

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ГЕНЕРАТОРНОМУ ГАЗУ

Максимальну швидкість руху автомобілів сільськогосподарського призначення на генераторному газу можна визначати шляхом розв'язку рівняння потужнісного балансу автомобіля. Похибка у визначенні цього показника тягово-швидкісних властивостей автомобіля не перевищує 8%. Зменшити цю похибку можна за рахунок більш точного визначення коефіцієнтів обтічності та опору коченню коліс автомобіля при розрахункових дослідженнях.

Використання газотурбінного наддуву для подачі газоповітряної суміші в циліндри двигунів газогенераторних автомобілів підвищує їх максимальну швидкість до рівня бензинових автомобілів. Але ускладнення конструкції та роботи газогенераторної установки з газотурбінним наддувом призводить до зниження надійності та ресурсу роботи двигунів таких автомобілів.

Ключові слова: *автомобіль, сільськогосподарське призначення, максимальна швидкість руху, газ генераторний.*

Постановка проблеми

Проблема забруднення навколишнього середовища притаманна багатьом країнам і наразі набула глобального характеру. Найбільшими забруднювачами повітря в Україні і Житомирській області, зокрема, є автомобільні транспортні засоби. Бензиновий двигун внутрішнього згоряння на 1 км шляху викидає в

навколишнє середовище близько 70 г оксиду вуглецю, 25 г оксиду азоту, свинець, оцтовий альдегід, бензол, ацетилен, бенз-х-пірен, бенз-х-атрофен і ще близько 220 шкідливих для живих організмів речовин [1, 4, 7]. Один із способів вирішення проблеми альтернативи експлуатації нафтопродуктів – це можливість роботи як бензинових двигунів, так і дизелів автомобілів на генераторному газу (ГГ) [1, 2, 3, 4, 6, інші].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Тверде паливо – горючі хімічні речовини, основною складовою частиною яких є вуглець. До твердого палива належать кам'яне та буре вугілля, торф, деревина, інше. Властивості палива значною мірою визначаються його хімічним складом – вмістом вуглецю, водню, кисню, азоту, сірки, інше. Переважно тверде паливо застосовують для отримання тепла та інших видів енергії, які витрачаються на отримання механічної роботи. Для того, щоб використати тверде паливо в якості пального для двигунів транспортних засобів, його необхідно попередньо газифікувати у спеціальних газогенераторних установках (ГУ) (рис. 1), [2, 3, 4, інші].

В конструкторських бюро та лабораторіях Житомирського національного агроекологічного університету та Житомирського агротехнічного коледжу більше п'ятнадцяти років створювались дослідні зразки газогенераторних транспортних засобів [1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, інші].

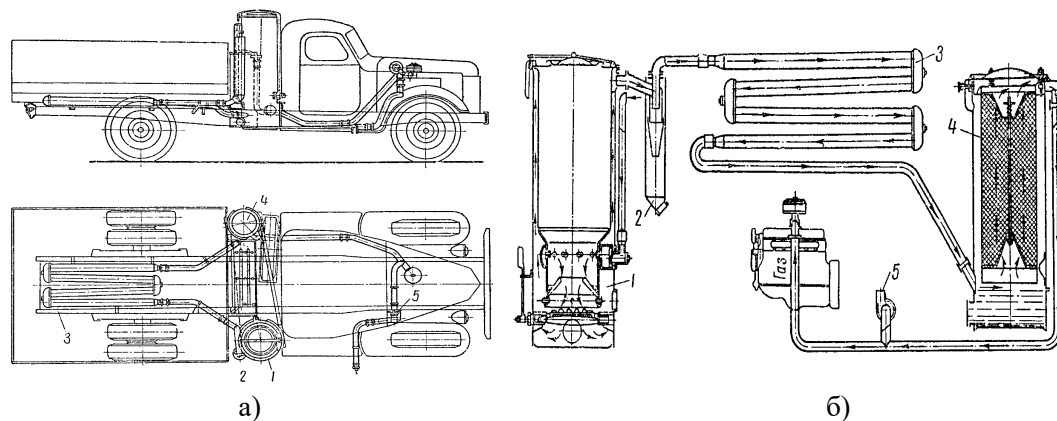


Рис. 1. Загальна конструкція транспортної ГУ:

*а) розміщення на автомобілі ЗІЛ-164 з/г ; б) схема загальної конструкції ГУ:
1 – газогенератор; 2 – грубий очисник ГГ; 3 – охолоджувач ГГ; 4 – тонкий очисник ГГ;
5 – вентилятор*

Мета, завдання та методика досліджень

Для класичних газогенераторних автомобілів ефективна потужність їх двигунів, які працюють на генераторному газу, у порівнянні з бензиновими, в багатьох випадках зменшується до 40% [2,3,4, інші]. А вантажні автомобілі категорії N1 мають рухатись на дорогах для автомобілів та магістралях, у потоці сучасних транспортних засобів, зі швидкістю не меншою за 60 км/год. До того ж, Правилами дорожнього руху на автомагістралях, крім спеціально обладнаних для цього місць, забороняється рух механічних транспортних засобів, швидкість яких за технічною характеристикою або їхнім станом менше 40 км/год.

Тому метою цього дослідження є моделювання та встановлення максимальної швидкості руху автомобілів на генераторному газу (віднесених до категорії N1) при зменшенні ефективної потужності їх двигунів.

Завдання дослідження – попередньо встановити методом моделювання величини максимальної швидкості руху автомобілів на генераторному газу.

Вказані дослідження проведено на вітчизняних матеріалах та даних окремих зарубіжних країн [11, інші].

Дослідження виконано методами моделювання на персональному комп'ютері максимальної швидкості руху автомобілів на генераторному газу та аналізу отриманих даних.

Результати досліджень

Максимальну швидкість руху автомобілів у літературі рекомендують визначати шляхом розв'язку рівняння потужнісного балансу автомобіля, яке можна записати у наступному вигляді [4, 8, інші]:

$$V_{\max}^3 \cdot k \cdot F + V_{\max}^2 \cdot k_f \cdot G_a + V_{\max} \cdot f_0 \cdot G_a - 1000 N_e \cdot \eta_m = 0, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт опору повітря, $\text{H} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$;

F – площа проекції автомобіля на площину, що перпендикулярна поздовжній осі автомобіля, $F = B \cdot H$; B – колія передніх коліс автомобіля, м; H – висота автомобіля, м;

k_f – коефіцієнт, що враховує приріст сили опору кочення автомобіля від швидкості його руху, $k_f = 0,000036 \cdot V^2$;

f_0 – коефіцієнт опору кочення при швидкості автомобіля 1 м/с;

G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля, Н.

Прийнявши, що

$$\begin{aligned} V_{\max} &= x; \quad k \cdot F = a; \quad k_f \cdot G_a = b; \quad f_0 \cdot G_a = c; \\ &-1000 N_e \cdot \eta_m = d, \end{aligned}$$

отримасмо рівняння виду:

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0. \quad (2)$$

Якщо складові рівняння (2) поділити на старший коефіцієнт, то отримаємо:

$$x^3 + \frac{b}{a} \cdot x^2 + \frac{c}{a} \cdot x + \frac{d}{a} = 0. \quad (3)$$

Введемо заміну:

$$x = z - \frac{b}{3a}.$$

Після перетворень рівняння (2) набуває канонічного виду:

$$z^3 + p \cdot z + q = 0. \quad (4)$$

Для рівняння (4) дискримінант записується:

$$D = \frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}.$$

Якщо: $D < 0$, тоді рівняння (4) має один дійсний та два спряжені комплексні корені; $D = 0$, тоді рівняння (4) має три дійсні корені (два з них рівні); $D > 0$, тоді всі корені дійсні та різні.

Розв'язок рівняння (4) записується наступними формулами:

$$z = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{D}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{D}}, \quad (5)$$

$$q = \frac{2b^3}{27a^3} - \frac{bc}{3a^2} + \frac{d}{a}, \quad (6)$$

$$p = \frac{c}{a} - \frac{b^2}{3a^2}. \quad (7)$$

В таблиці 1 представлено дані окремих газогенераторних автомобілів (ГГА), які раніше серійно випускалися. Дані таблиці 1 використано для аналітичного визначення максимальної швидкості руху представлених автомобілів та порівняння отриманої величини із значенням максимальної швидкості руху паспортними даними цих автомобілів.

Додатково до вищезгаданого для всіх моделей серійних ГГА прийнято наступні значення коефіцієнтів [4]:

$$k = 0,65 \text{ Нс}^2/\text{м}^4; \quad f_0 = 0,013.$$

Таблиця 1. Максимальна швидкість серійних ГГА

Модель автомобіля	Потужність ефективна N_e , кВт	Сила тяжіння від повної маси автомобіля G_a , Н	Площа проєкції автомобіля F , м ²	Максимальна швидкість (паспортна), V_{max} , км/год	Максимальна швидкість (розрахована), V_{max} , км/год
ГАЗ-42	26,8	35316	3,9	55	56
ЗиС-21	35,4	59840	4,6	48	50
ЗиЛ-164 г/г	48,2	71122	4,8	60	62

Аналіз таблиці 1 показує, що розраховані (за допомогою формул (5–7)) величини максимальної швидкості руху ГГА не перевищують паспортну швидкість більше ніж на 4%, що вважається задовільним в галузі науково-технічних досліджень. Тому запропонована вище модель розрахунку максимальної швидкості руху газогенераторних автомобілів може бути використана в науково-практичній роботі.

В табл. 2 представлено дані максимальної швидкості руху автомобілів сільськогосподарського призначення на бензині (паспортні дані заводів-виготівників) та порівняно із розрахованою максимальною швидкістю руху цих автомобілів на ГГ. Проаналізувавши табл. 2, можна зробити висновок, що заміна бензину на ГГ як палива для автомобілів, призводить до відносного зниження їх максимальної швидкості до 30%.

Таблиця 2. Максимальна швидкість автомобілів сільськогосподарського призначення (з ГУ) при їх роботі на ГГ

Модель автомобіля	Потужність (на ГГ) ефективна N_e , кВт	Сила тяжіння від повної маси автомобіля (з ГУ) G_a , Н	Максимальна швидкість (паспортна, бензин), V_{max} , км/год	Максимальна швидкість (розрахована, на ГГ), V_{max} , км/год	Відносне зниження максимальної швидкості, %
ГАЗ-3307 з ГУ	62	79870	90	64	29
ГАЗ-САЗ-3511 з ГУ	58	74562	85	61	28
ЗиЛ-ММЗ-554 з ГУ	76	95784	90	65	28

В літературі [2, 3, 4, інші] описано спосіб підвищення максимальної швидкості газогенераторних автомобілів (ГГА), а саме зменшення їх паспортної вантажопідйомності (а значить і повної маси). Так, максимальна швидкість ГГА ЗиС-13 менша за максимальну швидкість базового (бензинового) автомобіля на

25% за умови зменшення вантажопідйомності на 1000 кг. На рис. 2 показана графічна залежність ваги від повної маси автомобілів з газогенераторною установкою (ГУ) у відповідності до їх максимальної швидкості.

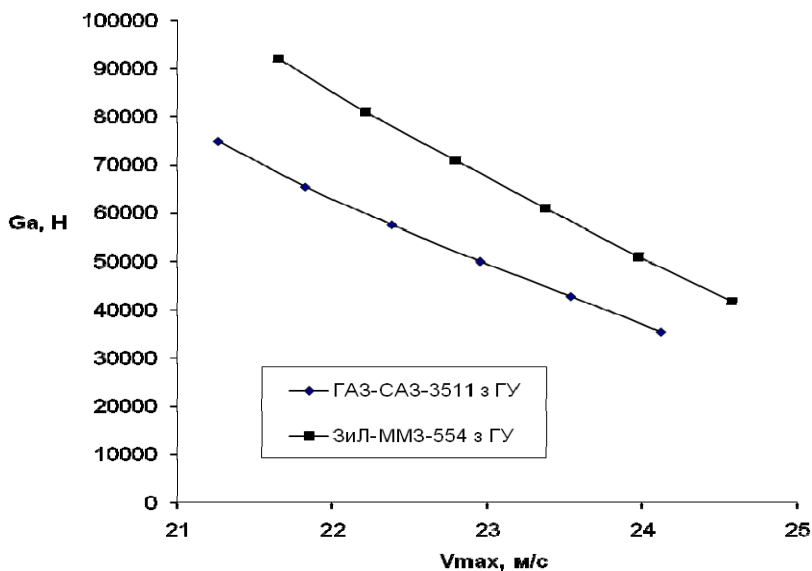


Рис. 2. Графічна залежність ваги від повної маси автомобілів з ГУ у відповідності до їх максимальної швидкості

У період серійного випуску газогенераторних автомобілів Г. Г. Токарев зазначав, що у випадку використання наддуву газоповітряної суміші в циліндри двигуна підвищується густина цієї суміші. В результаті цього збільшується величина середнього ефективного тиску та відповідно ефективна потужність двигуна ГГА. При використанні об'ємного нагнітача з механічним приводом збільшення ефективної потужності двигуна ГГА максимально можливе до 28%, а при використанні центробіжного нагнітача з газотурбінним приводом максимально можливе до 76%. В табл. 3 представлено дані розрахунку максимальної швидкості ГГА у випадку використання газотурбінного наддуву газоповітряної суміші в циліндри двигунів з використанням ГУ.

Таблиця 3. Теоретична максимальна швидкість ГГА у випадку використання газотурбінного наддуву газоповітряної суміші в циліндри двигуна

Модель автомобіля	Максимальна швидкість (розрахована, на ГГ), V_{max} , км/год.	Максимальна швидкість (розрахована, газотурбінний наддув ГГ), V_{max} , км/год.	Відносне збільшення максимальної швидкості, %
ГАЗ-3307 з ГУ	64	88	28
ГАЗ-СА3-3511 з ГУ	61	84	28
ЗиЛ-ММЗ-554 з ГУ	65	89	27

Аналіз табл. 3 показує, що використання газотурбінного наддуву газоповітряної суміші в циліндри двигунів ГГА приводить до підвищення максимальної швидкості на рівні базових (бензинових) автомобілів. Але ускладнення конструкції та роботи ГУ з газотурбінним наддувом призведе до зниження надійності та ресурсу роботи двигунів таких автомобілів і потребує ґрунтовних експериментальних дорожніх випробувань.

Під час дорожніх випробувань автомобілів, згідно з ГОСТ 22576-90, визначають максимальну швидкість їх руху. В праці [4] згадуються випробування автомобіля ГАЗ-53-12 з ГУ при розганянні на передачі, що забезпечує максимальну швидкість (табл. 4). Такі випробування проводяться на рівній горизонтальній ділянці дороги довжиною 4 км з поздовжнім ухилом – в середньому 0,12 %, шириною – 15 м. Завантаження автомобіля до повної маси (з урахуванням маси газогенераторної установки з газом) здійснюється мішками з піском. Зважування автомобіля після його завантаження (водій та оператор) здійснюється за методикою ОСТ 37.001.408 на автомобільних вагах середнього класу точності з найбільшою межею зважування 10 т по ГОСТ 14004, дані приладів, які застосовуються під час таких досліджень в табл. 5.

Таблиця 4. Дані випробувань показників, що впливають на максимальну швидкість автомобіля ГАЗ-53-12 з ГУ

Показники	$\langle x_{екс} \rangle$	$\Delta \langle x_{екс} \rangle$	ε	ε_m
Максимальна швидкість, м/с	19,8	1,4	1,97	7,91
Час проходження 1000 м, с	134,8	3,0	2,41	9,55

В табл. 4: $\langle x_{екс} \rangle$ – середнє з шести вимірювань; $\Delta \langle x_{екс} \rangle$ – довірча межа похибки вимірювання; ε – відносна похибка результатів вимірювання; ε_m – відносна похибка моделювання.

Аналіз таблиці 4 показує, що похибка у визначенні максимальної швидкості руху автомобіля не перевищувала 8 %. Зменшити цю похибку можна за рахунок більш точного визначення коефіцієнта обтічності та коефіцієнта опору коченню коліс автомобіля при розрахункових дослідженнях [4]. При заїздах автомобіля фіксується час проходження мірного відрізка. Якщо відхилення у часі проходження цього відрізка за результатами шести вимірювань перевищує 3%, таке випробування бракується і здійснювався додатковий заїзд. Автомобіль при цьому розганяється до максимальної швидкості з максимальною інтенсивністю при максимальній подачі палива в двигун і переключенні передач за номінальної частоти обертання колінчастого вала.

Таблиця 5. Дані приладів, які застосовуються під час досліджень максимальної швидкості автомобіля

Назва приладу	Назва випробувань, точність	Діапазон технічних характеристик	
		від	до
Рідинно-скляний термометр, тип А	Температура повітря, $\pm 1^{\circ}\text{C}$	-30°C	$+50^{\circ}\text{C}$
Барометр-анероїд М 67	Атмосферний тиск, $\pm 0,8$ мм рт.ст.	600 мм рт.ст.	800 мм рт.ст.
Психрометр МВ4	Відносна вологість повітря, $\pm 5\%$	10 %	100 %
Анемометр АП-1	Швидкість вітру, $\pm 5\%$	1 м/с	20 м/с
Мішки з піском	Завантаження автомобіля, $\pm 5\%$	3кг	25кг
Секундомір	Час, $\pm 0,01$ с	0 с	9999,99 с
«П'яте колесо»	Швидкість руху, м/с, Шлях, м, $\pm 5\%$	0 м/с 0 м	25 м/с 9999,9 м

Як видно із таблиці 4, максимальне відхилення у визначенні часу проходження мірного відрізка дещо більше у порівнянні із визначенням максимальної швидкості. Пояснюють це тим [4], що водії, як показує обробка результатів експерименту, переключують передачі не за максимальної частоти обертання колінчастого вала, а при дещо нижчій (290...300 рад/с), що призводить до збільшення часу проходження 1000 м.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Один із способів вирішення проблеми альтернативи експлуатації нафтопродуктів – це можливість роботи як бензинових двигунів, так і дизелів автомобілів на генераторному газу. В конструкторських бюро та лабораторіях Житомирського національного агроекологічного університету та Житомирського

агротехнічного коледжу більше п'ятнадцяти років створювалися дослідні зразки газогенераторних транспортних засобів.

Максимальну швидкість руху автомобілів сільськогосподарського призначення можна визначати шляхом розв'язку рівняння потужнісного балансу автомобіля, до того ж, похибка у визначенні цього показника тягово-швидкісних властивостей автомобіля не перевищує 8%. Зменшити цю похибку можна за рахунок більш точного визначення коефіцієнтів обтічності та опору коченню коліс автомобіля при розрахункових дослідженнях.

Використання газотурбінного наддуву газоповітряної суміші в циліндри двигунів газогенераторних автомобілів приводить до підвищення їх максимальної швидкості до рівня базових (бензинових) автомобілів. Але ускладнення конструкції та роботи газогенераторної установки з газотурбінним наддувом призведе до зниження надійності та ресурсу роботи двигунів таких автомобілів і потребує їх дорожніх випробувань.

У подальшому доцільно виконати дослідницьку роботу з визначення інших показників (часу розгону до 400 м, часу розгону до 1000 м, характеристику «розганяння – вибіг», тощо) тягово-швидкісних властивостей газогенераторних автомобілів різних моделей.

Література

1. Ємець Б. В. Вирішення проблеми використання радіоактивно забрудненої біомаси в якості пального для ДВЗ / Б. В. Ємець // Досвід подолання наслідків Чорнобильської катастрофи в сільському та лісовому господарстві – 20 років після аварії на ЧАЕС : тези доп. 5-ої Міжнар. наук.-практ. конф. – Житомир : ДАУ, 2006. – С. 192–194.
2. Ємець Б. В. Визначення загальної енергоємності використання автомобілів з газогенераторною установкою в екологічних агротехнологіях / Б. В. Ємець // Вісн. ДАУ. – 2005. – № 1. – С. 208–214.
3. Ємець Б. В. Модель ефективності використання транспортних засобів з покращеними техніко-експлуатаційними показниками, які обладнані газогенераторними установками / Б. В. Ємець // Автошляховик України. – 2007. – № 4. – С. 14–17.
4. Ємець Б. В. Покращення показників техніко-експлуатаційних властивостей транспортних засобів з газогенераторними установками : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.02 / Б. В. Ємець ; Нац. транспорт. ун-т. – К., 2008. – 20 с.
5. Оптимізація техніко-економічних показників автотракторних газогенераторів – основа відтворення їх виробництва / Л. В. Лось, О. В. Ніколенко, Б. В. Ємець, М. І. Шмалюк // Вісн. ДАУ. – 2006. – № 2. – С. 113–121.

6. Перспективи створення, визначення показників роботи та основних розмірів газогенераторних установок для тракторних двигунів / Л. В. Лось, О. В. Ніколенко, Б. В. Ємець, М. І. Шмалюк // Вісн. ДАУ. – 2006. – № 1. – С. 109–121.

7. Мельник М. В. Обґрунтування продуктивного використання газового палива для бензинових двигунів автомобілів / М. В. Мельник, Б. В. Ємець, О. С. Поліщук // Вісник ЖНАЕУ. – 2010. – № 2. – С. 139–145.

8. Автомобілі: тягово-швидкісні властивості та паливна економічність : навч. посібник / В. П. Сахно, Г. Б. Безбородова, М. М. Маяк, С. М. Шарай. – К. : Арістей, 2003. – 200 с.

9. Створення сучасного газогенераторного двигуна внутрішнього згоряння для північних районів України – важливий фактор підтримки с.-г. товаровиробника / М. І. Шмалюк, В. А. Вознюков, Б. В. Ємець, Л. В. Лось // Вісн. Інженерної акад. України. – 2001. – № 2. – С. 75–77.

10. Пат. 79600 Україна, МПК F01M5/00 F02N17/00. Спосіб пуску двигуна внутрішнього згоряння трактора чи автомобіля при низькій температурі навколишнього середовища і газогенератор для його пуску / Л. В. Лось, Б. В. Ємець, М. І. Шмалюк, М. Я. Артемчук (Україна); ДАУ. – 2004042414; Заявл. 01.04.2004; Опубл. 10.07.2007, Бюл. №10. – 4 с.

11. Mitschke M. Dynamik der Kraftfahrzeuge / M. Mitschke. – Berlin ; Heidelberg ; New-York : Springer-Verlag, 1972. – 529 p.