

УДК 623.4+656.1

DOI 10.37700/ts.2020.21.211-221

*Кривошапов С.І. «Визначення норми витрати палива газобалонних автомобілів на прогрів в умовах низьких температур експлуатації»*

Перед Україною стоїть гостра проблема раціонального використання енергетичних ресурсів. Автомобільний транспорт є основним споживачем бензину, дизельного палива і зрідженого нафтового газу. Нажаль більша частина сировини - імпортного виробництва. Діюча на Україні для автомобільного транспорту методика нормування паливно-мастильних матеріалів має ряд недоліків: відсутні значення базових норм витрати палива для значної кількості марок автомобілів, не враховується конструктивні особливості транспортних засобів та вид паливної системи, відсутні норми витрати палива на один запуск і прогрів двигуна з урахуванням фактичної температури навколишнього середовища.

Розширити можливості і усунути недоліки методики в статті запропоновано шляхом математичного моделювання паливної економічності автомобіля. За основу взята розрахункова модель витрати палива проф. Говоруценко Н.Я. У статті отримано аналітичні залежності для розрахунку витрати палива для транспортних засобів з різними паливними системами, включаючи автомобілів на яких встановлена газобалонне обладнання. Отримана нова модель розрахунку витрати палива на запуск і прогрів двигуна в залежності від температури навколишнього повітря. Для автомобіля SKODA Octavia (1,6l) наведені приклади розрахунку базової норми витрати палива при роботі двигуна на дизельному паливі, бензині та зрідженому нафтовому газі. Розрахункові значення витрати рідкого палива відповідає даним заводу-виготвловача, між міським і змішанням циклом випробувань. Витрата газоподібного палива в 2 рази менше нормативного значення Мінтрансу України.

Розраховані норми витрати палива, необхідного для запуску і прогріву двигуна в холодний період експлуатації автомобіля. Отримано табличні і графічні залежності для нормування витрат палива при різних значеннях температури навколишнього середовища. Діюча в Україні система нормування витрат палива враховує тільки 1-3 циклу запусків і прогріву автомобільного двигуна на добу. При інтенсивному режимі експлуатації зі частими і тривалими зупинками нору витрати палива автомобіля необхідно збільшувати.

Наведена методика і результати дослідження можуть бути використані на підприємствах автомобільного транспорту для нормування витрат палива, коли відсутні інші джерела інформації.

**Ключові слова:** автомобіль, витрата палива, експлуатаційні властивості, нормування, нормативні акти, умови експлуатації, властивості палива, температура.

*Кривошапов С.И. «Определение нормы расхода топлива газобаллонных автомобилей на прогрев в условиях низких температур эксплуатации»*

Перед Украиной стоит острая проблема рационального использования энергетических ресурсов. Автомобильный транспорт является основным потребителем бензинов, дизельного топлива и сжиженного нефтяного газа, а большая часть сырья импортного производства. Действующая на Украине для автомобильного транспорта методика нормирования горюче-смазочных материалов имеет ряд недостатков: отсутствуют значения базовых норм расхода топлива для значительного количества марок автомобилей, не учитываются конструктивные особенности транспортных средств и вид топливной системы, отсутствуют нормы расхода топлива на один запуск и прогрев двигателя с учетом фактической температуры окружающей среды.

Расширить возможности и устранить недостатки действующей методики в статье предложено путем математического моделирования топливной экономичности автомобиля. За основу взята расчетная модель расхода топлива проф. Говоруценко Н.Я. В статье получены аналитические зависимости для расчета расхода топлива для транспортных средств с различными топливными системами, включая автомобилей на которых установлена газобаллонная аппаратура. Получена новая модель расчета расхода топлива на запуск и прогрев двигателя в зависимости от температуры окружающего воздуха. Для автомобиля SKODA Octavia (1,6l) приведены примеры расчета базовой нормы расхода топлива при работе двигателя на дизельном топливе, бензине и сжиженном нефтяном газе. Расчетные значения расхода жидкого топлива соответствует данным завода-изготовителя, между городским и смешанным циклом испытаний. Расход газообразного топлива в 2 раза меньше нормативного значения Минтранса Украины.

Рассчитаны нормы расхода топлива, необходимого для запуска и прогрева двигателя в холодный период эксплуатации автомобиля. Получены табличные и графические зависимости для нормирования расхода топлива при разных значениях температуры окружающей среды. Действующая на Украине система нормирования расхода топлива учитывает только 1-3 цикла запусков и прогрева автомобильного двигателя за сутки. При интенсивном режиме эксплуатации с частыми и продолжительными остановками нору расхода топлива автомобиля необходимо увеличивать.

*Полученные зависимости могут быть использованы на предприятиях автомобильного транспорта для нормирования расхода топлива, когда отсутствуют другие источники информации.*

**Ключевые слова:** автомобиль, расход топлива, эксплуатационные свойства, нормирование, нормативные акты, условия эксплуатации, свойства топлива, температура

*S.I. Krivoshev "Determination rate of fuel consumption of gas cars for warm up in low operating temperatures"*

*Ukraine faces an acute problem of rational use of energy resources. Automobile transport is the main consumer of petrol, diesel fuel and liquefied petroleum gas, but most of the raw materials imported. Gas consumption in the road transport of Ukraine is equal to the consumption of gasoline, and vehicles with a power supply system installed on liquefied or compressed gas is 25%. The conditions for burning gas are somewhat different from gasoline or diesel fuel, which must be taken into account to evaluate the fuel efficiency of a car.*

*The technique of rationing of fuels and lubricants in Ukraine has a number of drawbacks: there are no values for basic fuel consumption rates for a significant number of car brands, the design features of vehicles and the type of fuel system are not taken into account, there are no fuel consumption rates for one launch and engine warming up taking into account the actual ambient temperature.*

*Extend the possibilities and eliminate the disadvantages of this technique in the article proposed by using mathematical modeling of fuel economy of the car. The method of calculating the fuel consumption name prof. Govorushchenko N.Ya. it the basis for the calculation model The article obtained analytical dependencies for the calculation of fuel consumption for vehicles with different fuel systems, including cars that have gas equipment installed. A new model for calculating fuel consumption for starting and warming up the engine, taking into account the ambient temperature, has been obtained. For the SKODA Octavia car (1.6l), examples of the calculation of the base rate of fuel consumption when the engine is running on diesel, petrol, and liquefied petroleum gas are given. The calculated values of the liquid fuel consumption correspond to the data of the manufacturer, and the result is between the urban and mixed test cycle. Estimated consumption of gaseous fuel is 2 times less than the standard value specified in the methodology of the Ministry of Transport of Ukraine.*

*It was calculated fuel consumption rate required to start and warm up the engine in the cold period of operation of the vehicle. The mathematical model takes into account: the design of the car, fuel properties, mode of operation, external factors. Tabular and graphical dependences are obtained for the rationing of fuel consumption at different values of the ambient temperature. The SKODA Octavia (1.6l) car spends about 90 ml of gasoline at air temperature 0 °C and more than 130 ml when the temperature is -20 °C. The system of fuel consumption rationing in Ukraine takes into account only 1-3 cycles of starting and warming up an automobile engine per day. In case of intensive operation with frequent and long stops, the hole in the vehicle's fuel consumption must be increased. Within a month, the total fuel consumption for starting and warming up the engine of SKODA Octavia can be about 25 liters (when working in one shift, 30 days, 6 engine starts per shift, air temperature -20 °C)*

*The developed mathematical model and the obtained analytical dependencies can be used at motor transport enterprises for rationing fuel consumption when there are no other sources of information.*

**Keywords:** inertial stand with running drums, all-wheel drive car, power interaction of the car with the stand, load utilization factor

### **Актуальність проблеми**

Для розвитку економіки сучасної держави необхідно споживання енергетичного ресурсу. Основний обсяг внутрішнього виробництва енергії в Україні становить тверде паливо і атомна енергія. Однак вироблена енергія не покриває необхідної для економіки країни обсягу.

Для роботи автомобільного транспорту необхідно рідке або газоподібне паливо, яке в Україні частково завозиться з-за кордону. У 2017 році на АЗС було продано: 6 млн. тон дизельного палива, 2,2 млн. тон бензину і близько 1,6 млн. тон скрапленого газу [1]. В цьому ж році на вітчизняних ГПЗ виробили 794 тис. тон бензину: на Кременчуцькому ГПЗ – 660 тис. тон, на Шебелинському ГПЗ – 134 тис. тон. Що склало лише 40 % від потрібного обсягу бензину.

У 2017 році на український ринок було надано по імпорту більш 5,25 млн. тон дизельного палива. Головними країнами-постачальниками є Білорусь – 2,35 млн. тон і Росія – 1,95 млн. тон. Частка дизельного палива, яка вироблена на вітчизняних ГТЗ, склало менше 9 % [2].

Споживання газу автомобілями [3] в Україні майже зрівнялась зі споживанням бензину. Згідно з щорічною доповіддю Всесвітньої асоціації LPG (WLPGA) Україна

потрапила на четверте місце за кількістю автомобільного транспорту з газобалонним обладнанням: перше місце – Туреччина, друге – Росія, третє – Польща.

Близько 2.25 млн. автомобілів в Україні працюють на газовому обладнанні, що складає 9 % від світового автопарку з ГБО. В країні відсоток "газифікованих" машин становила майже 25 %.

Останнім часом намічена тенденція зниження споживання палива нафтового походження за рахунок застосування джерел з відновлюваної енергії та підвищення частки використання більш екологічно чистого природного газу. Однак імпордне походження автомобільного палива не дозволяє істотно знизити його вартість.

### **Аналіз останніх досліджень**

Основним нормативним документом, що застосовується для обліку та списання паливно-мастильних матеріалів, є наказ Міністерства транспорту України № 43 від 10 лютого 1998 року з змінами і доповненнями, останні з яких прийняті наказом Міністерства інфраструктури України № 36 від 24 січня 2012 року [4]. У цьому нормативному акті вказані нормативні значення базової норми витрати палива для 680 моделей та модифікації легкових автомобілів, 220 автобусів, 190 бортових вантажних автомобілів, 190 тягачів, 90 самоскидів, 250 фургонів або вантажно-пасажирських автомобілів, деяка кількість спеціального та спеціалізованого рухомого складу. Однак далеко не для всіх марок автомобілів визначена базова норма витрати палива, що обмежує застосування цієї методики на автотранспортних підприємствах. Зазначений недолік усувається переходом на розрахункові методи визначення витрати палива.

Основні принципи оцінки паливної економічності та нормування витрат палива закладені в роботі [5]. В роботі [6] наведена нова методика розрахунку витрати палива, яка заснована на визначенні 4-х коефіцієнтів корисної дії: індикаторного і механічного ККД двигуна, ККД трансмісії і колісного механізму (колеса та підвіски). В роботі [7] пропонується використовувати новий метод розрахунку витрати палива в процесі діагностування на стенді з біговими барабанами, а в роботі [8] наведено метод діагностування по індикаторному витраті палива в окремих агрегатах автомобіля.

Існуюча методика [4] встановлює норми витрати палива для автомобілів с ГБО у відсотках від норми витрати рідкого палива без урахування конструктивних властивостей машини. Норма на прогрів ДВЗ у методики [4] застосовується тільки для автомобілів с ГБО і також у відсотках від базової норми витрати палива. Для дизельних або бензинових автомобілів додатково палива на запуск і прогрів двигуна не передбачено.

### **Формулювання мети дослідження**

Мета роботи - побудова та аналіз математичної моделі визначення витрати палива, яка застосовується для запуску та прогріву двигуна автомобіля у зимовий термін експлуатації, коли температура навколишнього середовища менш нуля градусів.

### **Методичний підхід (методологія) дослідження**

Для оптимізації процесу управління паливної економічності необхідно мати відомості про фактичну витрату палива для різної швидкості та навантаження автомобіля з урахуванням реальних умов експлуатації. Для цього запропоновано використовувати метод математичного моделювання. За основу взята розрахункова модель витрати палива проф. Говорущенко Н.Я., яка була адоптована для розрахунку витрати газоподібного палива. На основі теорії подібності побудовано нова модель визначення необхідної кількості споживання палива, яке використовується під час запуску і прогріву двигуна автомобіля.

### **Результати дослідження**

Для розрахунку витрати палива скористаємось формулою [9]:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \cdot [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2)], \quad (1)$$

де  $V_a$  – швидкість автомобіля, км/год.;

$A$ ,  $B$ ,  $C$  – постійні для даної марки автомобіля коефіцієнти;

$\eta_i$  – індикаторний коефіцієнт корисної дії двигуна;

$i_k$  – середньозважене передавальне число коробки передач;

$\psi$  – коефіцієнт сумарного дорожнього опору руху автомобіля;

$G_a$  – вага автомобіля, Н;

$kF$  – фактор обтічності, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

У формулу витрати палива (1) включені коефіцієнти  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , які залежать від якості палива. В роботі [9] запропоновані наступні формули для їх визначення:

$$A = \frac{7.95 \cdot a_m \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_T \cdot r_k}, \quad (2)$$

$$B = \frac{0.69 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_T \cdot r_k^2}, \quad (3)$$

$$C = \frac{100}{H_n \cdot \rho_T \cdot \eta_{mp}}, \quad (4)$$

де  $a_m$  і  $b_m$  – коефіцієнти механічних втрат в двигуні, в кПа і кПа·с/м;

$V_h$  – робочий об'єм двигуна, л;

$i_0$  – передавальне число головної передачі;

$H_n$  – нижча теплота згоряння, кДж/кг;

$\rho_T$  – щільність палива, кг/м<sup>3</sup>;

$r_k$  – динамічний радіус колеса, м;

$S_n$  – хід поршня, м;

$\eta_{mp}$  – ККД трансмісії.

Розрахуємо витрату бензину на прикладі автомобіля SKODA Octavia (1,6l) при наступних вихідних даних:  $a_m=45$  кПа;  $b_m=13$  кПа·с/м;  $V_h=1.595$  см<sup>3</sup>;  $S_n=0.0774$  м;  $i_0=4.32$ ;  $r_k=0.282$  м;  $G_a=12312$  Н (1255 кг) при спорядженому стані;  $\eta_{mp}=0.92$ ;  $H_n=44000$  кДж/кг;  $\rho_T=0.733$  г/см<sup>3</sup>;  $\eta_i=0.35$ ;  $i_k=1,81$ ;  $\psi=0,037$ ;  $kF=0,54$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$ ,  $C$  за формулами (2-4) дорівнює:

$$A = \frac{7.95 \cdot 45 \cdot 1.595 \cdot 4.32}{44000 \cdot 0.733 \cdot 0.282} = 0.271, \quad (5)$$

$$B = \frac{0.69 \cdot 13 \cdot 1.595 \cdot 0.0774 \cdot 4.32^2}{44000 \cdot 0.733 \cdot 0.282^2} = 0.00808, \quad (6)$$

$$C = \frac{100}{44000 \cdot 0.76 \cdot 0.92} = 0.0033. \quad (7)$$

Тоді при середній швидкості автомобіля  $V_a=50$  км/год. витрата палива відповідає в л/100 км:

$$Q = \frac{1}{0.35} \cdot \left[ 0.271 \cdot 1.81 + 0.00808 \cdot 1.81^2 \cdot 50 + 0.0033 \cdot (12312 \cdot 0.037 + 0.077 \cdot 0.54 \cdot 50^2) \right] = 10.5 \quad (8)$$

Вибір швидкості автомобіля  $V_a = 50$  км/год. обумовлено тим, що це значення відповідає максимальній дозволений швидкості в багатьох містах ЄС, включаючи Україну.

Завод-виробник для автомобіля SKODA Octavia (1,6l) встановлює наступні значення витрати палива: поза містом – 5,8 л/100 км; у місті – 11,2 л/100 км; при змішуваному циклі – 7,8 л/100 км [10]. Отримані розрахункові значення вкладаються в дані заводу-виробника, що показує достовірність результатів розрахунку.

Визначимо витрату палива автомобіля з дизельним двигуном на прикладі автомобіля SKODA Octavia (1,9 TDI) при наступних вихідних даних:  $a_m = 48$  кПа;  $b_m = 19$  кПа·с/м;  $V_h = 1.896$  см<sup>3</sup>;  $S_n = 0.0956$  м;  $i_0 = 3.39$ ;  $r_k = 0.282$  м;  $G_a = 12851$  Н (1310 кг) при спорядженому стані;  $\eta_{TP} = 0.92$ ;  $H_n = 43000$  кДж/кг;  $\rho_T = 0.825$  г/см<sup>3</sup>;  $\eta_i = 0.5$ ;  $i_k = 1.35$ ;  $\psi = 0.037$ ;  $kF = 0.54$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$ ,  $C$  за формулами (2-4) дорівнює:

$$A = \frac{7.95 \cdot 48 \cdot 1.896 \cdot 3.39}{43000 \cdot 0.825 \cdot 0.282} = 0.245, \quad (9)$$

$$B = \frac{0.69 \cdot 16 \cdot 1.896 \cdot 0.0956 \cdot 3.39^2}{43000 \cdot 0.825 \cdot 0.282^2} = 0.00815, \quad (10)$$

$$C = \frac{100}{43000 \cdot 0.825 \cdot 0.92} = 0.00306. \quad (11)$$

Тоді витрата палива автомобіля SKODA Octavia (1,9 TDI) з дизельним двигуном дорівнює в л/100 км:

$$Q = \frac{1}{0.5} \cdot \left[ 0.245 \cdot 1.35 + 0.00815 \cdot 1.35^2 \cdot 50 + 0.00306 \cdot (12851 \cdot 0.037 + 0.077 \cdot 0.54 \cdot 50^2) \right] = 5.25 \quad (12)$$

Завод-виробник для дизельного автомобіля SKODA Octavia (1,9 TDI) встановлює значення витрати палива: поза містом – 4,1 л/100 км; у місті – 6,3 л/100 км; при змішуваному циклі – 4,9 л/100 км [10]. Отримані розрахункові значення також вкладаються у діапазон даних заводу-виробника.

Переобладнання автомобіля з рідкого палива (бензин або дизель) на газ (зріджений нафтовий або стиснений природний) зумовлює до зміни паливно-потужних характеристик транспортного засобу. Паливно-повітряна суміш на основі газового палива більш однорідна та має високі індикаторні показники ККД. Теплотворна здатність газу трохи нижче, ніж у бензину, тому спостерігається деяке зниження потужності двигуна. Значення нижчої теплоти згорання і бензинового еквівалента для газоподібного палива складає [8, 11]:

- для природного газу -  $H_n = 37800$  кДж/м<sup>3</sup>,  $BЭ = 0.781$  кг/м<sup>3</sup> (родовище Шебелинка);
- для нафтового газу -  $H_n = 38000$  кДж/м<sup>3</sup>,  $BЭ = 0.92$  кг/м<sup>3</sup> (пропан-бутанова суміш);
- для бензину -  $H_n = 44000$  кДж/кг,  $\rho_T = 0,733$  кг/м<sup>3</sup>,
- для дизельного палива -  $H_n = 43000$  кДж/кг;  $\rho_T = 0,84$  кг/м<sup>3</sup>.

Якщо автомобіль SKODA Octavia (1,6l) переобладнати для роботи на зрідженому нафтовому газі, то приймемо нижчу теплоту згорання  $H_n = 45900$  кДж/кг, а щільність палива рідкої фази –  $\rho_T = 0.57$  г/см<sup>3</sup> [11].

Тоді значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$ ,  $C$  для автомобілів з ГБО за формулами (2-4) дорівнює:

$$A = \frac{7.95 \cdot 45 \cdot 1.595 \cdot 4.32}{45900 \cdot 0.57 \cdot 0.282} = 0.33, \quad (13)$$

$$B = \frac{0.69 \cdot 13 \cdot 1.595 \cdot 0.0774 \cdot 4.32^2}{45900 \cdot 0.57 \cdot 0.282^2} = 0.0099, \quad (14)$$

$$C = \frac{100}{45900 \cdot 0.57 \cdot 0.92} = 0.0042. \quad (15)$$

Індикаторний ККД двигуна, яке працює на газовому паливі, може досягати значення до 0.4 (в залежності від типу газового обладнання і його налаштування). Прийmemo  $\eta_i = 0.385$ . Тоді витрата палива в л/100 км при середній швидкості автомобіля  $V_a = 50$  км/год. для ГБО складе:

$$Q = \frac{1}{0.385} \cdot [0.33 \cdot 1.81 + 0.0099 \cdot 1.81^2 \cdot 50 + 0.0042 \cdot (12312 \cdot 0.037 + 0.077 \cdot 0.54 \cdot 50^2)] = 11.9 \quad (16)$$

У методиці [4] запропоновано при переобладнанні автомобіля з бензину на газове паливо збільшувати норму витрати до 25 %. У нашому прикладі збільшення витрати палива складе приблизно 13 %. Тобто за формулою (16) було розраховано норму витрати зрідженого нафтового газу більш точно, ніж це передбачено в методиці [4].

Кожен автомобіль деякий час витрачає палива на запуск і прогрів двигуна. В процесі прогріву двигуна електронна система управління ДВЗ збільшує подачу палива, що призводить до збільшення оборотів обертання колінчастого валу. В міру прогріву, тобто зі збільшенням температури охолоджуючої рідини, швидкість обертання колінчастого валу двигуна і витрата палива знижуються.

Початкове рівняння для розрахунку витрати палива в л/год. на один прогрів двигуна:

$$G = \frac{0.01}{\eta_i} [A \cdot K_1 + B \cdot K_2] \cdot \frac{t_{\min} + \Delta_t \cdot (t_{\max} - t_{\min})}{3600} \cdot K_t, \quad (17)$$

де  $K_1, K_2$  – коефіцієнти режиму навантаження двигуна автомобіля;

$t_{\min}$  – температура холодного двигуна, °С;

$t_{\max}$  – температура прогрітого двигуна, °С;

$\Delta_t$  – інтенсивність прогріву двигуна, с/°С;

$K_t$  – коефіцієнт температурної корекції витраті палива.

Значення коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$  можна розрахувати за наступними формулами:

$$K_1 = \frac{1 + K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kp}}{2}, \quad (18)$$

$$K_2 = \frac{1 + K_c^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot i_{kp}^2}{2}, \quad (19)$$

де  $K_c$  – швидкісний коефіцієнт двигуна;

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

$i_{kp}$  – передавальне число підвищеної передачі.

Коефіцієнт температурної корекції витраті палива визначають відповідно до рекомендацій [5]:

$$K_t = 1 - 0.5 \cdot 10^{-2} \cdot t, \quad (20)$$

де  $t$  – температура навколишнього середовища, °С;

Розрахуємо годинну витрату бензину на прикладі автомобіля SKODA Octavia (1,6l).  
 Додатково приймаємо такі вхідні дані:  $K_c = 0.714$ ;  $V_{\max} = 184$  км/год.;  $i_{kp} = 0.69$ .

Визначаємо чисельні значення коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$ :

$$K_1 = \frac{1 + 0.714 \cdot 184 \cdot 0.69}{2} = 45.8, \quad (21)$$

$$K_2 = \frac{1 + 0.714^2 \cdot 184^2 \cdot 0.69^2}{2} = 4112. \quad (22)$$

Приймаємо мінімальну температуру двигуна такою, що дорівнює температурі навколишнього середовища, тобто  $t_{\min} = t$ . Температура прогріву двигуна є температура при якій відбувається перемикання живлення двигуна з бензину на газове паливо, яку приймаємо рівним:  $t_{\max} = 40$  °С. Середня швидкість прогріву двигуна становить  $\Delta_t = 6$  с/°С [12].

Тоді рівняння витрати палива на прогрів двигуна прийме наступний вигляд:

$$G = \frac{0.01}{0.35} [0.271 \cdot 45.8 + 0.00808 \cdot 4112] \cdot \frac{t + 6 \cdot (40 - t)}{3600} \cdot (1 - 0.005 \cdot t), \quad (23)$$

або

$$G = 3.625 \cdot 10^{-4} \cdot (240 - 5 \cdot t) \cdot (1 - 0.005 \cdot t). \quad (24)$$

На рис 1 побудована за формулою (24) графічна залежність витрати палива на запуск та прогрів двигуна автомобіля SKODA Octavia (1,6l) від температури повітря навколишнього середовища.

Зі зниженням температури навколишнього повітря час на прогрів двигуна зростає, отже, збільшується витрата палива.

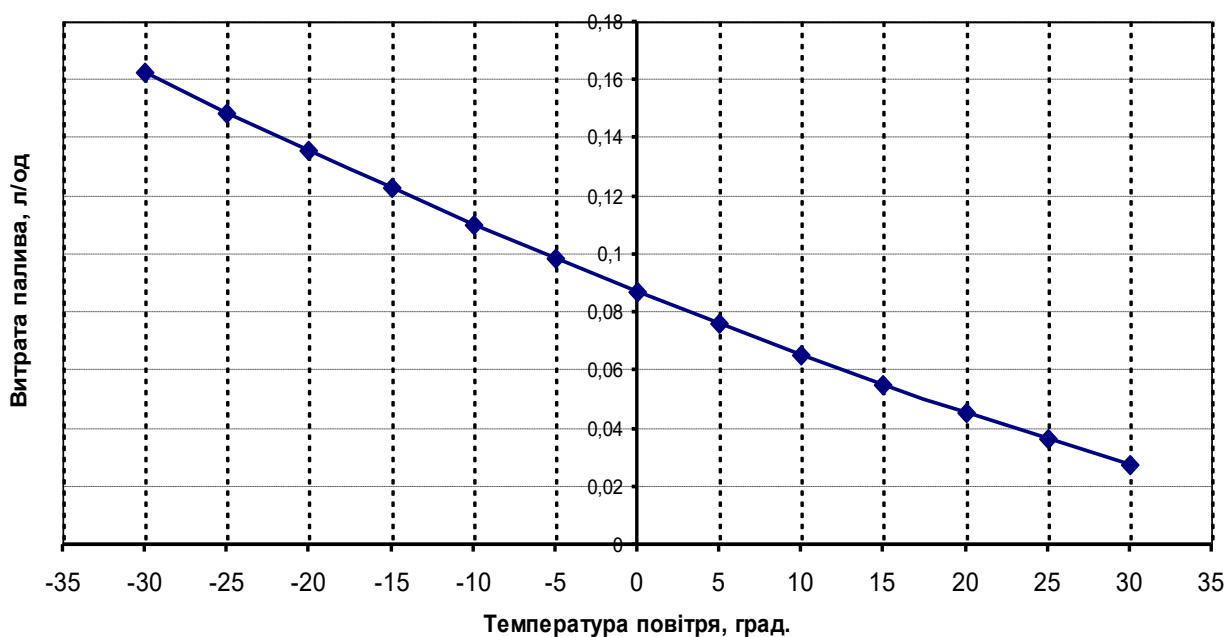


Рис. 1. Графічна залежність витрати палива від температури навколишнього середовища

Методика [4] не містять даних з витрати палива на один запуск і прогрів двигуна. У цьому документі можливо визначати середню витрату палива на запуск за кожний календарний день експлуатації (використання) залежно від фактичної температури повітря навколишнього середовища. Виокремлено 6 інтервалів температури по 10 градусів, в яких нормативне значення витрата палива не змінюється. Формула (17) дозволяє розрахувати додаткову витрату палива для будь-якої температури.

У табл. 1 наведені розрахункові значення витрати палива на один запуск і прогрів двигуна автомобіля SKODA Octavia (1,6l) при середніх значеннях діапазону температури, які запропоновано у методики [4].

Таблиця 1

**Результат розрахунку витрати палива на один запуск і прогрів двигуна автомобіля**

Діапазон температур, °С	Середнє значення температури, °С	Витрати палива, л
від +15 і більше	+20	0,04569
від +15 до +5	+7,5	0,07066
від -5 до +5	0	0,08701
від -10 до -5	-7,5	0,10438
від -15 до -10	-12,5	0,11652
від -15 і менше	-20	0,13559

Норма витрати палива на запуск і прогрів двигуна за одну зміну залежить від кількості самостійних маршрутів, між якими відбувається тривалий простій автомобіля (більше однієї години). Норма витрати палива за місяць враховує дні роботи автомобіля.

Ці показники можна оцінити за такими залежностями:

$$H_{\partial} = G \cdot N, \quad (25)$$

$$H_m = G \cdot N \cdot D \cdot n_{cm}, \quad (26)$$

де  $N$  – кількість запусків і прогріву двигуна;

$n_{cm}$  – кількість змін роботи автомобіля;

$D$  – кількість днів роботи автомобіля за місяць.

Наприклад, в табл. 2 наведені розрахункові значення витрати палива за зміну і за місяць при наступних вхідних даних:  $N=6$ ,  $D=30$ ,  $n_{cm}=1$ .

Таблиця 2

**Результат розрахунку загальної витрати палива за зміну і за місяць роботи автомобіля**

Діапазон температур, °С	Витрата палива за нормою [2] за тиждень, л	Витрати палива за розрахунком, л	
		за зміну (при $N=6$ )	за місяць (при $D=30$ , $n_{cm}=1$ )
від +15 та більше	0,0525	0,274	8,22
від +15 до +5	0,105	0,424	12,72
від -5 до +5	0,210	0,522	15,66
від -10 до -5	0,315	0,626	18,79
від -15 до -10	0,420	0,699	20,97
от -15 та менше	0,525	0,814	24,41

Для порівняння в табл. 2 наведені розрахункові значення витрати палива на запуск двигуна, які отримані за методикою [4]. За цієї методикою на запуск автомобілів, що працюють на СПГ або ЗНГ, встановлена норма у відсотках від значення базової лінійної норми залежно від фактичної температури повітря навколишнього середовища: від +15° С та вище – до 0,5 %; від +15° С до +5° С – до 1 %; від +5° С до -5° С – до 2 %; від -5° С до -



10° С – до 3 %; від -10° С до -15° С – до 4 %; нижче ніж -15° С – до 5 %.

Для автомобіля SKODA Octavia (1,6l) у табл. 2 застосована базова норма витрати палива, яка була отримана за формулою (8), що дорівнює 10.5 л/100 км.

У методиці [4] не визначено кількість запусків двигуна, а також тривалість та кількість змін роботи автомобіля (водія) за тиждень. Якщо режим роботи автомобіля передбачає рух за коротким маршрутом та з тривалими зупинками, то прогрів двигуна чергується з охолодженням, а на кожній такий цикл витрачається додаткове паливо, яке не передбачене у нормативах [4]. Прикладом такого режиму експлуатації є перевезення малопорційного вантажу, робота таксі на замовлення, чергування швидкої допомоги, інкасація, використання службового автомобіля для поїздок, пов'язаних із здійсненням трудових функцій по займаній посаді тощо. За формулами (25-26) є можливість розрахувати витрату палива при будь-якому режимі експлуатації автомобіля.

На рис. 2 наведені графіки витрати палива, яка розрахована для автомобіля SKODA Octavia (1,6l) по залежності (26), для кількості запусків і прогріву двигуна від 1 до 8. Жирною лінією вказано нормативні значення витрати палива за методикою [4], що наведено у табл. 2 та перераховано на 30 календарних днів.

Порівняння розрахункових та нормативних значень витрати палива (см. рис. 2) свідчить, що, у діапазоні температур від +5° С та вище, діюча методика нормування витрат палива враховує 1-2 цикл прогріву, у діапазоні температур від -10° С до +5° С – 2-3 циклу, а нижче ніж -10° С – 3-4 циклу на прогрів двигуна. Якщо експлуатація автомобіля передбачає більш 4 циклів запуску та прогріву на добу, то діюча система нормування не забезпечує правильне нормування витрати палива.

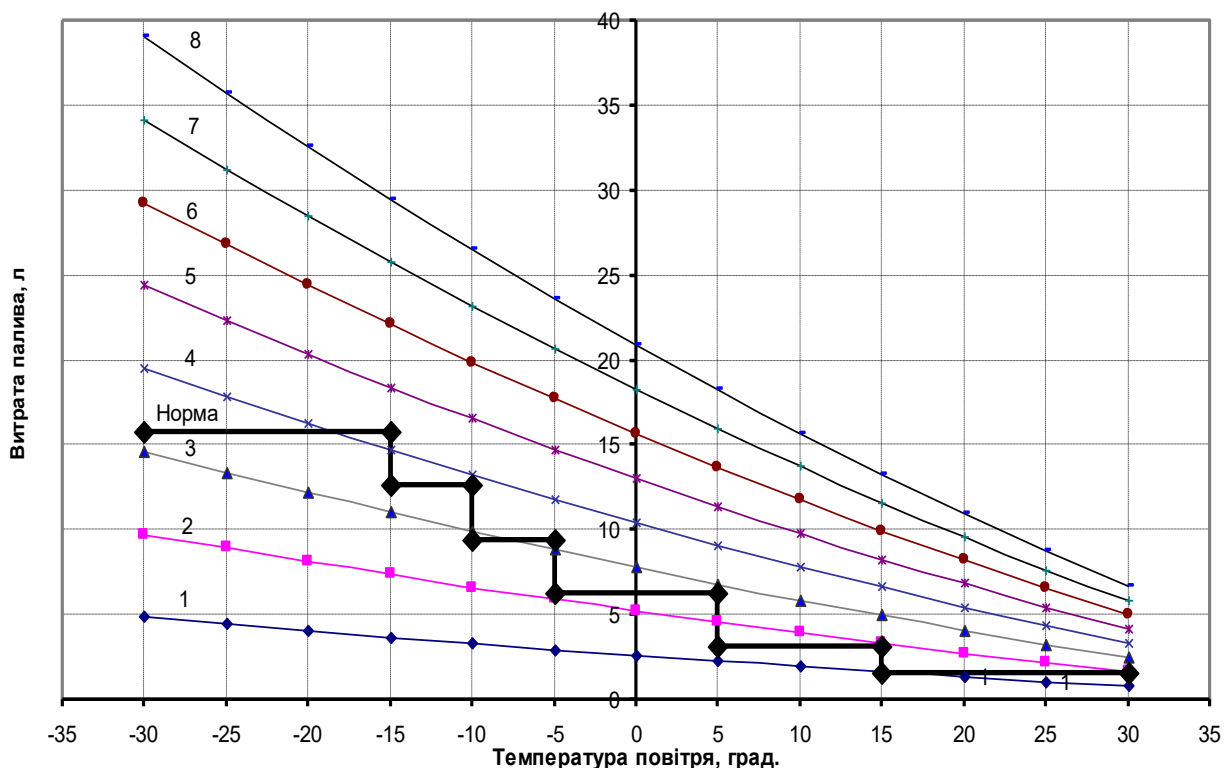


Рис. 2. Графічна залежність витрати палива за місяць (30 календарних днів) від температури навколишнього середовища для різної кількості запусків і прогріву двигуна

Однак слід зауважити, що час охолодження двигуна автомобіля значно перевищує час прогріву, а зі збільшенням кількості циклів зупинки і руху автомобіля потрібно враховувати фактичну температуру двигуна, яка може істотно відрізнитися від температури навколишнього середовища.

## Висновки

Діюча система нормування витрат палива далека від досконалості. За наведеними у статті залежностям можна наближено розрахувати базову норму витрати палива для автомобілів з усіма типами двигуна внутрішнього згорання, а також отримати додаткову витрату палива на запуск і прогрів цих двигунів в залежності від температури навколишнього середовища. Отримані аналітичні залежності можуть бути використані для нормування паливно-мастильних матеріалів автомобілів для умов експлуатації які не передбачені діючим законодавством.

## Список використаних джерел

1. Статистический Ежегодник мировой энергетики 2017 [Электронный ресурс] / Enerdata. – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/>.
2. НефтеРынок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nefterynok.info>.
3. Потребление сжиженного газа [Электронный ресурс] // Gazmap. – Режим доступа: <http://gazmap.ru/stat-i/potreblenie-szhizhennogo-gaza>;
4. Норми витрат палива для автомобілів, норми ресурсу шин та акумуляторів [текст] / Уклад. В. Кузнецов. – Харків: Фактор, 2009. – 528 с.
5. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте [текст] / Н.Я. Говорущенко. - М.: Транспорт, 1990. - 135 с.
6. Говорущенко Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД) [Текст] / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Автомобильный транспорт : Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2004. - № 15.
7. Говорущенко Н.Я. Методы системного расчетно-аналитического и стендового диагностирования легковых автомобилей [Текст] / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2009. - № 25. – С. 58-61.
8. Говорущенко Н.Я. Методы диагностирования автомобилей по изменению общего и индикаторного расхода топлива и частных КПД в отдельных агрегатах [Текст] / Н.Я. Говорущенко, Ю.В. Горбик. // XVI научно-техническая конференция с международным участием «Транспорт экология – устойчивое развитие» - Варна: ТУ, 2010 – С. 442-450.
9. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований) [текст] : монография / Н.Я. Говорущенко. – Харьков: ХНАДУ, 2011 – 292 с.
10. Автомобиль-Ревью 2006 : Русское издание швейцарского автокаталога [текст] – М.: ООО «Автомобиль Ревью», 2006. – 400 с.
11. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. / Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 353 с.
12. Кривошапов С.І. Облік часу прогріву двигуна у методиці нормування витрати палива на автомобільному транспорті [Текст] / С.І. Кривошапов // Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки; 10-12 травня 2016 року. - Житомир: ЖДТУ, 2016. - Т.1. - С. 45-46.

## References

1. Statisticheskij Ezhegodnik mirovoj jenergetiki (2017). Enerdata. URI: <https://yearbook.enerdata.ru/>.
2. NefteRynok (2018). URI: <http://www.nefterynok.info>.
3. Potreblenie szhizhennogo gaza (2018), Gazmap, URI: <http://gazmap.ru/stat-i/potreblenie-szhizhennogo-gaza>.
4. Normy vytrat palyva dlja avtomobiliv, normy resursu shyn ta akumuljatoriv (2009). Uklad. V. Kuznjecov. Harkiv, Faktor, 528 p. [in Ukrainian]
5. Govorushhenko N.Ja. (1990) Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte. Moskva, Transport, 135 p. [in Russian]

6. Govorushchenko N.Ya., Krivoshepov S.I. (2004) Novaya metodika normirovaniya raskhoda topliva transportnykh mashin (metod chetyrekh KPD). Avtomobil'nyy transport. Khar'kov, KhNADU, 15, pp 32-36. [in Ukrainian]
7. Govorushchenko N.Ya., Gorbik Yu.V. (2009) Metody sistemnogo raschetno-analiticheskogo i stendovogo diagnostirovaniya legkovykh avtomobiley. Avtomobil'nyy transport, Khar'kov, KhNADU, 25, pp. 58-61. [in Ukrainian]
8. Govorushchenko N.Ya., Gorbik Yu.V. (2010) Metody diagnostirovaniya avtomobiley po izmeneniyu obshchego i indikatornogo raskhoda topliva i chastnykh KPD v otdel'nykh agregatakh. KhVI nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem «Transport ekologiya – ustoychivoe razvitie». Varna, TU, pp. 442-450.
9. Govorushhenko N.Ja. (2011) Sistemotekhnika avtomobil'nogo transporta (raschetnye metody issledovaniy). Har'kov, HNADU, 292 p. [in Ukrainian]
10. Avtomobil'-Rev'ju (2006). Moskva, OOO «Avtomobil' Rev'ju», 400 s. [in Russian]
11. Palyvo-mastylni materialy, tehnicni ridyny ta systemy i'h zabezpechennja (2008) Upor. V.Ja. Chabannyj. Kirovograd, Central'no-Ukrai'ns'ke vydavnytstvo, 353 p. [in Ukrainian]
12. Kryvoshepov S.I. (2016) Oblik chasu progrivu dvyguna u metodyci normuvannja vytraty palyva na avtomobil'nomu transporti. Tezy Vseukrai'ns'koi' naukovo-praktychnoi' on-line konferencii' aspirantiv, molodyh uchenyh ta studentiv, prysvjachenoj' Dnju nauky; 10-12 travnja 2016 roku. Zhytomyr, ZhDTU, T.1. pp. 45-46. [in Ukrainian]