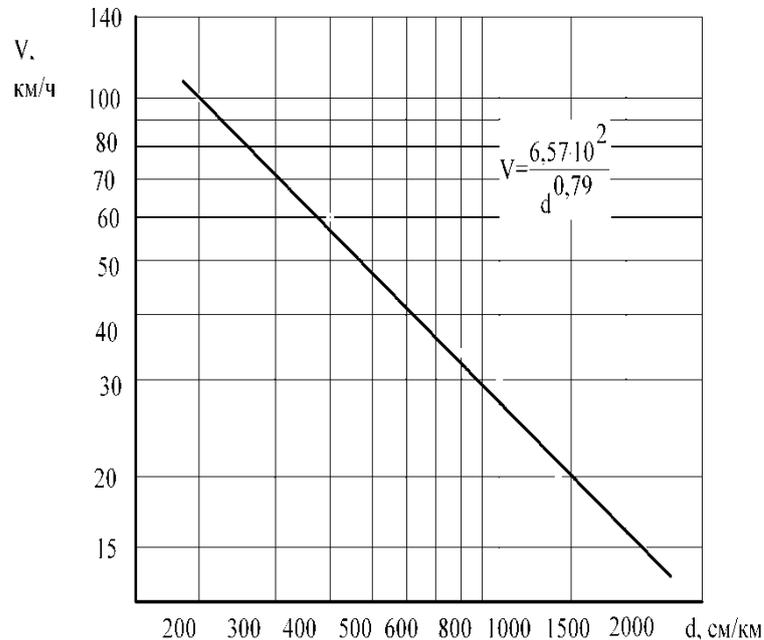


Рисунок 5 – Зависимость средней скорости транспортного потока от ровности дорожного покрытия

Зависимость логарифма значений экономии топлива от скорости различных автомобилей показана на рисунке 6.

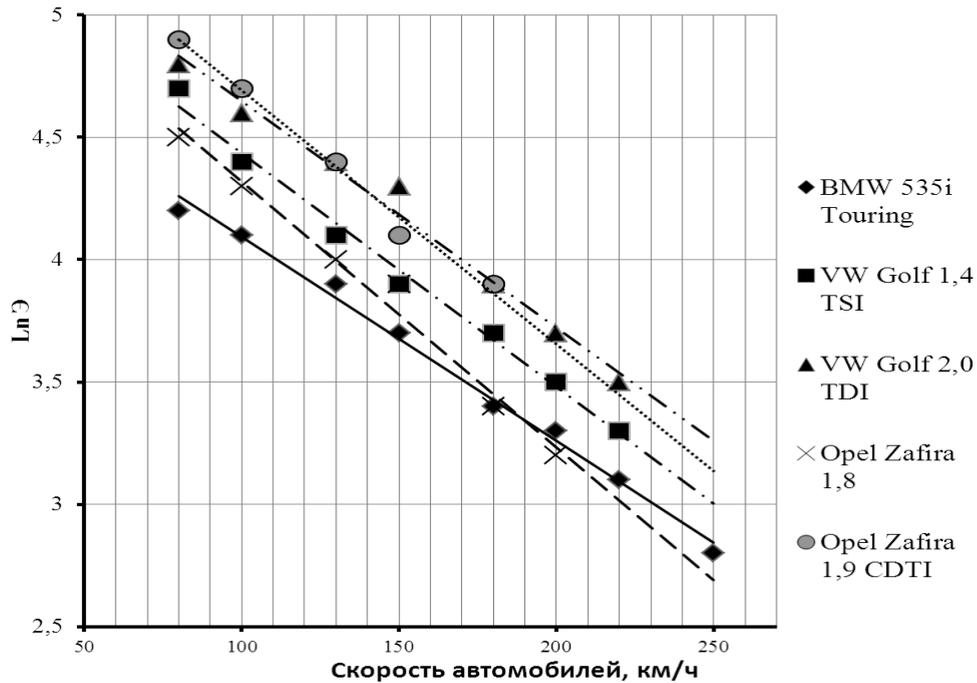


Рисунок 6 – Зависимость логарифма значений экономии топлива от скорости различных автомобилей

Установлены зависимости экономии топлива различных автомобилей (\mathcal{E}) от скорости движения (формулы 4–8).

$$\text{BMW 535i Touring:} \quad \mathcal{E} = 137,95 \cdot \exp(-8,3 \cdot 10^{-3} \cdot V); \quad (4)$$

$$\text{VW Golf 2,0 TDI:} \quad \mathcal{E} = 262,80 \cdot \exp(-9,2 \cdot 10^{-3} \cdot V); \quad (5)$$

$$\text{Opel Zafira 1,8:} \quad \mathcal{E} = 221,89 \cdot \exp(-1,08 \cdot 10^{-2} \cdot V); \quad (6)$$

$$\text{Opel Zafira 1,9 CDTI:} \quad \mathcal{E} = 306,37 \cdot \exp(-1,04 \cdot 10^{-2} \cdot V); \quad (7)$$

$$\text{VW Golf 1,4 TSI:} \quad \mathcal{E} = 218,59 \cdot \exp(-9,5 \cdot 10^{-3} \cdot V). \quad (8)$$

По данным [4–8] при работе двигателя автомобиля в режиме разгона и при установившейся скорости выбрасывается основная масса токсичных веществ. За весь испытательный цикл выброс окислов азота и окиси углерода составляет 85 % от суммарного выброса отработавших газов. При работе автомобиля в режиме торможения выбросы окислов азота отсутствуют. Установлена корреляционная связь между концентрацией углекислого газа в атмосфере и интенсивностью движения транспортных средств для движения отдельного автомобиля в транспортном потоке со средней скоростью на участке между перекрестками. Содержание углекислого газа в атмосфере увеличивается в 3 раза при изменении интенсивности автомобильного движения с 400 до 1200 авт/ч. В атмосфере крупных городов в рабочие дни утром и вечером наблюдается максимальная концентрация углекислого газа, что соответствует пикам интенсивности транспортных потоков. Снижение вредного влияния отработавших газов автомобилей в крупных городах достигается с помощью рациональной организации транспортных потоков, в частности запрещения или ограничения въезда грузовых автомобилей в центральную часть городов.

Влияние мероприятий по регулированию дорожного движения на выброс токсичных веществ легковыми автомобилями показано в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние мероприятий по регулированию дорожного движения на выброс токсичных веществ легковыми автомобилями

Режим дорожного движения	Выброс токсичных веществ, г/км		
	СО	С _m Н _n	NO _x
Безостановочное движение на перегоне	14,6	1,02	0,87
Движение на перегоне при наличии: средств регулирования (светофор)	15,7	1,20	0,85
одного перекрестка	17,7	1,22	0,84
двух перекрестков	19,4	1,50	0,83

Выброс токсичных веществ легковым автомобилем показан в таблице 4.

Таблица 4 – Выброс токсичных веществ легковым автомобилем

Параметр автомобиля	Выброс токсичных веществ, г/км		
	СО	С _m Н _n	NO _x
Автомобиль только с водителем	24,0	1,60	2,0
То же, с 1 пассажиром	25,2	1,66	2,06
То же, с 4 пассажирами	28,30	1,76	2,46
Выброс токсичных веществ на 1 пассажира	1,08	0,04	0,06

Выводы

Из приведенных материалов можно сделать вывод, что основными составляющими, которые влияют на расход топлива, являются качество автомобильных дорог, скорость и режим движения, а также качество регулировки агрегатов автомобиля. Получены аналитические зависимости расхода топлива и экономии топлива от скорости движения автомобиля, а также средней скорости транспортного потока от ровности дорожного покрытия. Выполнен анализ влияния коэффициента аэродинамического сопротивления в зависимости от типа автомобиля и расстояния между тягачом и трейлером.

Список литературы

1. Nitrogen Oxides (Nox), Why and How They Are Controlled: Technical Bulletin. – EPA 456/F-99-006R. – 1999. – 57 p.
2. Токарев А. Н. Техническая эксплуатация автомобилей на маршруте: учебное пособие / А. Н. Токарев. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – 2004. – 383 с.
3. Tokarev A. N. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley na marshrute: uchebnoye posobiye (Technical Operation of Automobiles on Route: Study Guide) / A. N. Tokarev. – Barnaul: Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. I. I. Polzunova. – 2004. – 383 s.
4. Тягний В. Г. Влияние на расход топлива различных видов сопротивлений движению автопоездов / В. Г. Тягний, В. Д. Лисовенко // Науковий вісник КУЕІТУ. Нові технології. – К., 2011. – № 1 (31). – С. 98–104.
5. Tyagniy V. G. Vliyanie na raskhod topliva razlichnykh vidov soprotivleniy dvizheniyu avtopoyezdov (The Effect of Different Kinds of Pressure Drag of Motor Vehicle Trains on Fuel Consumption) / V. G. Tyagniy, V. D. Lisovenko // Naukoviy visnyk KUEITU. Novi tekhnologii. – K., 2011. – № 1 (31). – S. 98–104.
6. Ерохов В. И. Влияние организации дорожного движения на выброс вредных веществ автотранспортными средствами / В. И. Ерохов, И. В. Одинокова // Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития». – М.: МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 43–53.
7. Yerokhov V. I. Vliyanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya na vybros vrednykh veshchestv avtotransportnymi sredstvami (The Effect of Traffic Management on Emission of Harmful Substances Caused by Motor Transport Vehicles) / V. I. Yerokhov, I. V. Odinkova // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii AAI "Avtomobile- i traktorostroyeniye v Rossii: priority razvitiya". – М.: MGTU "MAMI", 2010. – S. 43–53.
8. Goriben N. Entwicklungen der Kiz – Schadstoffemissionen – Erfordernisse und Möglichkeiten zur Minderung: Vort. / N. Goriben // Kommiss, Reihalt. Luft VDI and DIN Umweltschutz Städten: Emissionsmindex., Entsorge. Energie, Flan., Dresden, 20 – 22 Mai, 1992 // VDI-Ber. – 1992. – № 925. – S. 197–222.
9. Nijkamp P. Sustainable Urban Transport System: an Expert-Based Strategic Scenario Approach / Nijkamp P., Ouwersloot H., Rienstra S. A. // Urban Stud. – 1997. – 34, № 4. – Pp. 693–712.

8. Евгенийев И. Е. Автомобильные дороги в окружающей среде / И. Е. Евгенийев, Б. Б. Каримов. – М.: ООО «Трансдорнаука», 1997. – 285 с.

Yevgenyev I. Ye. Avtomobilnyye dorogi v okruzhayushchey srede (Automobile Roads and the Environment) / I. Ye. Yevgenyev, B. B. Karimov. – М.: ООО «Transdornauka», 1997. – 285 s.

9. Павлова Е. И. Экология транспорта: учеб. для вузов / Е. И. Павлова, Ю. В. Буралев. – М.: Транспорт, 1998. – 232 с.

Pavlova Ye. I. Ekologiya transporta: ucheb. dlya vuzov (Transport and Ecology: College Textbook) / Ye. I. Pavlova, Yu. V. Buralev. – М.: Transport, 1998. – 232 s.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є. О. Воробйов, АДІ ДонНТУ
Стаття надійшла до редакції: 24.09.2013