УДК 629.113

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОЗГАНЯННЯ АВТОМОБІЛІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НА МІСЦЕВИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДАХ ПАЛИВА

Ємець Б.В.
Житомирський національний агроекологічний університет
Старий бульвар, 7, 10008, м. Житомир
bogdan1199@ukr.net

Проблема забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами від роботи (в першу чергу бензинових) двигунів автомобілів притаманна багатьом країнам, у тому числі Україні. Багато українських громад можуть стати енергетично незалежними за рахунок використання місцевих відновлюваних джерел, альтернативних нафтопродуктам. Місцевим паливом для Полісся завжди була деревина та її відходи, які можуть бути перетворені на генераторний газ для автомобілів. Але зміна експлуатаційних показників двигунів, переобладнаних для роботи на генераторному газу і встановлених на вантажних автомобілях, зумовлює зміну показників розганяння цих автомобілів, що мають бути досліджені відповідно до виробничих умов.

У сучасній технічній літературі немає єдиних критеріїв і показників розганяння автомобіля. Найбільш поширені з них: час розганяння на шляху 400 і 1000 м; час розганяння до заданої швидкості; прискорення при розганянні; рідше інші. Встановлено, що для автомобілів під час роботи на генераторному газу погіршуються показники розганяння навіть порівняно з роботою їх на дизельному пальному на 52–60 %. Оскільки використання спеціальних газогенераторних двигунів у найближчі роки не передбачається, то слід шукати різні шляхи підвищення показників розганяння переобладнаних газогенераторних автомобілів. Це пропонують робити за рахунок оптимізації параметрів системи «газогенераторна установка – двигун – трансмісія», зменшення вантажопідйомності газогенераторного автомобіля, іншого. Найбільш ефективно підвищити показники розганяння автомобілів, які працюють на генераторному газу, можна способом збільшення густини газоповітряної суміші, що надходить до циліндрів переобладнаного двигуна. Такий спосіб збільшує ефективну потужність роботи двигуна щонайменше на 20–35 %. Отримані експериментальні дані основних показників розганяння газогенераторних автомобілів, аналіз яких показує достатню точність (до 6 %) аналітичних досліджень. *Ключові слова:* показники розганяння, автомобіль, генераторний газ, місцеве паливо.

Improvement of car driving asunder indicators during the work with local alternative fuel types. Yemets B.

The problem of the environmental pollution with the exhaust gases released from the operation of car engines (primarily of gasoline) is the common issue in many countries and in Ukraine as well. A lot of Ukrainian communities can become energy independent through the use of local renewable energy sources, which are the alternative of oil products. Timber and its waste has always been the local fuel in Polissia zone, which can be converted into generator gas for automobiles. However, the modification of the engines operation indexes, which are modified to work with generator gas and installed on trucks, requires the change in driving asunder of these vehicles, which must be investigated in accordance with the production conditions. There are no common criteria and indicators of trucks driving asunder in modern technical literature. The most common of them are: the driving asunder time on the route 400 and 1000 m, time of the driving asunder to the predetermined speed, and acceleration during driving asunder; other ones are rarely used. It is estimated that the driving asunder indexes for trucks while working with the generator gas are worse up to 52–60 %, even in comparison with their work with diesel fuel. Since the use of special gas-rotary engines is not expected in the coming years, it is necessary to look for different ways of driving asunder increasing in modified gas-generating vehicles. It is proposed to do this via the system "gas – generating unit – engine – transmission" parameters optimizing, reducing the load capacity of the gas-generating trucks, etc. The most effective way to do this is to increase the driving asunder indexes for gas generating trucks. It is possible to do this through the increasing of the gas-air mixture density, entering the cylinders of the modified engine. This method increases the effective power of the engine at least up to 20–35 %. The experimental data of the main gas-generating cars driving asunder indexes have been obtained, and their analysis shows the sufficient accuracy (up to 6 %) of analytical investigations. *Key words:* driving asunder indexes, a truck, generator gas, local fuel.

Постановка проблеми. Багато українських громад можуть стати енергетично незалежними за рахунок використання відновлюваних джерел (місцевих за своїм походженням), альтернативних до нафтопродуктів [1]. Проблема забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами від роботи двигунів автомобілів притаманна багатьом країнам і вже набула глобального характеру. В Україні найбільшими забруднювачами повітря є автомобільні транспортні засоби, які використовують бензин у вигляді палива для своїх двигунів [2]. Місцевим паливом для Полісся (до якого входить також значна частина Житомирської області) завжди була деревина та її відходи, які можуть бути переведені в генераторний газ для автомобілів [3].

Актуальність дослідження. Актуальним є застосування альтернативних видів палива (найкраще місцевого походження), які спершу частково замінять бензин. Один із способів вирішення проблеми альтернативи експлуатації такого виду нафтопродукту – це можливість роботи двигунів автомобілів

на генераторному газу (далі – ГГ), отриманому шляхом газифікації деревини та її відходів, чи іншого твердого палива. Але зміна експлуатаційних показників роботи переобладнаних двигунів для роботи на ГГ, що можуть бути встановлені, в першу чергу на вантажних автомобілях, зумовлює зміну показників розганяння цих автомобілів, які мають бути досліджені відповідно до виробничих умов.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконана відповідно до Державної науково-технічної програми за номером 5.5 «Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування» за напрямом «Розробка технологій конвертації двигунів на альтернативні види палива», визначених Міністерством освіти і науки України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основи теоретичних досліджень показників тягово-швидкісних властивостей, у тому числі характеристики показників розганяння автомобілів, викладені в наукових роботах Е.А. Чудакова, Г.В. Зимєлева, М.С. Туревського, Г.А. Філіпової, О.Д. Бумаги, М.М. Горбахи та багатьох інших [4; 5; 6].

У технічній літературі немає єдиних критеріїв і показників розганяння автомобіля [3]. Найбільш поширені з них: час розганяння на шляху 400 і 1000 м; час розганяння до заданої швидкості; прискорення при розганянні; рідше інші. Показники розганяння можна визначити шляхом розв'язку рівняння руху автомобіля, яке записано Г.В. Зимєлевим такою формулою [4]:

$$\frac{dV}{dt}\ M_a \cdot \delta_{об} = P_{кол}(V) - P_{оп}(V,V^2) \pm G_a \cdot \sin\alpha, \quad (1)$$

де M_a – повна маса автомобіля з урахуванням маси газогенераторної установки, кг; $\delta_{об}$ – коефіцієнт, який враховує обертові маси такого автомобіля; $P_{кол}(V)$ – повна колова сила на ведучих колесах автомобіля, Н; $P_{оп}(V,V^2)$ – сума сил опору руху автомобіля, Н; $G_a \cdot \sin\alpha$ – сила опору підйому, Н; G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля, Н; а – кут поздовжнього нахилу полотна дороги; V – швидкість руху автомобіля, м/с; dV/dt – прискорення автомобіля, м/с^2. Формальну формулу (1) наводять так:

$$\frac{dV}{dt} \cdot M_a \cdot \delta_{об} = a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i, \quad (2)$$

де коефіцієнти a_i, b_i, c_i визначаються параметрами конструкції автомобіля та його двигуна, а також передаточними відношеннями трансмісії. В розрахунках найчастіше використовують таку функціональну залежність [3]:

$$M_к = a \cdot \omega^2 + b \cdot \omega + c, \quad (3)$$

де a, b, c – сталі коефіцієнти, які визначають за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа:

$$a = \frac{M_{к.\min}}{A_{11}} + \frac{M_{к.\max}}{A_{12}} + \frac{M_N}{A_{13}},$$

$$b = \left[\frac{(\omega_N + \omega_M) \cdot M_{к.\min}}{A_{11}} + \frac{(\omega_N + \omega_{\min}) \cdot M_{к.\max}}{A_{12}} + \frac{(\omega_{\min} + \omega_M) \cdot M_N}{A_{13}} \right],$$

$$c = \left(M_{к.\min} \cdot \frac{\omega_M \cdot \omega_N}{A_{11}} + M_{к.\max} \cdot \frac{\omega_N \cdot \omega_{\min}}{A_{12}} + M_N \cdot \frac{\omega_{\min} \cdot \omega_M}{A_{13}} \right),$$

де $A_{11} = \omega^2_{min} - \omega_{min}(\omega_N + \omega_M) + \omega_N \cdot \omega_M$;
$A_{12} = \omega^2_M + \omega_M(\omega_N + \omega_{min}) + \omega_N \cdot \omega_{min}$;
$A_{13} = \omega^2_N + \omega_N(\omega_M + \omega_{min}) + \omega_M \cdot \omega_{min}$; ω_{min},
$M_{к.min}$ – мінімальна стійка кутова швидкість колінчастого вала двигуна, радіус і крутний момент, Н·м при цій кутовій швидкості; $M_{к.max}$, ω_M – максимальний крутний момент двигуна, Н·м і кутова швидкість колінчастого вала двигуна, радіус, що йому відповідає; M_N, ω_N – крутний момент, Н·м і кутова швидкість колінчастого вала двигуна, радіус, що відповідають його максимальній потужності: $\omega_{min} = (0{,}3...0{,}4)\ \omega_N$.

З урахуванням залежностей, які розглянуті вище, колову силу на ведучих колесах можна визначити за формулою:

$$P_{кол.i} = A_i \cdot V^2 + B_i \cdot V + C_i, \quad (4),$$

$$A = a \cdot \frac{i \cdot \eta_м}{r_д r_к},\ B_i = b \cdot \frac{U_i^2 \cdot \eta_м}{r_д \cdot r_к},\ C_i = c \cdot \frac{U_i \cdot \eta_м}{r_д},$$

де U_i – загальне передаточне число трансмісії автомобіля на i-ій передачі; η_m – коефіцієнт корисної дії трансмісії; $r_д$ та $r_к$ – динамічний радіус і радіус кочення колеса, м.

Після визначення колової сили на ведучих колесах диференціальне рівняння руху автомобіля (1) виглядатиме так:

$$\frac{dV}{dt} \cdot M_a \cdot \delta_{об} = A_i \cdot V^2 + B_i \cdot V + C_i - P_{оп}(V,V^2) \pm G_a \cdot \sin\alpha, \quad (5)$$

Рівняння (5) використовують для вирішення завдань, пов'язаних як з усталеним (тоді диференційне рівняння (5) перетворюється в алгебраїчне), так і з неусталеним (прискореним, уповільненим) рухом автомобіля. Воно дозволяє визначити основні показники розганяння автомобіля [2; 3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета дослідження – покращити показники розганяння автомобілів під час роботи на ГГ (отриманого від газифікації місцевого альтернативного виду палива) методом підвищення густини газоповітряної суміші, яка надходить до циліндрів переобладнаного двигуна.

Для досягнення поставленої мети задачі дослідження сформульовані так: виконати аналіз стану теоретичних досліджень показників розганяння автомобілів; розрахувати показники розганяння автомобіля під час роботи на різних видах палива (в тому числі на ГГ, отриманого від газифікації місцевого альтернативного виду палива) та порівняти їх із базовими характеристиками бензинового двигуна; покращити отримані показники розганяння автомобіля

під час роботи на ГГ методом підвищення густини газоповітряної суміші, яка надходить до циліндрів переобладнаного двигуна.

Новизна. Вперше для автомобіля під час роботи на ГГ (отриманого від газифікації місцевого альтернативного виду палива) змодельовано показники розганяння такого автомобіля, які можливо покращити, якщо використати метод підвищення густини газоповітряної суміші, що надходить до циліндрів переобладнаного двигуна цього автомобіля.

Методологічне або загальнонаукове значення. Теоретичні дослідження проводилися з використанням основних положень диференціального числення, прикладного математичного моделювання, теорії автомобіля та його експлуатації. Експериментальні дослідження проводились із використанням газогенераторних установок, змонтованих на шасі автомобілів ГАЗ-52, 53 (Рис. 1) Житомирського національного агроекологічного університету (ЖНАЕУ) відповідно до прийнятої методики і галузевих стандартів із застосуванням вимірювального обладнання лабораторій і конструкторського бюро факультету інженерії та енергетики.

Виклад основного матеріалу. В лабораторіях ЖНАЕУ більше 25 років створювались дослідні зразки транспортних засобів, які працюють на місцевих альтернативних видах палива, насамперед на генераторному газу, отриманому з твердого палива (деревини і її відходів, вугілля, енергетичних рослин тощо).

Згідно вимог нині діючого стандарту ГОСТ 22576-90 показники розганяння автомобіля визначають на горизонтальних прямолінійних ділянках асфальтованої дороги, для якої кут підйому $\alpha = 0$:

$$a_i = A_i - K_w F,$$

$$b_i = B_i - K_f \cdot M_a \cdot g,$$

$$c_i = C_i - f_0 M_a g,$$

де K_w – коефіцієнт обтічності автомобіля, Н·с^2/м^4; F – площа проекції автомобіля на площину, перпендикулярну його поздовжній осі, м^2; K_f – коефіцієнт, який враховує зміну опору коченню залежно від швидкості; f_0 – коефіцієнт опору коченню при швидкостях, близьких до нуля.

Для визначення показників розганяння автомобіля під час роботи на ГГ автор використає диференціальне рівняння (2). Після розділу змінних та інтегрування правої і лівої частин цього рівняння отримує вирази для розрахунку часу розганяння автомобіля на ділянці від початкової швидкості V_n автомобіля до кінцевої $V_к$:

$$\tau = M_a \cdot \delta_{об} \cdot \int_{V_n}^{V_к} \frac{dV}{a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i} \qquad (6)$$

Інтеграл, записаний формулою (6), є табличним і його розв'язують залежно від знаку дискримінанта Δ [2]. Якщо $\Delta = b^2_i - 4\, a_i\, c_i < 0$, тоді час розганяння автомобіля, в тому числі на ГГ, можна визначити за формулою:

$$\tau = \frac{2 \cdot M_a \cdot \delta_{об}}{\sqrt{-\Delta}} arctg \frac{2 \cdot a_i \cdot V + b_i}{\sqrt{-\Delta}} \Bigg|_{Vn}^{V_K}, \qquad (7)$$

При $\Delta > 0$ можливі два інші варіанти розв'язку виразу (6), які не мають значення для нашого

Рис. 1. Автомобіль із газогенераторною установкою розробки вчених ЖНАЕУ (установка розміщена на рамі поза кабіною)

випадку. В літературі шлях розганяння пропонують визначати, як [3]:

$$S = \frac{1}{2a_i}\left\{M_a \cdot \delta_{об} \cdot \ln\left|a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i\right\|_{V_n}^{V_к} - b_i \cdot \tau\right\}, \quad (8)$$

У розрахунках часу і шляху розганяння автомобіля початкову швидкість на нижчій передачі автор приймає за V_{n1}= 0, а кінцеву швидкість $V_{кI}$ розраховує за формулою:

$$V_{K1} = \frac{\omega_N \tau_K}{U_m}, \quad (9)$$

де ω_N – номінальна кутова швидкість колінчастого вала двигуна. Аналіз літератури з теорії автомобіля показує, що час переключення передач t_n складає від 0,5 до 5 с [3; 4].

Максимальне прискорення в процесі розганяння автомобіля під час роботи на генераторному газу на заданій передачі автор розраховував як:

$$j_{\max} = \frac{1}{M_a \cdot \delta_{об}} \cdot \left(c_i - \frac{b_i^2}{4 \cdot a_i}\right), \quad (10)$$

У Табл. 1 наведено розраховані показники розганяння автомобіля ГАЗ-53 на різних видах палива (прийнято для базової бензинової модифікації: N_e = 88,5 кВт; G_a = 77100 Н; K_w = 0,65 Н·с^2/м^4; F = 4,45м^2; $\eta_{тр}$ = 0,85; f_0 = 0,02 [5]) за аналітичними виразами, які наведено вище.

Аналіз Табл. 1 показує, що використання ГГ як палива для двигуна вкрай погіршує (більше ніж удвічі) показники розганяння автомобіля ГАЗ-53. У автомобілів з газогенераторною установкою погіршуються показники розганяння навіть порівняно з їх роботою на дизельному пальному на 52–60 %. У зв'язку з тим, що використання найближчим часом спеціальних газогенераторних двигунів навряд чи можливе, слід шукати різні шляхи підвищення тягово-швидкісних властивостей, зокрема показників розганяння, переобладнаних газогенераторних автомобілів. Різні дослідники пропонують це робити за рахунок оптимізації параметрів системи «газогенераторна установка – двигун – трансмісія», зменшення вантажопідйомності тощо [2; 3].

Найбільш ефективно підвищити показники розганяння газогенераторних автомобілів можна способом підвищення густини газоповітряної суміші, яка надходить до циліндрів переобладнаного двигуна. Тобто використати нагнітання газоповітряної суміші в циліндри газогенераторного двигуна, в результаті чого збільшиться середній ефективний тиск і ефективний ККД, ефективна потужність газогенераторного двигуна.

У лабораторіях ЖНАЕУ попередньо досліджено використання об'ємного нагнітача з механічним приводом (Рис. 2), збільшення ефективної потужності двигуна при його використанні максимально можливе від 20 до 35 % [3].

Експериментальні дослідження показників розганяння автомобілів проводять згідно ГОСТ 22576-90. Такі випробування проводяться на рівній горизонтальній ділянці дороги довжиною 4 км і шириною не менше 15 м. Завантаження автомобіля до повної маси здійснюється мішками з піском. Зважування автомобіля після його завантаження здійснюється за методикою ОСТ 37.001.408 на автомобільних вагах середнього класу точності з найбільшою межею зважування 10 т по ГОСТ 14004 [3].

Попередньо були отримані дані основних показників розганяння газогенераторних автомобілів, аналіз яких показує достатню точність (до 6 %) аналітичних досліджень (Табл. 2).

Головні висновки. Багато українських громад можуть стати енергетично незалежними за рахунок використання відновлюваних місцевих джерел, альтернативних нафтопродуктам. Місцевим паливом для Полісся завжди була деревина та її відходи, які можуть бути переведені в генераторний газ для автомобілів.

Таблиця 1

Показники розганяння автомобіля при роботі на різних видах палива

Вид палива	Ефективна потужність, кВт	Максимальне прискорення, м/с^2	Час розганяння на шляху 400 м, с	Час розганяння на шляху 1000 м, с	Шлях розганяння до 16,7 м/с, м
Бензин	88,5	0,802	29,6	62,3	358,3
Дизельне пальне*	82,4	0,651	35,3	79,8	544,0
Генераторний газ (ГГ) **	54,9	0,520	69,4	137,3	1048,1

* за умови обладнання автомобіля дизелем; ** за умови обладнання автомобіля газогенераторною установкою масою 450 кг

Таблиця 2

Дані випробувань показників розганяння автомобіля під час роботи на генераторному газу

Показники	$<x_{екс}>$	$\Delta_{<x екс>}$	ε	$\varepsilon_м$
Шлях розганяння до 16,7 м/с, м	1084,1	19,4	1,79	3,32
Час розганяння на шляху 1000 м/с	129,7	1,1	0,85	5,53

Примітки: $<x_{екс}>$ – середнє з шести вимірювань; $\Delta_{<xекс>}$ – довірча межа похибки вимірювання; ε – відносна похибка результатів вимірювання, %; $\varepsilon_м$ – відносна похибка моделювання, %

Рис. 2. Загальний вигляд нагнітача (з механічним приводом) газоповітряної суміші в циліндри двигуна газогенераторного автомобіля

Встановлено, що використання генераторного газу як палива для двигуна автомобіля погіршує більше ніж удвічі величини показників розганяння цього автомобіля. Найбільш ефективно підвищити показники розганяння газогенераторних автомобілів можна способом підвищення густини газоповітряної суміші, яка надходить до циліндрів переобладнаного двигуна. Це збільшує ефективну потужність роботи такого двигуна на 20–35 %. Отримані експериментальні дані основних показників розганяння газогенераторних автомобілів, аналіз яких показує достатню точність (до 6 %) аналітичних досліджень.

Перспективи використання результатів дослідження. В подальшому доцільно виконати дослідницьку роботу з визначення інших показників тягово-швидкісних властивостей (наприклад, характеристику «розганяння – вибіг») газогенераторних автомобілів різних моделей і марок.

Література

1. Закон України № 1391-VI від 21.05.2009 р. Про альтернативні види палива (редакція від 24.11.2016). *Відомості Верховної Ради*. 2016. № 12. 94 с.
2. Мельник М.В., Ємець Б.В., Поліщук О.С. Обґрунтування продуктивного використання газового палива для бензинових двигунів автомобілів. *Вісник ЖНАЕУ.* 2010. № 2 (27). С. 139–145.
3. Ємець Б.В. Покращення показників розганяння автомобілів сільськогосподарського призначення під час роботи на генераторному газу. *Наукові горизонти*. 2019. № 5(78). С. 31–39.
4. Зимелев Г.В. Теория автомобиля. Москва : Воениздат, 1957. 455 с.
5. Туревский Н.С. Теория автомобиля. Москва : Высш. шк., 2005. 240 с.
6. Філіпова Г.А., Бумага О.Д., Горбаха М.М. Вплив передаточних чисел трансмісії автобуса, що працює на газоподібному паливі, на показники його швидкісних властивостей. *Автошляховик України*. 2003. С. 102–106.