

УДК 629.33

ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ПНЕВМАТИЧНИМ ДВИГУНОМ

О.І. Воронков, доцент, к.т.н., Д.М. Леонт'єв, доцент, к.т.н.,
Е.В. Тесленко, інженер, ХНАДУ

Анотація. Виконано тягово-швидкісний аналіз руху мікроавтобуса ГАЗ-2217 з пневматичним двигуном замість двигуна внутрішнього згорання та надано рекомендації, які дозволяють визначити вихідні енергетичні параметри силової установки транспортного засобу для руху з невеликою швидкістю в міському циклі.

Ключові слова: пневматичний двигун, рух автомобіля, альтернативні силові пристрої, стиснуте повітря.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ДВИГАТЕЛЕМ

А.И. Воронков, доцент, к.т.н., Д.Н. Леонтьев, доцент, к.т.н.,
Э.В. Тесленко, инженер, ХНАДУ

Аннотация. Выполнен тягово-скоростной анализ движения микроавтобуса ГАЗ-2217 с пневматическим двигателем вместо двигателя внутреннего сгорания и даны рекомендации, позволяющие определить выходные энергетические параметры силовой установки транспортного средства для движения с небольшой скоростью в городском цикле.

Ключевые слова: пневматический двигатель, движение автомобиля, альтернативные силовые установки, сжатый воздух.

DEFINITION OF OUTPUT ENERGY PARAMETERS OF A VEHICLE WITH AIR MOTOR

A. Voronkov, Associate Professor, Candidate of Technical Science, D. Leontiev,
Associate Professor, Candidate of Technical Science, E. Teslenko, engineer, KhNAHU

Abstract. It was made trailer-speed motion analysis of minibus GAZ-2217 with air motor instead of the internal combustion engine and recommendations allowing to determine the output power of the power plant parameters for vehicle movement at low speed in urban cycle.

Key words: Air motor vehicle traffic, alternative propulsion systems, compressed air.

Вступ

В сучасній автомобільній промисловості відбувається криза, пов'язана з нестачею енергетичних ресурсів пального у світі, тому багато виробників автомобільної техніки ведуть пошук альтернативних джерел енергії для використання їх на автомобілях із двигунами внутрішнього згорання та розробляють альтернативні види двигунів, які можуть ста-

ти заміною двигунів внутрішнього згорання в найближчому майбутньому.

Аналіз публікацій

Аналізуючи науково-методичну літературу [1, 2], можна зробити висновок, що найбільш перспективним на сьогодні є переобладнання двигунів внутрішнього згорання для роботи на альтернативному паливі, тому в даній

статті пропонується як альтернативний вид двигуна – пневматичний двигун, який приводиться в дію за допомогою стисненого повітря.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є визначення потужності та динамічних характеристик пневматичного двигуна як альтернативного замість двигуна внутрішнього згоряння, який використано на мікроавтобусі ГАЗ-2217.

Визначення енергетичних параметрів автомобіля ГАЗ-2217

Для перевірки положень теорії про можливість використання стисненого повітря як альтернативного виду енергетичного ресурсу, завдяки якому можливо організувати рух колісного транспортного засобу, пропонується використати вагово-параметричні дані мікроавтобуса ГАЗ-2217, зовнішній вигляд та кінематичну схему трансмісії якого зображено на рис. 1.

З довідкової літератури [3] вибираємо вихідні дані для виконання аналізу тягово-швидкісних властивостей мікроавтобуса ГАЗ-2217 у разі обладнання його пневматичним двигуном.

Вихідні дані для розрахунку:

Вид автомобіля мікроавтобус
Повна маса m , кг 2800

Передаточні числа:

– коробки передач U_{k1} 4,05
 U_{k2} 2,34
 U_{k3} 1,395
 U_{k4} 1
 U_{k5} 0,849
– головної передачі U_0 4,556

Статичний радіус колеса $r_{ст}$, м 0,313

Габаритні розміри:

– ширина B_G , м 2,075
– висота H_G , м 2,2

ККД трансмісії $\eta_{тр}$ 0,92

При розрахунках впливу сили опору повітря коефіцієнт опору повітря (k) беремо згідно з методичними рекомендаціями [4] ($k = 0,4 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$).

Для побудови зовнішньої швидкісної характеристики пневматичного двигуна, який планується встановлювати на мікроавтобус ГАЗ-2217 використаємо емпіричну залежність, яка дозволяє за відомими координатами однієї точки швидкісної характеристики ($N_{V\max}$ и n_{N_V}) відтворити всю криву потужності

$$N_e = N_{V\max} \left[A_1 \frac{n}{n_{N_V}} + A_2 \left(\frac{n}{n_{N_V}} \right)^2 - A_3 \left(\frac{n}{n_{N_V}} \right)^3 \right], \quad (1)$$

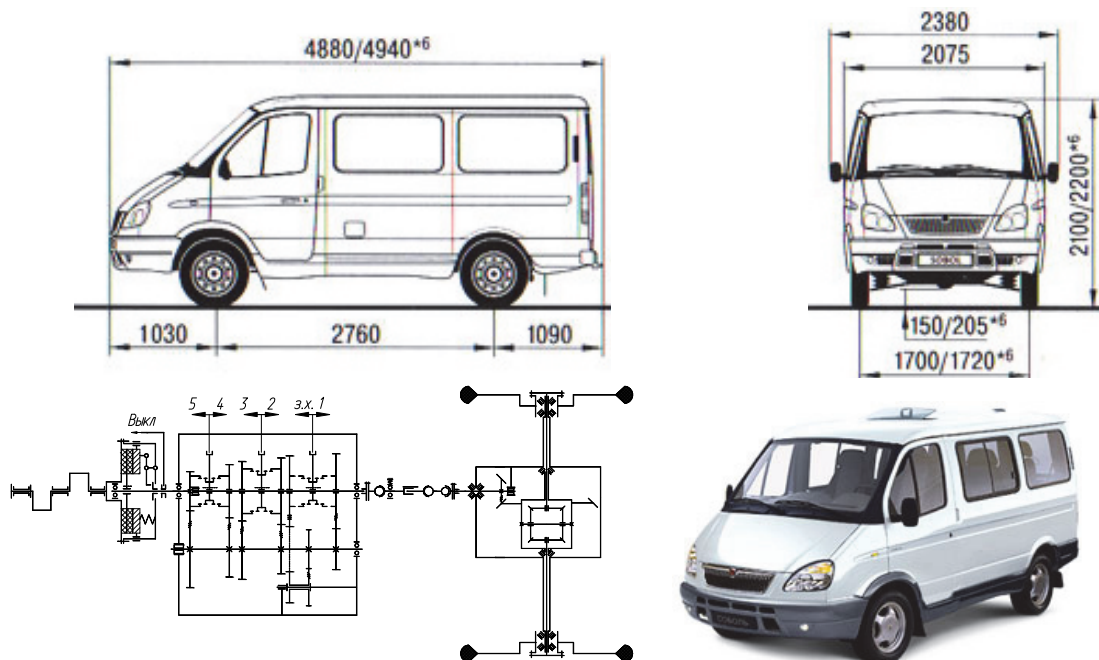


Рис. 1. Зовнішній вигляд та кінематична схема мікроавтобуса ГАЗ-2217

де N_e – поточне значення потужності двигуна, яке відповідає відповідній частоті обертання вала двигуна, кВт; $N_{V_{\max}}$ – максимальна потужність двигуна за частоти обертання n_{N_V} та максимальної швидкості руху автомобіля, кВт; n – поточна частота обертання колінчастого вала двигуна, об/хв.; n_{N_V} – частота обертання колінчастого вала двигуна за максимальної швидкості руху автомобіля; A_1 , A_2 та A_3 – емпіричні коефіцієнти, які визначаються із залежностей (5)

$$A_1 = \frac{M_{\max}}{M_{N_{V_{\max}}}} - \frac{(M_{\max} - M_{N_{V_{\max}}}) \cdot n_M^2}{(n_M - n_{N_V})^2 \cdot M_{N_{V_{\max}}}} \quad (2)$$

$$A_2 = \frac{2 \cdot (M_{\max} - M_{N_{V_{\max}}}) \cdot n_M \cdot n_{N_V}}{(n_M - n_{N_V})^2 \cdot M_{N_{V_{\max}}}} \quad (3)$$

$$A_3 = \frac{(M_{\max} - M_{N_{V_{\max}}}) \cdot n_{N_V}^2}{(n_M - n_{N_V})^2 \cdot M_{N_{V_{\max}}}} \quad (4)$$

де M_{\max} – максимальний момент, який розвиває двигун, Н·м; $M_{N_{V_{\max}}}$ – момент двигуна, у який досягається максимальна швидкість руху, Н·м; n_M – частота обертання колінчастого вала двигуна за максимального моменту, об/хв.

Необхідну потужність двигуна $N_{V_{\max}}$ за необхідної швидкості визначимо за такою формулою

$$N_{V_{\max}} = \frac{m \cdot g \cdot \psi_v \cdot V_{\max}}{3600 \cdot \eta_{TP}} + \frac{k \cdot F \cdot V_{\max}^3}{46656 \cdot \eta_{TP}} \quad (5)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²; V_{\max} – відповідна швидкість мікроавтобуса ГАЗ-2217 (приймаємо рівною 30 км/год); ψ_v – коефіцієнт дорожнього опору при русі накатом (приймаємо 0,012); F – лобова площа автомобіля, м².

Лобова площа автомобіля визначається із залежності

$$F = \alpha \cdot B_F \cdot H_F \quad (6)$$

де α – коефіцієнт заповнення лобової площі, приймаємо $\alpha = 1,05$.

Згідно з виразом (6) $F = 4,8 \text{ м}^2$.

Необхідний максимальний момент ($M_{e_{\max}}$) пневматичного двигуна, який планується встановлювати на мікроавтобус ГАЗ-2217, повинен визначатися на першій передачі за максимального сумарного дорожнього опору. Величину цього моменту можна визначити із залежності

$$M_{e_{\max}} = \frac{m \cdot g \cdot \psi_{\max} \cdot r_{ct}}{U_{k1} \cdot U_0 \cdot \eta_{TP}} \quad (7)$$

де ψ_{\max} – коефіцієнт сумарного дорожнього опору (приймаємо 0,39);

Необхідна потужність двигуна за відповідної швидкості руху мікроавтобуса ГАЗ-2217 в умовах міського циклу, згідно із формулою (5), повинна бути не меншою, ніж 4,14 кВт.

Необхідний максимальний момент ($M_{e_{\max}}$) пневматичного двигуна, відповідно до залежності (7), повинен бути не меншим, ніж 197,7 Н·м.

Результати розрахунків зміни величини крутного моменту та потужності двигуна залежно від обертів, для зручності аналізу, зведемо в табл. 1.

Таблиця 1 Результати розрахунку зовнішньої швидкісної характеристики пневматичного двигуна

Параметр	Значення параметрів					
	500	600	700	800	900	1000
n , об/хв	500	600	700	800	900	1000
$A_1 \left(\frac{n}{n_{N_V}} \right)$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$A_2 \left(\frac{n}{n_{N_V}} \right)^2$	4	5,76	7,84	10,24	12,96	16
$A_3 \left(\frac{n}{n_{N_V}} \right)^3$	2	3,46	5,49	8,19	11,67	16
N_e , кВт	10,4	12,0	12,6	11,8	9,1	4,14
M_e , Н·м	197,7	191,4	172,4	140,8	96,5	39,5

За результатами розрахунків побудуємо зовнішню швидкісну характеристику пневмати-

чного двигуна (рис. 1), необхідну для руху мікроавтобуса ГАЗ-2217 в умовах міського циклу з максимальною швидкістю 30 км/год.

Для визначення тягово-швидкісних властивостей мікроавтобуса ГАЗ-2217 з пневматичним двигуном на різних передачах використовуємо відомі залежності (8)–(13), які є складовими силового балансу руху мікроавтобуса [6].

Тягове зусилля (P_k) на ведучих колесах визначимо з виразу, Н

$$P_k = \frac{M_e \cdot U_{ki} \cdot U_0 \cdot \eta_{тр}}{r_{ст}} \quad (8)$$

Другу складову силового балансу – силу сумарного дорожнього опору (P_ψ) – визначимо за формулою, Н

$$P_\psi = \psi_v \cdot m \cdot g \quad (9)$$

В розрахунках не враховуємо вплив швидкості руху мікроавтобуса на коефіцієнт опору кочення, тому $\psi_v = \text{const}$.

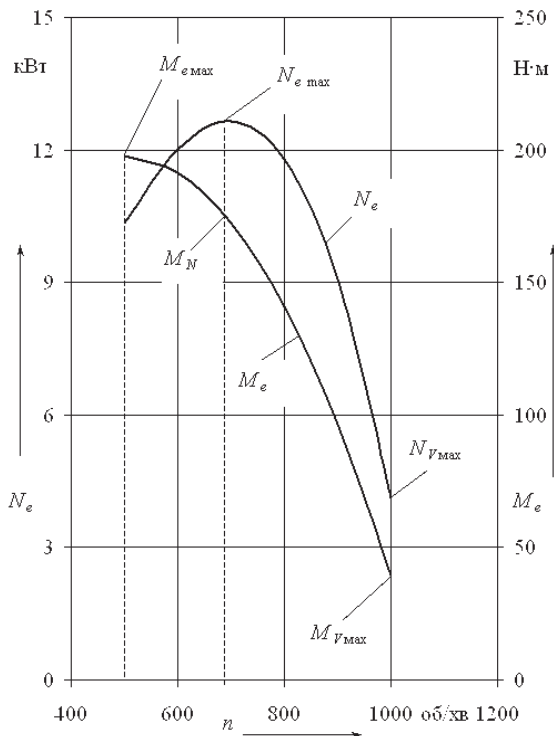


Рис. 1. Зовнішня швидкісна характеристика пневматичного двигуна, необхідна для руху мікроавтобуса ГАЗ-2217 в умовах міського циклу

Силу опору повітря (P_w) визначимо за формулою, Н

$$P_w = \frac{k \cdot F \cdot V^2}{3,6^2} \quad (10)$$

Сила опору розгону (P_j) визначається із залежності, Н

$$P_j = \delta_i \cdot m \cdot j \quad (11)$$

де j – прискорення автомобіля в поступовому русі, м/с; $\delta_i = 1.04 + 0.04 \cdot U_{ki}^2$ – коефіцієнт впливу обертальних мас, які визначаємо для кожної передачі:

- на першій передачі $\delta_1 = 1,6961$
- на другій передачі $\delta_2 = 1,259$
- на третій передачі $\delta_3 = 1,1178$
- на четвертій передачі $\delta_4 = 1,08$
- на п'ятій передачі $\delta_5 = 1,0689$

Графік силового балансу та усі наступні графіки будуються у функції швидкості руху автомобіля V_a , км/год, пов'язаній з частотою обертання вала двигуна n залежністю

$$V = 0,377 \cdot \frac{r_{ст} \cdot n}{U_{ki} \cdot U_0} \quad (12)$$

Динамічний фактор автомобіля D визначається для різних передач та швидкостей руху за формулою

$$D = \frac{P_k - P_w}{G} = \psi + \frac{\delta}{g} \cdot j \quad (13)$$

Змінні за швидкістю величини P_k , P_w та D зведені до табл. 2 для зручності виконання аналізу.

Таблиця 2 Результати розрахунку силового балансу та динамічної характеристики автомобіля з пневматичним двигуном

Параметр	Значення параметрів					
	500	600	700	800	900	1000
n , об/хв	500	600	700	800	900	1000
M_e , Н·м	197,7	191,4	172,4	140,8	96,5	39,5
V_l , км/год	3,2	3,8	4,5	5,1	5,8	6,4
P_{kl} , Н	10710	10368	9339	7626	5227	2142
P_{wl} , Н	1	2	3	4	5	6
$P_{kl}-P_{wl}$, Н	10709	10366	9337	7622	5222	2136
D_l	0,39	0,377	0,340	0,277	0,190	0,078
V_2 , км/год	5,5	6,6	7,8	8,9	10,0	11,1
P_{k2} , Н	6188	5990	5396	4406	3020	1238
P_{w2} , Н	4	6	9	11	14	17
$P_{k2}-P_{w2}$, Н	6184	5984	5388	4395	3006	1220

Закінчення табл. 1

Параметр	Значення параметрів					
D_2	0,225	0,218	0,196	0,160	0,109	0,044
V_3 , км/год	9,3	11,2	13,0	14,9	16,7	18,6
P_{k3} , Н	3689	3571	3217	2627	1800	738
P_{w3} , Н	12	18	24	31	40	49
$P_{k3}-P_{w3}$, Н	3677	3553	3193	2595	1760	689
D_3	0,134	0,129	0,116	0,094	0,064	0,025
V_4 , км/год	13,0	15,6	18,2	20,7	23,3	25,9
P_{k4} , Н	2645	2560	2306	1883	1291	529
P_{w4} , Н	24	34	47	61	77	96
$P_{k4}-P_{w4}$, Н	2621	2525	2259	1822	1213	433
D_4	0,095	0,092	0,082	0,066	0,044	0,016
V_5 , км/год	15,3	18,3	21,4	24,4	27,5	30,5
P_{k5} , Н	2245	2173	1958	1599	1096	449
P_{w5} , Н	33	48	65	85	107	133
$P_{k5}-P_{w5}$, Н	2212	2126	1893	1514	988	316
D_5	0,081	0,077	0,069	0,055	0,036	0,012

За результатами розрахунку будують графіки, представлені на рис. 2 та 3.

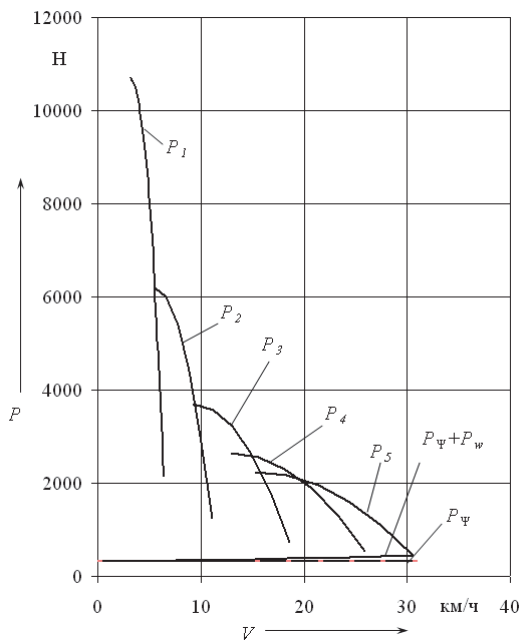


Рис. 2. Силовий баланс автомобіля з пневматичним двигуном при русі в умовах міського циклу

Показники розгону мікроавтобуса ГАЗ-2217 являють собою графіки прискорень, часу розгону та шляху розгону у функції швидкості.

Прискорення j для різних передач та швидкостей визначаються за значеннями динамічного фактора з табл. 2, використовуючи залежність

$$j = (D - \psi) \cdot \frac{g}{\delta}, \quad (14)$$

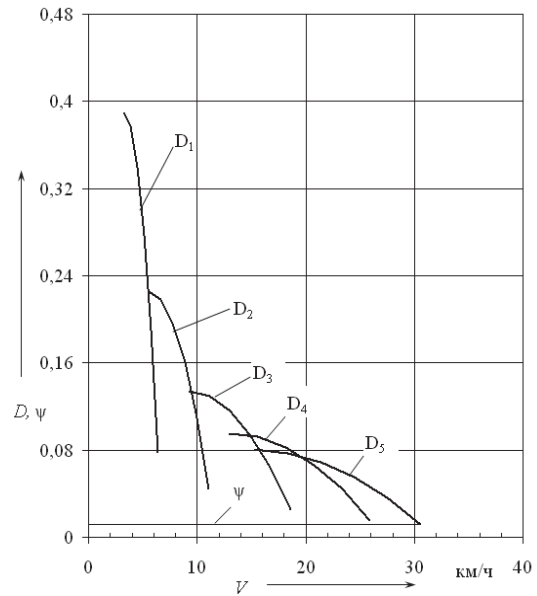


Рис. 3. Динамічні характеристики автомобіля з пневматичним двигуном при русі в умовах міського циклу

Результати розрахунку за формулою (14) відображено на рис. 4.

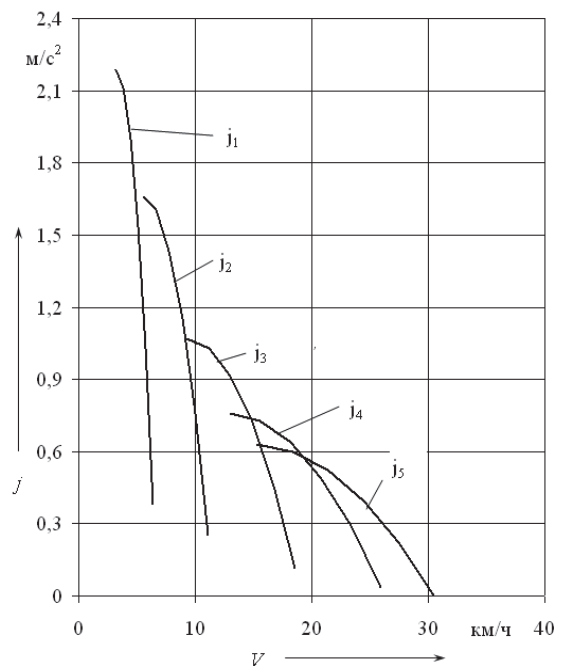


Рис. 4. Графік прискорень автомобіля з пневматичним двигуном при русі в умовах міського циклу

Час розгону мікроавтобуса з пневматичним двигуном визначимо як інтеграл функції

$$t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{j} dV, \quad (15)$$

а шлях розгону визначимо як інтеграл функції

$$S = \int_{t_1}^{t_2} V dt, \quad (16)$$

Результати розрахунків за формулами (15) та (16), без урахування часу перемикання передач, представлені на рис. 5.

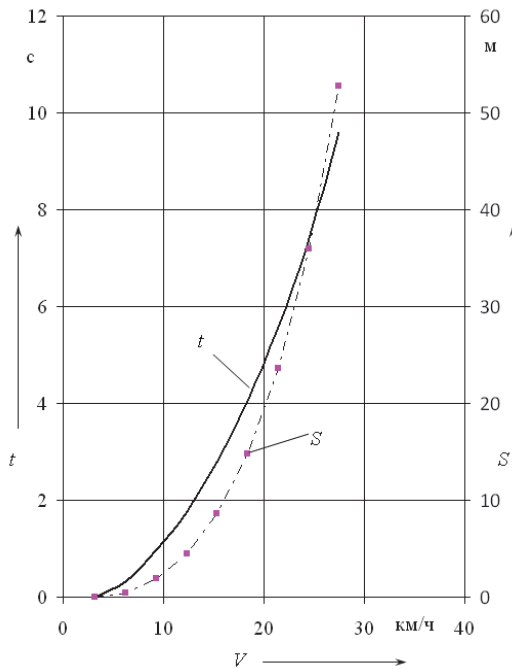


Рис. 5. Час та шлях розгону автомобіля з пневматичним двигуном при русі в умовах міського циклу

Отже, якщо проаналізувати розрахунки, представлені на рис. 2–3, можна зробити висновок, що мікроавтобус ГАЗ-2217 з пневматичним двигуном, параметри якого визначені за формулами (1)–(5) та (7), здатний рухатися в місті зі швидкістю до 30 км/год, при цьому долати сумарний дорожній опір на першій передачі, не менший ніж 0,39, що відповідає нахилу дороги 37,8 % згідно із залежністю (17)

$$i_{\max i} = (\psi_{\max i} - \psi_v) \cdot 100 \%. \quad (17)$$

Висновки

Результати розрахунків, наведені на рисунках 2–5, показують, що мікроавтобус ГАЗ-2217 з пневматичним двигуном як альтернативним двигуну внутрішнього згорання є можливим.

Як показують результати розрахунків, наведені на рис. 2–5, мікроавтобус ГАЗ-2217 з пневматичним двигуном та параметрами, зображеними на рис. 1, здатний досягти швидкості руху 30 км/год, маючи потужність двигуна $N_{V_{\max}} = 12,6$ кВт.

Мікроавтобус ГАЗ-2217 може розігнатися до швидкості $0,9 \cdot V_{\max} = 27$ км/год за 9,5 с, при цьому подолати відстань у 52 м.

Мікроавтобус ГАЗ-2217, обладнаний пневматичним двигуном з максимальним моментом $M_{e_{\max}} = 197,7$ Н·м та потужністю $N_{V_{\max}} = 12,6$ кВт при обертах двигуна 500–700 об/хв, здатний подолати ухили дороги, не менші ніж 37,8 %.

Відкритим залишається тільки питання витрат стисненого повітря, що є окремою задачею, яка не ставилась у даній публікації.

Література

1. Trajkovic Sasa. The Pneumatic Hybrid Vehicle A New Concept for Fuel Consumption Reduction / Sasa Trajkovic. – Lund: Lund University, 2010. – 285 p.
2. Туренко А.Н. О требованиях к конструкции и рабочему процессу пневмодвигателя для комбинированной энергоустановки автомобиля / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук и др. // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2006. – Вып. 18. – С. 7–12.
3. Шепеленко І.Г. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Робочі процеси автомобілів і тракторів» / І.Г. Шепеленко, Д.М. Леонтєв, О.М. Красюк. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 36 с.
4. Краткий автомобильный справочник. Том 1. Автобусы / Кисуленко Б.В. – М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2002. – 360 с.
5. Алекса Н.Н. Теория эксплуатационных свойств автотранспортных средств в примерах и заданиях: учебное пособие / Н.Н. Алекса, В.Н. Алексеенко, А.Б. Гредескул. – К.: УМК ВО, 1990. – 100 с.

Рецензент: В.И. Клименко, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 3 червня 2013 р.