

УДК 629.113

**КРИВОШАПОВ С.І., к.т.н, доцент,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

## СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

*Запропоновано новий метод визначення базової норми витрати палива з аналізу статистичних даних, отриманих за вибіркою модельного ряду автомобілів, для яких ці норми були вже визначені. Було проведено аналіз факторів, які впливають на паливну економічність, і виділено 8 таких конструктивних параметрів. На підставі статистичного та регресійного аналізу було запропоновано емпіричні формули для розрахунку базової норми витрати палива для автомобілів з бензиновими і дизельними двигунами. За моделлю можна приблизно оцінити чисельне значення норми витрати палива для автомобілів, відомості про яких відсутні в нормативно-правовій документації.*

**Ключові слова:** автомобіль, витрата палива, експлуатаційні властивості, нормування палива, нормативні акти, регресійний аналіз.

### Постановка проблеми

Для виконання своїх функцій – перевезення вантажів і пасажирів – автомобілю необхідний зовнішній енергетичний ресурс. На сьогоднішній день найпоширенішим видом енергії є паливо нафтового походження – бензин, дизельне паливо, зріджений нафтовий газ.

Витрата пально-мастильних матеріалів на Україні регламентується наказом Міністерства транспорту України № 43 від 10 лютого 1998 [1]. Даний нормативний документ встановлює наступні види норм витрат палива: базову лінійну норму, норми виконання транспортної роботи, зміни спорядженої маси на одну тону, виконання однієї поїздки з вантажем, пробігу і роботи спеціалізованого обладнання, роботи автономного обігрівача. Базова норма витрати палива є основною нормою, яка встановлюється для всіх типів і марок автомобілів в л/100 км. Однак недоліком даного документа є те, що не для всіх марок і модифікацій рухомого складу встановлені чисельні значення базової норми витрати палива.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існують розрахункові методи визначення витрати палива автомобілів, розроблені у різні роки вченими, такими як: Чудаков Є.А., Земелев Г.В., Іларіонов В.А., Фалькевич В.С., Бухарін Н.А., Доброхотов Є.А., Говорущенко М.Я., Крестовніков Г.А., Петрушков В.А., Шуклін С.А., Масковкін В.В., Аніскін Л.Г., Квітко Х.Д., Перушков Н.В., Бездомов А.Г., Новчков О.А., Уваров В.М., Фігуров І.В., Багаєв М.І., Резнік Л.Г., Віленський Л.П., Кнороз В.І., Щелухін А.С., Беккер М.Г., Токарев А.А., Наркевич Є.Н., Шмідт А.Г., Дмитрієвський А.В., Ситін К.Ю., Яковлев Н.А., Висоцький М.С., Бельський Ю.Ю. та іншими, які запропонували аналітичні залежності для розрахунку шляхового витраті палива [2].

У цій області заслуговують уваги роботи проф. Говорущенко Н.Я., яким було запропоновано аналітичні залежності розрахунку витрати палива, які зв'язують основні конструктивні та експлуатаційні параметри автомобіля, властивості палива і умови експлуатації машин [3]. Потім запропоновані інші методики розрахунку витрати палива: через ККД автомобіля і шум при скорення [4], через визначення 4-х ККД [5], за індикаторною витратою палива в окремих агрегатах автомобіля [6]. А також методики визначення витрати палива на імітаційному стенді з біговими барабанами [7].

Всі ці методики з різним ступенем точності дозволяють розрахувати споживання палива автомобілів в умовах експлуатації. Однак для розрахунку необхідні вихідні дані, які вимагають доступ до технічної інформації заводу виробника або довідкових ресурсів.

### **Мета статті**

В даному дослідженні запропоновано визначати норму витрати палива за інформацією з реєстраційних документів на автомобіль. Для виконання цієї мети необхідно виділити групи взаємопов'язаних об'єктів, виділити параметри, які першочергово впливають на паливну економічність, якісно і кількісно оцінити вплив основних параметрів на витрату палива, отримати спрощені аналітичні залежності, за якими можна розрахувати значення базової норми витрати палива.

### **Матеріали й результати дослідження**

Принцип діючої на Україні методики нормування витрат палива закладався ще в СРСР. Для отримання значень базової норми витрати палива використовувалися статистичні дані, отримані з спостереження за автомобілями в умовах експлуатації. На підприємстві, як правило, немає можливості тривалого спостереження за великою кількістю машин однієї марки і модифікації. Але ми можемо застосувати методи статистичної обробки для автомобілів, наведених в нормативно-правовій базі, і перекласти характер закономірностей на нові автомобілі.

Статистичний аналіз показав, що для підвищення точності оцінки базової норми витрати палива необхідно рухомий склад розділяти за групи: за типом паливної системи (бензинові та дизельні) і за видом автомобілів (легкові, вантажні та автобуси). У кожній групі витрата палива підпорядковується нормальному закону розподілу. Для підвищення точності розрахунку необхідно максимально збільшити вибірку автомобілів, які входять до кожної групи.

Було проведено кластерний аналіз 125 моделей автомобілів різних марок за 50 технічними параметрами. Мета кластерного аналізу – оцінити найбільш істотні конструктивні параметри, що впливають на базову норму витрати палива. Виділено дві групи параметрів. До першої групи увійшли: кількість циліндрів, робочий об'єм двигуна, динамічний радіус колеса, передавальне число головної передачі. До другої групи впливу увійшли наступні параметри: колісна формула, тип двигуна, хід поршня і діаметр циліндра, максимальна швидкість автомобіля, потужність двигуна, кількість циліндрів, робочий об'єм двигуна, радіус колеса і передавальне число головної передачі. Витрата палива пов'язана з надгрупою, в яку включено такі параметри, як повна і споряджена маса автомобіля.

На рис. 1 наведені результати регресійного аналізу впливу конструктивних параметрів автомобілів на базову норму витрати палива. В якості основної регресійної моделі була прийнята лінійна характеристика. Окремо було досліджено автомобілі з бензиновими і дизельними двигунами.

Аналізуючи результати, які представлені на рис. 1, можна зробити наступний висновок: найбільш стійкий зв'язок спостерігається між базовою нормою витрати палива і спорядженою масою автомобіля. Автомобіль з бензиновим двигуном має в 1,5 рази більшу витрату палива при однаковій спорядженій масі в порівнянні з автомобілем з дизельним двигуном. У дизельних автомобілів спостерігається більший розкид витрати палива від спорядженої маси в порівнянні з бензиновими автомобілями.

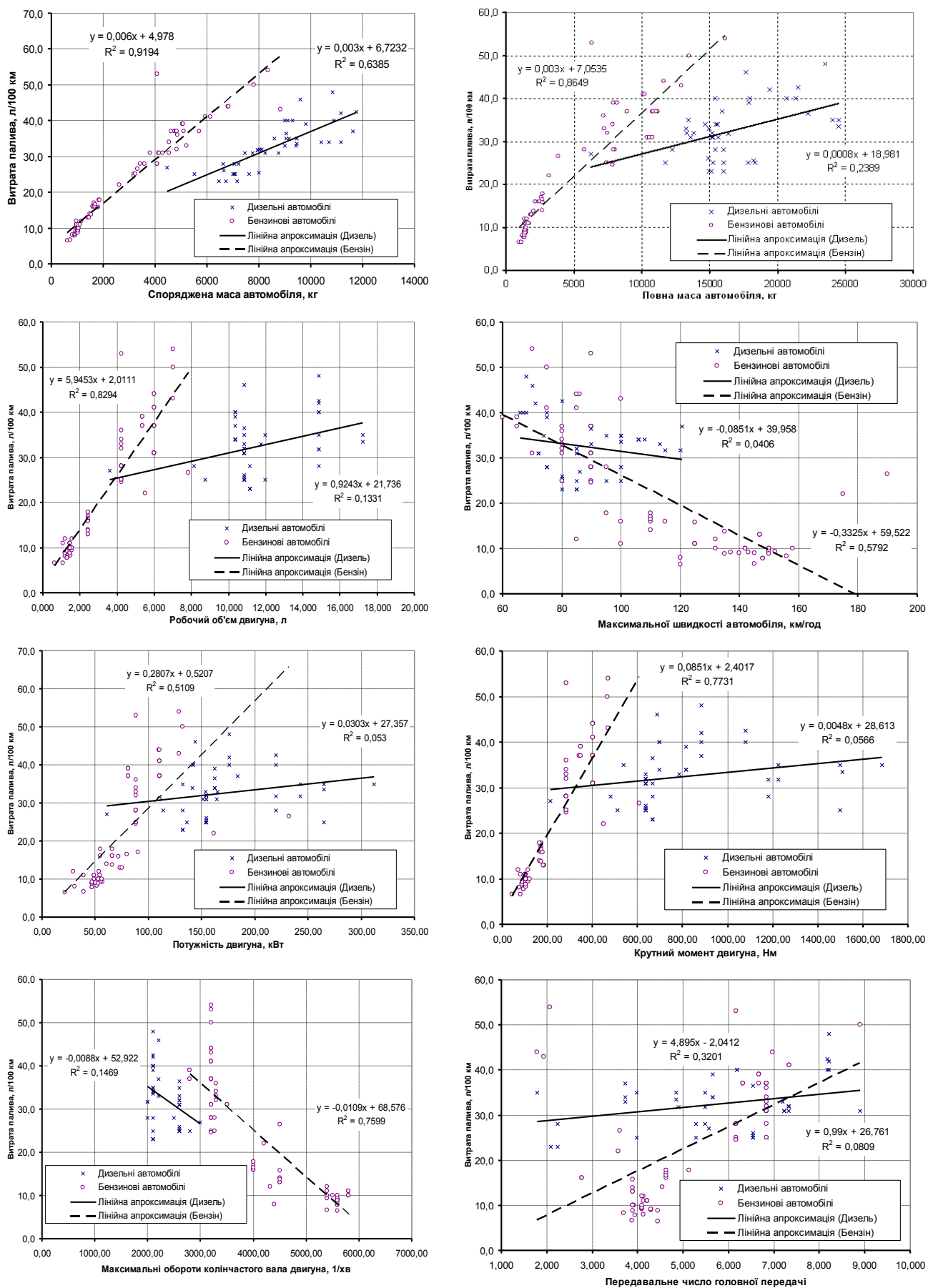


Рис. 1. Залежність витрати палива від конструктивних параметрів автомобіля

Менш стійкий зв'язок між витратою палива і повною масою транспортного засобу. Адже базова норма витрати палива для бортових вантажних автомобілів прив'язана не до повної, а до спорядженої маси. Вага вантажу для таких автомобілів враховується додатковою нормою витрати палива на транспортну роботу. Оскільки легкові автомобілі не призначені для перевезення вантажів, то для них зберігається стійкий лінійний взаємозв'язок витрати палива як для повної, так і для спорядженої маси.

Робочий об'єм двигуна – основна класифікаційна ознака для легкових автомобілів відповідно до ОН 025270-66. Для легкових автомобілів зв'язок між базовою нормою витрати палива і робочим об'ємом двигуна – стійкий лінійний. Для вантажних автомобілів з бензиновими і з дизельними двигунами такий зв'язок менш стійкий. Найчастіше один і той же двигун встановлюється на вантажні автомобілі різних класів, які мають різну вантажопідйомність, отже, відрізняються й витратою палива. Режим навантажування в цьому випадку компенсується підбором передавальних чисел коробки передач і головної передачі.

Витрата палива залежить від швидкості автомобіля. Якщо середня технічна швидкість руху – експлуатаційний показник, то максимальна швидкість автомобіля – конструктивний. На рис. 1 показано вплив максимальної швидкості автомобіля на базову норму витрати палива. У цьому випадку лінійна регресійна залежність не відображає характер зв'язку, особливо для легкових автомобілів. Мінімальне значення витрати палива спостерігається у автомобілів з максимальною швидкістю 120 ... 160 км/год. Для автомобілів з максимальною швидкістю понад 160 км/год. норма базової витрати палива зростає. Для дизельних автомобілів параметр «максимальна швидкість автомобіля», практично не впливає на значення базової норми витрати палива.

Зі збільшенням максимальної потужності збільшується базова норма витрати палива. Причому для автомобілів з бензиновим двигуном вплив цього параметра на витрату палива більш відчутний, ніж для автомобілів з дизельним двигуном. Такий же характер закономірностей спостерігається з максимальним обертовим моментом двигуна.

Зі збільшенням максимальних обертів двигуна базова норма витрати палива зменшується як для бензинових, так і для дизельних автомобілів.

Більш нестійкий зв'язок спостерігається між базовою нормою витрати палива і передавальним числом головної передачі. Цей показник необхідно розглядати спільно з максимальною потужністю і крутним моментом двигуна, а також передавальним числом коробки передач. Загальна тенденція: із збільшенням передавального числа коробки передач базова норма витрати палива зростає, причому для автомобіля з бензиновим двигуном цей вплив вище, ніж для автомобіля з дизельним двигуном.

У табл. 1 наведені значення поліноміальних коефіцієнтів, що зв'язують конструктивний параметр автомобіля з базовою нормою витрати палива. Загальний вигляд залежності такий:

$$Q_i = a_i + b_i \cdot X_i, \quad (1)$$

де  $a_i$  и  $b_i$  – коефіцієнти полінома 1-го ступеня;

$X_i$  – конструктивний параметр автомобіля;

$i$  – номер параметра.

Приймаємо припущення, що всі параметри впливають на базову норму витрати палива пропорційно своїй вазі. Тоді значення базової норми витрати палива можна визначити як середнє арифметичне значення від норм витрати палива, які отримані від кожного параметра:

Таблиця 1

## Значення поліноміальних коефіцієнтів впливу кожного фактора на витрату палива

Параметр впливу (фактор)	Автомобіль з бензиновим двигуном		Автомобіль з дизельним двигуном	
	$a_i$	$b_i$	$a_i$	$b_i$
Споряджена маса автомобіля	4,978	0,006	6,723	0,003
Повна маса автомобіля	7,053	0,003	18,981	0,0008
Робочий об'єм двигуна	2,011	5,945	21,736	0,924
Максимальна швидкість автомобіля	59,522	-0,333	39,958	-0,085
Максимальна потужність двигуна	0,521	0,281	27,357	0,0303
Максимальний крутний момент двигуна	2,402	0,085	28,613	0,0048
Максимальні оберти колінчастого валу двигуна	68,576	-0,011	52,922	-0,0088
Передавальне число головної передачі	-2,041	4,895	26,761	0,990

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (2)$$

де  $Q_i$  – значення базової норми витрати палива, яке розраховано по  $i$ -му параметру;  
 $n$  – кількість параметрів, що беруть участь в розрахунку.

Якщо підставити залежність (1) в формулу (2), то:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i + b_i \cdot X_i)}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n a_i + \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n b_i \cdot X_i. \quad (3)$$

У формулі (3) позначимо  $A = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n a_i$  – значення базової норми витрати палива при нульових значеннях параметрів;  $B_i = \frac{b_i}{n}$  – значення коефіцієнтів ваги, вплив параметра на базову норму витрати палива.

Тоді загальна формула базової норми витрати палива:

$$Q = A + \sum_{i=1}^n B_i \cdot X_i. \quad (4)$$

Розрахуємо базову норму витрати палива для автомобілів з різним типам двигуна.  
Для автомобілів з бензиновим двигуном:

$$A = \frac{1}{8} \cdot (4,978 + 7,053 + 2,011 + 29,522 + 0,521 + 2,402 + 68,576 - 2,041) = 14,128$$

$$B_1 = 0,00075, B_2 = 0,00037, B_3 = 0,743, B_4 = -0,0416, B_5 = 0,035, B_6 = 0,0106,$$

$$B_7 = -0,00137, B_8 = 0,612$$

Тоді базову норму витрати палива можливо розрахувати за наступною формулою:

$$Q = 14,128 + 0,00075 \cdot M_0 + 0,00037 \cdot M_a + 0,743 \cdot V_h - 0,0416 \cdot V_{\max} + \\ + 0,035 \cdot N_{e\max} + 0,0106 \cdot M_{e\max} - 0,00137 \cdot n_{e\max} + 0,612 \cdot i_0 \quad (5)$$

де  $M_0$  – споряджена маса автомобіля, кг;

$M_a$  – повна маса автомобіля, кг;

$V_h$  – робочий об'єм двигуна, л;

$V_{\max}$  – максимальна швидкість автомобіля, км/год;

$N_{e\max}$  – максимальна потужність двигуна, кВт;

$M_{e\max}$  – максимальний крутний момент двигуна, Нм;

$n_{e\max}$  – максимальні оберти колінчастого валу двигуна, хв<sup>-1</sup>;

$i_0$  – передавальне число головної передачі.

Для автомобілів з дизельним двигуном базову норму витрати палива можна розрахувати за такою формулою:

$$Q = 27,88 + 0,00035 \cdot M_0 + 0,0001 \cdot M_a + 0,1155 \cdot V_h - 0,0106 \cdot V_{\max} + \\ + 0,0038 \cdot N_{e\max} + 0,0006 \cdot M_{e\max} - 0,0011 \cdot n_{e\max} + 0,124 \cdot i_0 \quad (6)$$

Формули (5) та (6) рекомендовано застосовувати для приблизного розрахунку базової норми витрати палива, якщо норма не вказана у законодавчій базі.

Для приклада розрахуємо базову норму витрати палива автомобіля Mercedes-Benz ML350 з двигуном M272 KE35. Для цього автомобіля приймемо наступні параметри:  $M_0 = 2060$  кг;  $M_a = 2830$  кг;  $V_h = 3,5$  л;  $V_{\max} = 225$  км/год;  $N_{e\max} = 200$  кВт;  $M_{e\max} = 350$  Нм;  $n_{e\max} = 6000$  хв<sup>-1</sup>;  $i_0 = 3,9$ .

Підставимо вхідні данні для автомобіля Mercedes-Benz ML350 у формулу (5), тоді:

$$Q = 14,128 + 0,00075 \cdot 2060 + 0,00037 \cdot 2830 + 0,743 \cdot 3,5 - 0,0416 \cdot 225 + \\ + 0,035 \cdot 200 + 0,0106 \cdot 350 - 0,00137 \cdot 6000 + 0,612 \cdot 3,9 = 14,84 \text{ л/100 км}$$

Експлуатаційні витрати палива на автомобіль Mercedes-Benz ML350 за даними заводу виробника: за містом – 9,6 л/100 км; у місті – 15,4 л/100 км; змішаний цикл навантаження – 11,4 л/100 км [8]. Данні щодо базової норми витрати палива для автомобіля Mercedes-Benz ML350 відсутні у наказі Міністерства транспорту України № 43 від 10 лютого 1998 [1].

## Висновки

Статистичний та регресійний підхід може бути застосовано для визначення базової норми витрати палива. За отриманими залежностями можна розрахувати нормативні значення експлуатаційної витрати палива. Дані дослідження можуть бути використані при розробці норм для автомобілів, значення яких відсутні в наказі Міністерства транспорту України № 43 від 10 лютого 1998 [1].

## Список літератури

1. Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте [электронный ресурс] // Налоги и бухгалтерский учет: Информационно-аналитическая газета. – Режим доступа: [http://www.nibu.factor.ua/info/Zak\\_basa/NormiGSM/](http://www.nibu.factor.ua/info/Zak_basa/NormiGSM/).

2. Маяк Н.М. Топливная экономичность автомобилей в сложных условиях движения / Н.М. Маяк. – К.: Вища шк., 1990. – 215 с.
3. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.
4. Говорущенко Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД) / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Автомобильный транспорт : Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2004. – № 15.
5. Кривошапов С.І. Розробка методики та алгоритму загального діагностування автомобілів за зміною коефіцієнта корисної дії. / Автореф. канд. техн. наук: 05.22.10. – Харків, ХДАДТУ, 1999. – 20 с.
6. Говорущенко Н.Я. Методы диагностирования автомобилей по изменению общего и индикаторного расхода топлива и частных КПД в отдельных агрегатах. / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик. // XVI научно-техническая конференция с международным участием «Транспорт, экология – устойчивое развитие». – Варна: ТУ, 2010 – С. 442-450.
7. Говорущенко Н.Я. Методы системного расчетно-аналитического и стендового диагностирования легковых автомобилей / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – № 25. – С. 58-61.
8. Автомобиль-Ревю от А до Я: Русское издание Швейцарского автокаталога. – М.: Automobil Revue, 2009. – 360 с.

### **Кривошапов С.И. Статистический метод нормирования расхода топлива на автомобильном транспорте**

*Аннотация.* Предложен новый метод определения базовой нормы расхода топлива по анализу статистических данных, полученных по выборке модельного ряда автомобилей, для которых эти нормы были уже определены. Был проведен анализ факторов, которые влияют на топливную экономичность, и выделены 8 таких конструктивных параметров. На основании статистического и регрессионного анализа были предложены эмпирические формулы для расчета базовой нормы расхода топлива для автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями. По модели можно приближенно оценить численное значение нормы расхода топлива для автомобилей, сведения о которых отсутствует в нормативно-правовой документации.

*Ключевые слова:* автомобиль, расход топлива, эксплуатационные свойства, нормирование топлива, нормативные акты, регрессионный анализ

### **Krivoshapov S.I. The statistical method of rationing of fuel consumption for road transport**

*Abstract.* A new method for determining the base rates of fuel consumption what is building based on the analysis of statistical data obtained from the sampling range of vehicles for which the rules have already been identified. Analysis was performed factors that affect fuel economy and highlights 8 basic it factor. On the basis of statistical and regression analysis were proposed empirical formula for the calculation of the basic fuel consumption standards for cars with petrol and diesel engines. According in the model, you can approximately estimate the numerical value of the fuel consumption standards for vehicles, information on which is absent in the legal documentation.

*Keywords:* car, fuel, performance, fuel rationing, regulations, regression analysis

Стаття надійшла до редакції 23.10.2014 р.