

С. В. Ковбасенко, канд. техн. наук, e-mail: s-kov@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-7309-8200 (НТУ);
А. В. Голик, e-mail: andrexaznk@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-0994-9541;
С. Ю. Гутаревич, канд. техн. наук, с. н. с.,
e-mail: sgutarevich@insat.org.ua, ORCID: 0000-0003-1589-5604
(ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

Serhii Kovbasenko, Ph.D., e-mail: s-kov@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-7309-8200 (National Transport University);
Andriy Holyk, e-mail: andrexaznk@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-0994-9541;
Serhii Hutarevych, Ph.D., e-mail: sgutarevich@insat.org.ua,
ORCID: 0000-0003-1589-5604 (SE «State Road Transport
Research Institute»)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ З ДИЗЕЛЕМ, ЩО ПРАЦЮЄ ЗА ДИЗЕЛЬНИМ ТА ГАЗОДИЗЕЛЬНИМ ЦИКЛАМИ, ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

RESEARCH OF INDICATORS OF A VEHICLE WITH A DIESEL WORKING ON DIESEL AND DIESEL GAS CYCLES USING THE MATHEMATICAL MODEL

Анотація. Охарактеризовано особливості вдосконаленої математичної моделі руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами. За результатами розрахунків на математичній моделі помітне зменшення сумарних масових викидів шкідливих речовин, приведених до викидів оксиду вуглецю, за рахунок зменшення викидів оксидів азоту та викидів сажі за роботи дизеля за газодизельним циклом, в порівнянні з роботою дизеля за дизельним циклом. Математична модель руху вантажного автомобіля за міським їздовим циклом згідно з ГОСТ 20306-90 дає змогу дослідити паливно-економічні, екологічні та енергетичні показники автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами. Результати розрахунків на математичній моделі свідчать про доцільність переведення дизелів транспортних засобів на живлення стисненим природним газом.

Ключові слова: дизель, газодизель, стиснений природний газ.

Анотация. Охарактеризованы особенности усовершенствованной математической модели движения грузового автомобиля с дизелем, работающим по дизельному и газодизельному циклами. По результатам расчетов на математической модели отмечается уменьшение суммарных массовых выбросов вредных веществ, приведенных к выбросам оксида углерода, за счет уменьшения выбросов оксидов азота и выбросов сажи при работе дизеля по газодизельному циклу в сравнении с работой дизеля по дизельному циклу. Математическая модель движения грузового автомобиля по городскому ездовому циклу согласно ГОСТ 20306-90 позволяет исследовать топливно-экономические, экологические и энергетические показатели автомобиля с дизелем, работающим по дизельному и газодизельному циклам. Результаты расчетов на математической модели свидетельствуют о целесообразности перевода дизелей транспортных средств на питание сжатым природным газом.

Ключевые слова: дизель, газодизель, сжатый природный газ.

Abstract. The features of an advanced mathematical model of motion of a truck with a diesel engine operating on the diesel and diesel gas cycles are presented in the article. As a result of calculations using the mathematical model, a decrease in total mass emissions as a result of carbon monoxide emissions is observed due to a decrease in emissions of nitrogen oxides and emissions of soot in the diesel gas cycle compared to the diesel cycle. The mathematical model of a motion of a truck on a city driving cycle according to GOST 20306-90 allows to study the fuel-economic, environmental and energy indicators of a diesel and diesel gas vehicle. The results of the calculations on the mathematical model will make it possible to conclude on the feasibility of converting diesel vehicles to using compressed natural gas.

Object of the study – the fuel-economic, environmental and energy performance diesel engine that runs on dual fuel system using CNG.

Purpose of the study – study of changes in fuel, economic, environmental and energy performance of vehicles with diesel engines operating on diesel and diesel gas cycles, according to urban driving cycle modes.

Method of the study – calculations on a mathematical model and comparison of results with road tests.

Bench and road tests, results of calculations on the mathematical model of motion of a truck with diesel, working on diesel and diesel gas cycles, show the improvement of environmental performance of diesel vehicles during the converting to compressed natural gas in operation. Improvement of environmental performance is obtained mainly through the reduction of soot emissions and nitrogen oxides emissions from diesel gas cycle operations compared to diesel cycle operations.

The results of the article can be used to further develop dual fuel system using CNG.

Keywords: diesel engine, diesel gas engine, CNG.

Вступ

Сьогодні в умовах постійного збільшення кількості автомобілів у містах, зменшення запасів нафти та впровадження більш жорстких екологічних норм постає питання заміни традиційного нафтового палива альтернативними паливами. Особливо важливим це питання є для дизелів, які є одними із основних споживачів моторних палив на автомобільному транспорті [1, 2]. Тому питання повної або часткової заміни дизельного палива є актуальним.

Одним із варіантів вирішення зазначених проблем може бути використання стисненого природного газу (далі – СПГ), що дасть змогу частково замінити палива нафтового походження та поліпшити екологічні показники дизелів вантажних автомобілів [3].

У зв'язку з необхідністю часткової заміни дизельного палива стисненим природним газом виникла потреба у створенні газодизельної системи живлення дизеля, що працює за дизельним та газодизельним циклами. Таку систему спільно розроблено в КПІ ім. Ігоря Сікорського та Національному транспортному університеті [4]. Газодизельна система живлення забезпечує роботу дизелів на суміші дизельного палива та стисненого природного газу за роботи дизеля за газодизельним циклом зі збереженням стандартної паливної системи. Для проведення досліджень розробленої системи живлення виготовлено її експериментальний зразок, проведено стендові безмоторні дослідження та здійснено перевірку роботоздатності [5, 6]. Експериментальний зразок газодизельної системи живлення було встановлено на вантажний автомобіль ГАЗ-3309 з дизелем Д 245.7 для проведення дорожніх та стендових випробувань, результати останніх наведено в роботі [7].

Однак, проведення повноцінних дорожніх випробувань пов'язано з використанням високошвидкісного обладнання та значними затратами часу і матеріальних ресурсів. Тому для аналізу, прогнозування та вибору оптимальних рішень у різних галузях науки використовують математичне моделювання.

Для дослідження зміни паливно-економічних, екологічних та енергетичних показників було уточнено математичну модель руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами. За основу взято математичну модель розроблену в Національному транспортному університеті, яка детально описана в роботах [8, 9].

Основна частина

Основу математичної моделі руху вантажного автомобіля з дизелем в умовах міського їздового циклу складають блок-схеми алгоритму розрахунку витрати палива і шкідливих речовин (далі – ШР), які наведені в роботах [10, 11].

Розрахунок на математичній моделі передбачає вирішення систем диференціальних та алгебраїчних рівнянь, які описують рух вантажного автомобіля, що працює за дизельним і газодизельним циклами, в різних швидкісних та навантажувальних режимах їздового циклу.

Міський їздовий цикл для вантажних автомобілів повною масою більше 3,5 т згідно з ГОСТ 20306-90 складається з чотирьох ділянок загальною протяжністю 4 км. На **рис. 1** показано фрагмент цього їздового циклу протяжністю в 1000 м, на якому було проведено розрахунок на математичній моделі. Вибір саме цього фрагменту їздового циклу обумовлений наявністю в ньому всіх необхідних режимів роботи дизеля під час руху вантажного автомобіля в місті.

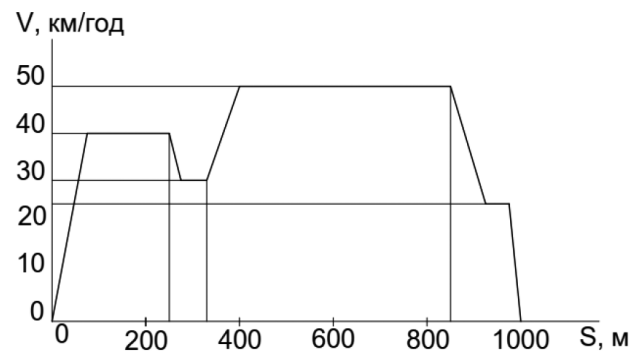


Рис. 1. Фрагмент міського їздового циклу для вантажних автомобілів масою більше 3,5 т [12]

Їздовий цикл протяжністю 1000 м складається з послідовної зміни таких режимів руху автомобіля: розгін дизеля в режимі активного холостого ходу, розгін автомобіля з дизелем в режимі пробуксовування зчеплення, розгін автомобіля з дизелем на і-тій передачі, рух автомобіля під час перемикання передач, усталений рух автомобіля із заданою швидкістю, уповільнення автомобіля з від'єднанням двигуна від трансмісії, уповільнення автомобіля з приєднанням до трансмісії двигуном та уповільнення автомобіля з використанням робочого гальма.

Для прикладу, розгін двигуна від мінімальної частоти обертання холостого ходу до частоти обертання, за якої здійснюється включення зчеплення, описується рівнянням:

$$\frac{dn_{ДВ}}{dt} = (M_i(n_{ДВ}, \varphi_B) - M_m(n_{ДВ})) \cdot \frac{30}{I_{ДВ} \cdot \pi}, \quad (1)$$

де $\frac{dn_{дв}}{dt}$ – прискорення колінчастого вала двигуна, $хв^{-1} \cdot c^{-1}$;

$M_i(n_{дв}, \varphi_B)$ – індикаторний крутний момент двигуна, що працює за дизельним або за газодизельним циклом, Н·м;

$M_M(n_{дв})$ – момент механічних втрат за роботи двигуна за дизельним або газодизельним циклом, Н·м;

$n_{дв}$ – частота обертання колінчастого вала двигуна, $хв^{-1}$;

φ_B – положення важеля подачі палива, %;

$I_{дв}$ – момент інерції двигуна, $кг \cdot м^2$.

Розрахунок витрати дизельного палива, повітря, стисненого природного газу, концентрації ШР у відпрацьованих газах (ВГ, спалинах) дизеля та димності ВГ у режимі мінімальної частоти обертання колінчастого вала, а також в режимі активного холостого ходу, здійснювали за допомогою поліноміальних залежностей другого ступеня від частоти обертання колінчастого вала ($n_{дв}$):

$$Y_{xx}^A(n_{дв}) = A_{xx0}^A + A_{xx1}^A + n_{дв} + A_{xx2}^A + n_{дв}^2 \quad (2)$$

де $A_{xx0}^A, A_{xx1}^A, A_{xx2}^A$ – коефіцієнти поліноміальних залежностей за роботи дизеля за дизельним циклом.

Для газодизельного циклу розрахунок здійснювали за формулою:

$$Y_{xx}^{гA}(n_{дв}) = A_{xx0}^{гA} + A_{xx1}^{гA} + n_{дв} + A_{xx2}^{гA} + n_{дв}^2 \quad (3)$$

де $A_{xx0}^{гA}, A_{xx1}^{гA}, A_{xx2}^{гA}$ – коефіцієнти поліноміальних залежностей за роботи дизеля за газодизельним циклом.

Розрахунок в широкому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів за роботи дизеля за дизельним циклом здійснювали за поліноміальними залежностями другого порядку залежно від частоти обертання колінчастого вала ($n_{дв}$) та ефективного крутного моменту (M_k):

$$Y^A(n_{дв}, M_k) = B_3^A + B_4^A \cdot n_{дв} + B_2^A \cdot M_k + B_5^A \cdot n_{дв}^2 + B_1^A \cdot M_k^2 + B_0^A \cdot n_{дв} \cdot M_k^2 \quad (4)$$

де $B_0^A, B_1^A, B_2^A, B_3^A, B_4^A, B_5^A$ – коефіцієнти поліноміальних залежностей за роботи дизеля за дизельним циклом.

Для роботи дизеля за газодизельним циклом:

$$Y^{гA}(n_{дв}, M_k) = B_3^{гA} + B_4^{гA} \cdot n_{дв} + B_2^{гA} \cdot M_k + B_5^{гA} \cdot n_{дв}^2 + B_1^{гA} \cdot M_k^2 + B_0^{гA} \cdot n_{дв} \cdot M_k^2 \quad (5)$$

де $B_0^{гA}, B_1^{гA}, B_2^{гA}, B_3^{гA}, B_4^{гA}, B_5^{гA}$ – коефіцієнти поліноміальних залежностей за роботи дизеля за газодизельним циклом.

Ефективний крутний момент визначали за формулою:

$$M_k(n_{дв}, \varphi_B) = M_i(n_{дв}, \varphi_B) - M_M(n_{дв}, \varphi_B). \quad (6)$$

Масову витрату дизельного палива під час руху на заданому відрізку шляху, визначали за формулою:

$$G_{дп} = \sum_{i=1}^m \frac{(t_i - t_{i-1}) \cdot (G_{дпi} + G_{дпi-1})}{2 \cdot 3600} \quad (7)$$

де m – кількість розрахункових точок;

t_i – час в i -тій точці, с;

$G_{дпi}$ – витрата палива в i -тій точці, $кг/год$.

Масові витрати повітря та газу розраховували аналогічно.

Витрату палива в тепловому еквіваленті розраховували за формулою:

$$Q_{пал} = G_{пал} \cdot Q_H, \quad (8)$$

де Q_H – нижча теплота згоряння палива [13]. Для дизельного палива $Q_H = 42,5$ МДж/кг [14], а для СПГ $Q_H = 50$ МДж/кг [15].

Об'ємні викиди ШР зі спалин, приведені до нормальних умов, розраховували за формулою [16]:

$$V_{вг} = \frac{P_0}{P_н} \cdot \frac{T_н}{T_0} \cdot M_{вг} \cdot 22.4, \quad (9)$$

де $M_{вг}$ – масові викиди ШР зі спалин, $кг$; P_0 та T_0 – відповідно тиск (Па) та температура ($^{\circ}K$) під час випробувань;

$P_н$ та $T_н$ – відповідно тиск (Па) та температура ($^{\circ}K$) за нормальних умов.

Розрахунок маси ВГ за роботи двигуна за дизельним та газодизельним циклами дещо відрізняється. Так для дизельного циклу маса ВГ розраховували за формулою:

$$M_{вг}^A = a_{дп} \cdot (b_{дп} \cdot G_{дп} + G_{пов}), \quad (10)$$

де $a_{дп}$ та $b_{дп}$ – коефіцієнти для дизельного палива. $a_{дп} = 0,03425$, $b_{дп} = -0,918$;

$G_{пов}$ – масова витрата повітря, $кг$.

Для газодизельного циклу врахували частку кожного палива у паливо-повітряній суміші (враховується коефіцієнтами $K_{дп}$ та $K_{спг}$) та розраховані коефіцієнти a і b , що залежать від складу паливо-повітряної суміші (α) та виду палива:

$$M_{вг}^{гA} = a_{дп} \cdot (b_{дп} \cdot G_{дп} + K_{дп} \cdot G_{пов}) + a_{спг} \cdot (b_{спг} \cdot G_{спг} + K_{спг} \cdot G_{пов}), \quad (11)$$

де $a_{спг}$ та $b_{спг}$ – коефіцієнти для стисненого природного газу. $a_{спг} = 0,034215$, $b_{спг} = -1,9567$;

$K_{дп}$ та $K_{спг}$ – частка дизельного палива та СПГ в паливо-повітряній суміші:

$$K_{дп} = \frac{G_{дп}}{G_{дп} + G_{спг}}, \quad (12)$$

$$K_{спг} = 1 - K_{дп}. \quad (13)$$

Результати розрахунків на математичній моделі

Параметр	Паливо	
	Дизельне паливо	ДП+СПГ
$\Sigma G_{\text{пал}}$, кг/цикл	0,1655	0,0335 0,1112
$\Sigma Q_{\text{пал}}$ МДж/цикл	7,034	6,985
$\Sigma G_{\text{пов}}$, кг/цикл	6,758	6,633
$\Sigma G_{\text{со}}$, г/цикл	9,67	9,809
$\Sigma G_{\text{сн}}$, г/цикл	0,088	7,953
ΣG_{NOx} , г/цикл	6,544	4,875
$\Sigma G_{\text{с}}$, г/цикл	0,043	0,024
$\Sigma G_{\Sigma \text{со}}$, г/цикл	287,445	240,123

Розрахунки на математичній моделі показали, що частка заміщення дизельного палива стисненим природним газом за роботи дизеля за газодизельним циклом складає 79,76 %. Витрата палива в тепловому еквіваленті практично однакова, як за дизельним, так і за газодизельним циклами.

Зменшення витрати повітря на 1,85 % пояснюється частковим заміщенням його СПГ, оскільки газове паливо подається на такті впуску разом із повітрям.

За роботи дизеля за газодизельним циклом спостерігається збільшення викидів CO на 1,44 % та збільшення викидів $SmHn$. При цьому спостерігається зменшення викидів сажі зі спалин та масових викидів оксидів азоту NOx на 44,19 % та 25,50 % відповідно. Сумарні масові викиди ШР, приведені до викидів оксиду вуглецю, зменшуються на 16,46 % за роботи дизеля вантажного автомобіля за газодизельним циклом.

Під час проведення дорожніх випробувань вантажного автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами, було отримано результати близькі до розрахункових, що підтверджує достовірність розрахунків на математичній моделі.

Висновки

Для дослідження зміни паливно-економічних, екологічних та енергетичних показників було уточнено математичну модель руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами. Розрахунки на математичній моделі засвідчили, що під час руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за газодизельним циклом, частка заміщення дизельного палива стисненим при-

Концентрацію сажі у спалинах за роботи дизеля за дизельним та газодизельним циклами визначали за формулою:

$$C = 0,00478 + 0,00136 \cdot N + 0,000047619 \cdot N^2, \quad (14)$$

де N – димність спалин, %.

Масові викиди i -того токсичного компонента спалин визначали за формулою:

$$G_i = \frac{1}{m+1} \cdot \sum_{i=0}^m Y_i \mu_i \cdot M_{\text{вг}} \cdot m, \quad (15)$$

де Y_i – концентрація i -го шкідливого компонента спалин у % або млн⁻¹;

μ_i – молярна маса i -го шкідливого компонента спалин, г/моль;

$m = 10^{-2}$, якщо концентрація i -ої ШР у спалин виміряна у %;

$m = 10^{-6}$, якщо концентрація i -ої ШР у спалин виміряна в млн⁻¹.

Сумарну токсичність спалин, приведену до викидів оксиду вуглецю, розраховували за формулою:

$$G_{\Sigma \text{со}} \sum_{i=1}^m R_i \cdot G_i, \quad (16)$$

де R_i – коефіцієнт відносної агресивності i -го шкідливого компонента ВГ. Згідно з [17] $R_{\text{со}} = 1$; $R_{\text{сн}} = 3,16$; $R_{\text{NOx}} = 41,1$; $R_{\text{с}} = 200$.

На **рис. 2** показано зміну швидкості руху вантажного автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами, під час виконання їздового циклу згідно з ГОСТ 20306-90 [12].

Як видно з **рис. 2**, результати розрахунків на математичній моделі практично за роботи дизеля, як за дизельним, так і газодизельним циклом, та відповідають вимогам згідно з ГОСТ 20306-90, що підтверджує можливість використання математичної моделі руху вантажного автомобіля для проведення подальших розрахунків.

Результати розрахунків на математичній моделі руху вантажного автомобіля (без вантажу $M_{\text{в}} = 0$ кг), що працює за дизельним та газодизельним циклами, наведено в **табл. 1**.

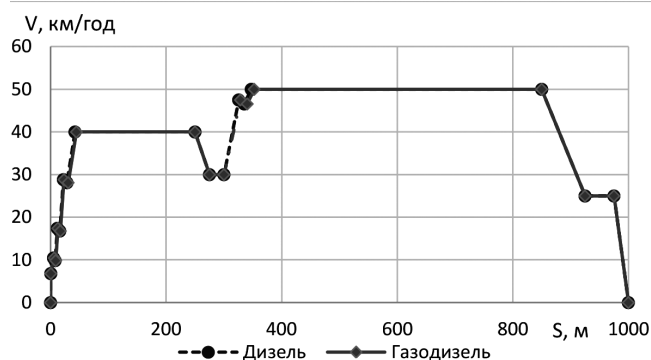


Рис. 2. Виконання їздового циклу вантажним автомобілем із дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами

родним газом становить близько 80 %. Витрата палива в тепловому еквіваленті за роботи дизеля за дизельним і газодизельним циклами практично однакова.

Результати розрахунків на математичній моделі показали, що під час руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за газодизельним циклом, спостерігається зменшення сумарних масових викидів ШР зі спалин (близько 16 %), в порівнянні з дизелем, що працює за дизельним циклом. Сумарні масові викиди менші за рахунок зменшенню масових викидів оксидів азоту NO_x та зменшенню викидів сажі на 25 % та 44 % відповідно. Проведені стендові та дорожні випробування, результати розрахунків на математичній моделі руху вантажного автомобіля з дизелем, що працює за дизельним та газодизельним циклами, свідчать про поліпшення екологічних показників дизелів транспортних засобів за умови переведення на живлення стисненим природним газом в умовах експлуатації.

Література

1. BP statistical review of world energy [Електронний ресурс] / BP : [сайт]. – Текст дані. – 2019. – Режим доступу: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
2. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д.В. та інші. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник 2-ге вид., перероблене та доповнене. — Київ: Арістей, 2008. — 296 с.
3. Ковбасенко С. Переобладнання дизеля в газодизель, як можливість розширення паливної бази автомобільного транспорту / С.Ковбасенко, В.Петренко, С.Гутаревич, А.Голик // Вісник Науково-технічний збірник №1 (37). Серія «Технічні науки». НТУ. – Київ, 2017. – С.154-160.
4. Ковбасенко С.В. Розробка та дослідження мікропроцесорної системи живлення дизеля, що працює за газодизельним циклом / С.В. Ковбасенко, В.Г. Петренко, А.В. Голик, Соломаха А.С., Устименко Є.В. // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – Київ: ТНУ, 2018. – Том 29 (68) № 1.
5. Ковбасенко С. В. Визначення раціональних ПІД-параметрів регулятора газодизельної мікропроцесорної системи живлення / С. В. Ковбасенко, В. Г. Петренко, А. В. Голик, С. Ю. Гутаревич // Автошляховик України. – Київ, 2017.
6. Ковбасенко С. Створення та налаштування мікропроцесорної системи живлення дизеля, що працює за газодизельним циклом / С. Ковбасенко, В. Петренко, А. Голик // Вісник НТУ : Серія «Технічні науки». – № 1. – 2018.
7. Ковбасенко С. Показники дизелів дорожніх транспортних засобів з газодизельною мікропроцесорною системою живлення / С. Ковбасенко, В. Петренко, А. Голик, В. Сімошенко, Є. Устименко // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia / pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy Monografia nr 8 ; Seria: Transport ; Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza. – Rzeszów: 2018.
8. Ковбасенко С. До питання дослідження показників руху легкових та вантажних автомобілів за їздовими циклами за допомогою математичних моделей / С. Ковбасенко, О. Андрюхіна, С. Гутаревич // Вісник НТУ : Серія «Технічні науки». – 2012. – С.221-225.
9. Гутаревич Ю. Математична модель руху автобуса з дизелем в режимах міського їздового циклу при роботі на традиційному та біодизельних паливах / Ю. Гутаревич, С. Ковбасенко, В. Сімошенко // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia / pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy Monografia nr 4 ; Seria:

- Transport ; Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Jukaszewicza. – Rzeszów : 2013. – С. 231–238.
10. Левківський О. О. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників вантажних автомобілів при використанні біодизельного палива: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / О. О. Левківський. – Київ: НТУ, 2013. – 20 с.
11. Сімошенко В. В. Поліпшення екологічних показників міських автобусів використанням дизельного біопалива: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / В. В. Сімошенко. – НТУ, 2016. – 195 с.
12. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний : ГОСТ 20306 – 90. – [Введен с 1992-01-01]. – Москва: Изд-во стандартов, – 1991. – 34 с.
13. Энергобережения. Методы измерения и расчета теплоты сгорания топлива: ДСТУ 3581-97 (ГОСТ 30517-97). – [Чинний з 1999-01-07]. – ТК 48 «Энергосбережение». – 29 с.
14. Паливо дизельне Євро. Технічні умови : ДСТУ 7588:2015. – [Чинний з 2016-01-01]. – УкрНДІП «МАСМА». – 18 с.
15. Природний газ. Обчислення теплоти згорання, густини, відносної густини і числа Воббена основні компонентного складу : ДСТУ ISO 6976:2009. – [Чинний з 2011-01-01]. – ТК 122. (Державний Стандарт України).
16. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи екології» для студентів спеціальностей автомеханічного факультету 7.090210 – «Двигуни внутрішнього згорання», 7.090211 – «Колісні та гусеничні транспортні засоби», 7.090214 – «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини та обладнання», 7.092303 – «Технологія і устаткування, відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій», 6.010104 – «Професійне навчання. Експлуатація та ремонт місцевого та автомобільного транспорту» / Укл. А. О. Корпач, А. Г. Говорун, Л. П. Мерзиевська, М. І. Гуменчук. – НТУ, 2006. – 44 с.
17. Гутаревич Ю. Ф. Защита окружающей среды от вредных выбросов автомобильного транспорта: учеб. пособие / Ю. Ф. Гутаревич, А. Г. Говорун, А. И. Ковалев. – К.: УМК ВО при Минвузе УССР, 1989. – 128 с.

References

1. BP. (2019). BP statistical review of world energy. Retrieved February 29, 2020 from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
2. Hutarevych, Y.F., Zerkalov, D.V., & others. (2008) Ekolohiya ta avtomobil'nyy transport: Navchal'nyy posibnyk 2-he vyd., pereroblene ta dopovnene. [Ecology and transport] Kyiv: Aristei.
3. Kovbasenko, S.V., Petrenko, V.H., Hutarevych, S.Y., Holyk, A.V. (2017). Pereobladdnannya dyzelya v hazodyzel', yak mozhlyvist' rozshyrennya palyvnoyi bazy avtomobil'noho transport [Refitting diesel fuel system to dual fuel diesel for possible expansion of fuel base road transport]. Kyiv, Visnyk National Transport, 154-160.
4. Kovbasenko, S.V., Petrenko, V.H., Holyk, A.V., Solomaha A.S., Ustymenko E.V. (2018) Rozrobka ta doslidzhennya mikroprotsesornoyi systemy zhyvlennya dyzelya, shcho pratsuye za hazodyzel'nyim tsykdom [Development and research of microprocessor diesel power system operating on diesel gas cycle]. Kyiv, Tavriiskiy National University [in Ukrainian].
5. Kovbasenko, S.V., Petrenko, V.H., Holyk, A.V., Hutarevych, S.Y. (2018) Vyznachennya ratsional'nykh PID-parametriv rehulyatora hazodyzel'noyi mikroprotsesornoyi systemy zhyvlennya [Determination of rational PID parameters of diesel gas microprocessor power supply system]. Kyiv: SD "StatevehicleSRproject".
6. Kovbasenko, S.V., Petrenko, V.H., Holyk, A.V. (2018). Stvorennya ta nalashtuvannya mikroprotsesornoyi systemy zhyvlennya dyzelya, shcho pratsuye za hazodyzel'nyim tsykdom [Creation and tuning of a microprocessor-based system for diesel engines operating on a diesel-gas cycle]. Kyiv: Visnyk NTU
7. Kovbasenko, S.V., Petrenko, V.H., Holyk, A.V., Simonenko V.V., Ustymenko E.V. (2018) Pokaznyky dyzeliv dorozhnikh transportnykh zasobiv z hazodyzel'noyi mikroprotsesornoyu systemoyu zhyvlennya [Indicators of diesel road transport vehicles with a diesel gas microprocessor-based supply system]. Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia / pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy Monografia nr 8; Seria: Transport; Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza. Rzeszów.

8. Kovbasenko, S.V., Andriuhina O., Hutarevych, S.Y. (2012) Do pytannya doslidzhennya pokaznykiv rukhu lehkovykh ta vantazhnykh avtomobiliv za yizdovymy tsyklamy za dopomohoyu matematychnykh modeley [The question of the study of the performance of cars and trucks on driving cycles using mathematical models]. Kyiv, Visnyk National Transport University, 221-225.

9. Hutarevych, Y.F., Kovbasenko, S.V., Simonenko V.V. (2013) Matematychna model' rukhu avtobusa z dyzelem v rezhymakh mis'koho yizdovoho tsykladu pry roboti na tradytsionomu ta biodyzel'nykh palyvakh [Mathematical model of bus traffic with diesel in urban driving cycle mode when working on traditional and biodiesel fuels]. Systemy i yurodki transportu samochodovogo. Vybrane zagadnennia / pod redakcijno naukovno Kazimierza Lejdy Monografhia nr 4 ; Seria: Transport ; Politehnika Rzeszowska im. Ignacego Jukasiewicza. – Rzeszyw :p. 231–238. – ISBN 978-83-7199-878-3.

10. Levkivkii O.O. (2013). Polipshennya palyvnoyi ekonomichnosti i ekolohichnykh pokaznykiv vantazhnykh avtomobiliv pry vykorystanni biodyzel'noho palyva: avtoref. dys. kandydat tekhn. Nauk [Improving fuel economy and environmental performance of trucks using biodiesel: abstract of PhD work]: 05.22.20. Kyiv, NTU, 20.

11. Simonenko V.V. (2016). Polipshennya ekolohichnykh pokaznykiv mis'kykh avtobusiv vykorystanniam dyzel'noho biopalyva: dys. kandydat tekhn. Nau [Improvement of environmental performance of city buses using diesel biofuels: PhD work]: 05.22.20. Kyiv, National Transport University, 195.

12. Izdatelstvo Standartov. (1991). Avtotransportnye sredstva. Toplyvnaya ekonomychnost'. Metody yspytanyu [Motor vehicles. Fuel efficiency. Test methods]: GOST 20306 – 90. Moscow, 34.

13. TK "Enerhozberzhennya" (1999). Enerhozberzhennya. Metody vymiryuvannya i rozrakhunku teploty z-horyannya palyva [Energy saving. Methods of measurement and calculation of heat of combustion

of fuel]: DSTU 3581-97 (GOST 30517-97). Kyiv, 29.

14. UKRNIINP «MASMA». (2016). Palyvo dyzel'ne Yevro. Tekhnichni umovy [Diesel fuel. Euro. Specifications] DSTU 7588:2015. Kyiv, 18.

15. TK 122. (2010). Pryrodnyy haz. Obchyslennya teploty z-horyannya, hustyny, vidnosnoyi hustyny i chysla Vobbenena osnovi komponentnoho skladu [Natural gas. Calculation of Combustion Heat, Density, Relative Density and Wobben Number Based on Component Composition]: DSTU ISO 6976:2009. Kyiv.

16. Korpach, A. O., Hovorun, A. H., Merzhyievska, L. P., Humenchuk, M. I. (2006). Metodychni vkazivky do vykonannya laboratornykh robit z dystsypliny «Osnovy ekolohiyi» dlya studentiv spetsial'nostey avtomekhanichnoho fakul'tetu 7.090210 – «Dvyhuny vnutrishnoho z-horyannya», 7.090211 – «Kolisni ta husenychni transportni zasoby», 7.090214 – «Pidyomno-transportni, budivel'ni, dorozhni, melioratyvni mashyny ta obladnannya», 7.092303 – «Tekhnolohiya i ustatkuvannya, vidnovlennya ta pidvyshchennya znosostykyosti mashyn i konstruksiy», 6.010104 – «Profesiynne navchannya. Eksploatatsiya ta remont mistsevoho ta avtomobil'noho transportu» [Methodical instructions for carrying out laboratory work in the discipline «Fundamentals of ecology» for students of specialties of the Mechanical Engineering Faculty 7.090210 – «Internal combustion engines», 7.090211 – «Wheeled and tracked vehicles», 7.090214 – «Hoisting-and-transport, construction, road, reclamation machines and equipment», 7.092303 – «Technology and equipment, restoration and durability of machines and structures», 6.010104 – «Professional education. Operation and repair of local and road transport»]. Kyiv, National Transport University, 44.

17. Hutarevych, Y. F., Hovorun, A. H., Kovalev, A. I. (1989). Zashchyta okruzhayushchey sredy ot vrednykh vybrosov avtomobil'noho transporta: ucheb. Posobye [Protecting the environment from harmful emissions from motor vehicles]. Kyiv, USSR, 128.

УДК 629.3.016

© О. В. Павленко, канд. техн. наук, доцент,
e-mail: vnpdocent@sat.poltava.ua,
ORCID: 0000-0001-8277-340X (КрНУ ім. М. Остроградського);
© С. В. Дунь, канд. техн. наук, заступник директора технічного
з нової техніки, e-mail: Sergey.Dun@kraz.ua,
ORCID: 0000-0002-0090-2261 (ПрАТ «АвтоКрАЗ»);
© М. О. Скляр, аспірант кафедри економіки, начальник відділу
менеджменту якості, e-mail: maks-info@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-0543-5383 (КрНУ ім. М. Остроградського,
ПрАТ «АвтоКрАЗ»)

DOI: 10.33868/0365-8392-2020-1-261-19-26

© Olexandr Pavlenko, PhD, Associate Professor, e-mail:
vnpdocent@sat.poltava.ua, ORCID: 0000-0001-8277-340X
(Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University);
© Serhii Dun, PhD, Deputy Technical Director,
e-mail: Sergey.Dun@kraz.ua, ORCID: 0000-0002-0090-2261
(Private Joint-Stock Company "AutoKRAZ");
© Maksym Skliar, PhD, Student (Economics),
Head of Quality Management Department,
e-mail: maks-info@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0543-5383
(Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University,
Private Joint-Stock Company "AutoKRAZ")

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПРОХІДНОСТІ ТЯГАЧА КрАЗ-6510ТЕ

DETERMINATION OF PERFORMANCE INDICATORS OF THE TRUCK KrAZ-6510TE

Анотація. В економіці будь-якої країни існує потреба у перевезенні великогабаритних неподільних вантажів. Такими вантажами є будівельні конструкції, елементи промислового обладнання, гусенична чи колісна будівельна і сільськогосподарська техніка, важка броньована військова техніка. У будь-якому випадку автопоїзди повинні забезпечити швидку доставку вантажів із мінімальними витратами палива. Для гарантованої доставки вантажів автопоїзд повинен бути здатним подолати підйоми існуючих доріг, а також бути спроможним буксирувати напівпричіп в умовах бездоріжжя. Особливо актуальними ці властивості є для транспортування військової техніки. Важливим показником, що визначає прохідність автопоїзда, є кут підйому дороги, який автопоїзд спроможний подолати.

Метою роботи є покращення прохідності автопоїздів з тягачами виробництва ПрАТ «АвтоКрАЗ» завдяки збільшенню кута підйому, який долає автопоїзд. Технічним завданням на розробку нового тягача визначено, що кут підйому дороги, який повинен подолати новий автопоїзд, дорівнює 18°. Аналіз характеристик існуючих автопоїздів для перевезення вантажів масою понад 40 т показав, що найбільше значення цього кута дорівнює 16,7°. Проведено аналіз факторів, які визначають граничне значення кута підйому, який долає автопоїзд, на прикладі автопоїзда у складі тягача КрАЗ-6510ТЕ і напівпричіпа повною масою 80 т. Розроблено математичну модель, яка дає змогу досліджувати вплив розподілу вертикальних реакцій на осях тягача і напівпричіпа на зчепні властивості автопоїзда. Математична модель дає змогу визначити значення кута підйому дороги, який може подолати автопоїзд за умов зчеплення коліс із поверхнею дороги і за величиною тягової сили від двигуна. Адекватність математичної моделі підтверджено порівнянням результатів розрахунків із даними заводських випробувань.