

УДК 629.113.65

О. П. Кондратенко, О. М. Дубина

ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ГІБРИДНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ НА РІЗНИХ ШВИДКІСНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

Визначаються енергетичні характеристики комбінованої гібридної установки штабної машини з урахуванням різних дорожніх умов та режимів експлуатації.

Постановка проблеми. Вимоги до екологічної безпеки транспортних засобів, що неухильно підвищуються, енерго- і ресурсозбереження обумовлюють той факт, що створення й удосконалювання гібридних транспортних засобів (ГТЗ) є актуальною тенденцією в сучасному автомобілебудуванні [1]. Спільне раціональне використання енергії пального двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) і електричної енергії елементів бортової мережі автомобіля, що витрачається на привод електродвигуна, дозволяє значно зменшити токсичність відпрацьованих газів, підвищити економічність автомобіля й зберегти необхідну динамічність разом із зниженням потужності ДВЗ [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Головними елементами гібридного автомобіля, що визначають його основні характеристики, є:

- електрична оборотна машина, що виконує функції тягового електродвигуна, стартера традиційного автомобіля й генератора у процесі рекуперації енергії гальмування;
- високоенергетичний накопичувач електричної енергії;
- електронний блок керування.

Одним з найважливіших складників підвищення рухливості бойових машин є вдосконалення їхніх трансмісій. Тому у сучасних інноваційних програмах дизель-електричний комбінований привод визначено як основну форму привода, його конфігурація передбачена для всього сімейства машин [3, 4]. Тільки на такій основі можна досягти нових бойових якостей і характеристик. Це стосується надійності машини, тилового забезпечення й захисту в бойових умовах.

Технологія приводу з електричним приводом колеса давно застосовується в цивільній сфері, особливо в міських автобусах та розвізних вантажівках. Так, у вантажівках середньої тоннажності Sprinter (рис. 1) разом з дизелем працює електродвигун потужністю 70 кВт. Він одержує енергію від нікельметалогідридного акумулятора, що забезпечує запас ходу без підзарядки до 30 км [5]. Батарея підзаряджається при гальмуванні або під час руху під ухил, коли електромотор виконує функцію генератора. Поповнити енергію акумулятора також можна від побутової електромережі за допомогою спеціального штепселя.



Рис. 1. Автомобілі з гібридною трансмісією

Гібридні автомобілі починають рухатися за допомогою електромотора, після збільшення швидкості підключаються обидва силових агрегати [2]. Використовувана у нових автотранспортних засобах технологія в цілому задовольняє вимогам до військових машин. Таким чином, отриманий у цивільній сфері досвід можна поширити на військову область, особливо сферу дій внутрішніх військ.

Оцінювання необхідної потужності двигуна зазвичай виконують для прямолінійного горизонтального руху [7]. В нашому випадку напрямок та величини енергетичних потоків у комбінованій трансмісії суттєво залежать не тільки від режиму руху, а і стану накопичувача електричної енергії.

Метою статті є математичне дослідження впливу умов руху ГТЗ на споживання та віддачу енергії на прикладі штабної машини, яку можна вважати автомобілем малої вантажопідйомності.

Виклад основного матеріалу. Аналіз технічних джерел [2, 6] свідчить, що комбінований тяговий привод, застосовуваний на ГТЗ, виконаний за послідовною або паралельною принципових схемах

(рис. 2), також є змішана схема.

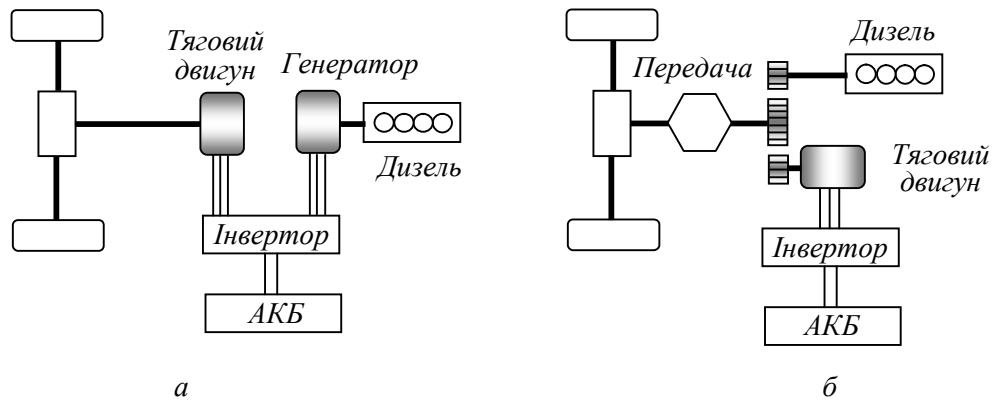


Рис. 2. Принципові схеми комбінованого гібридного приводу: а – послідовна; б – паралельна

Процес керування роботою гібридного приводу можна розділити на чотири зони (рис. 3), у яких функціонує система керування відповідно до швидкості руху й заряду батареї.

Режим роботи первинного дизель-генератора під час руху встановлюється таким, щоб енергетичний стан за можливістю утримувався в зоні нормальної роботи А, що відповідає режиму максимальної економії [9]. Коли заряд батареї переходить у зону В, дизель-генератор переводиться у режим холостого ходу або взагалі вимикається, і живлення тягових двигунів здійснюється від батареї.

Після переходу заряду батареї в зону С дизель-генератор починає працювати в режимі повної потужності, при цьому батарея заряджається доти, поки її заряд не перейде у зону А.

Загальною задачею розрахунку передачі енергії є визначення основних динамічних параметрів автомобіля й силової установки при зміні навантажувальних і швидкісних режимів її роботи. У нашому випадку це означає оцінювання необхідної потужності комбінованої енергетичної установки для різних дорожніх і погодних умов, а також потужності, що повертається в регенеративну систему.

Виходячи з умов роботи гібридної трансмісії, можна вважати, що:

- на малих швидкостях руху (після зрушування з місця) ГТЗ буде рухатися тільки на електротязі з живленням від батарей; звідси одержимо вимоги до потужності електромашини в режимі двигуна та електричного накопичувача;
- на середніх і великих постійних швидкостях рух забезпечує тепловий двигун; звідси можна визначити (з урахуванням ККД) максимальні потужності електромашини в режимі генератора та двигуна в додатковому режимі обгону.

Без обмежень на характер руху баланс потужності в аналітичній формі виражають рівнянням [7]:

$$N_e = N_f \pm N_i \pm N_j + N_w + N_m. \quad (1)$$

За цією залежністю потужність двигуна N_e витрачається на: N_f – потужність власно руху; N_i – потужність при русі на підйом (+) або на спуск (-); N_j – потужність на подолання інерції мас, що рухаються поступально й обертаються, під час прискорення (+) або гальмування (-); N_w – потужність на подолання опору повітря; N_m – втрати потужності у трансмісії.

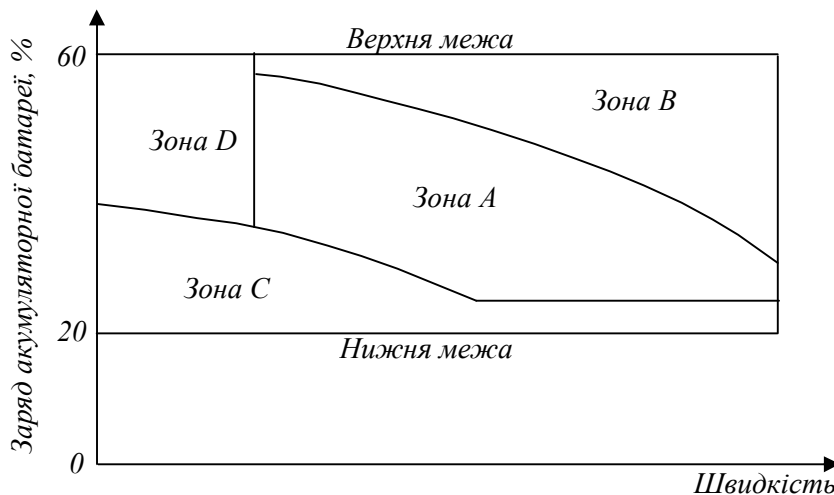


Рис. 3. Зони керування роботою гібридного приводу

Складники залежності (1) визначаються за відомими формулами [8].

Потужності, витрачені на подолання опору підйому й кочення, оцінюють сумарною потужністю, витраченою на подолання дорожніх опорів:

$$N_{\psi} = N_f \pm N_i = (P_i \pm P_f) \cdot V_a = P_{\psi} \cdot V_a, \quad (2)$$

$$P_{\psi} = 9,81 \cdot G_a \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha),$$

$$f = f_0 + 7 \cdot 10^{-6} \cdot V_a^2,$$

де G_a – повна маса автомобіля, кг; α – кут нахилу дороги; V_a – швидкість руху, м/с; f_0 – коефіцієнт опору коченню.

Відзначимо, що для нашого випадку потрібно врахувати можливість початку руху під великими кутами (до 40°). Виконаємо відповідні розрахунки з використанням обчислювальної техніки.

Дотримуючись рекомендацій авторитетних джерел, обмежимо максимальну швидкість ГТЗ (після початку руху) на рівні 25...30 км/год. За такої умови опір повітря можна не враховувати. ККД трансмісії оцінимо величиною 0,95, тоді рівняння (1) матиме вигляд:

$$N_e = 1,05 \cdot (N_f \pm N_i \pm N_j). \quad (3)$$

Задаючи різні значення кута нахилу дороги, одержимо результати, які представлені у вигляді графіків на рис. 4.

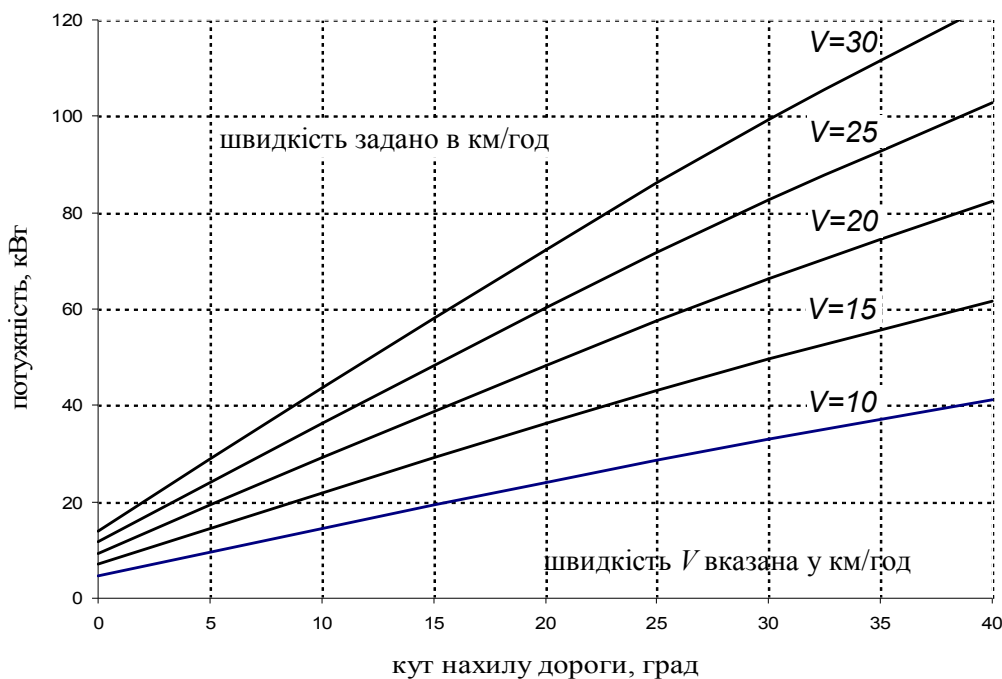


Рис. 4. Залежність сумарної потужності комбінованої енергетичної установки від кута нахилу дороги при різних швидкостях руху ГТЗ

Аналіз результатів розрахунків дозволяє для машини з повною вагою $2 \cdot 10^3$ кг дійти таких висновків.

1. За будь-якої швидкості руху та умови, що нахил дороги більше ніж 2° , складник руху превалює над іншими.

2. На горизонтальній дорозі превалює складник на подолання інерції (розгону).

3. За умови руху по горизонтальній дорозі з великою швидкістю превалює складник на подолання опору повітря, на другому місці – складник на подолання інерції.

4. Якщо кут нахилу дороги не перевищує 15° , то повна потужність не перевищує 60 кВт.

Аналоги автотранспортних засобів такого класу з тепловими двигунами мають потужність двигуна близько 100 кВт. Такої потужності цілком вистачить на подолання 20° підйому зі швидкістю 40 км/год; 11° підйому – зі швидкістю 60 км/год та 3° – зі швидкістю 100 км/год.

Таким чином, обраної потужності вистачить для початку руху з місця в заданому діапазоні кутів. Разом з тим для руху по горизонтальній дорозі зі швидкістю 100 км/год достатньо 71 кВт. Залишок у 29 кВт витратиться на зарядку накопичувача електричної енергії.

Оцінимо можливості рекуперативного накопичення енергії під час гальмування та руху на спуску під різними кутами, врахуємо також різні рівні гальмування (від'ємне прискорення). Для цього скористаємося залежністю (2) з необхідною корекцією. Деякі результати наведені на рис. 5.

З аналізу отриманих результатів можна стверджувати таке.

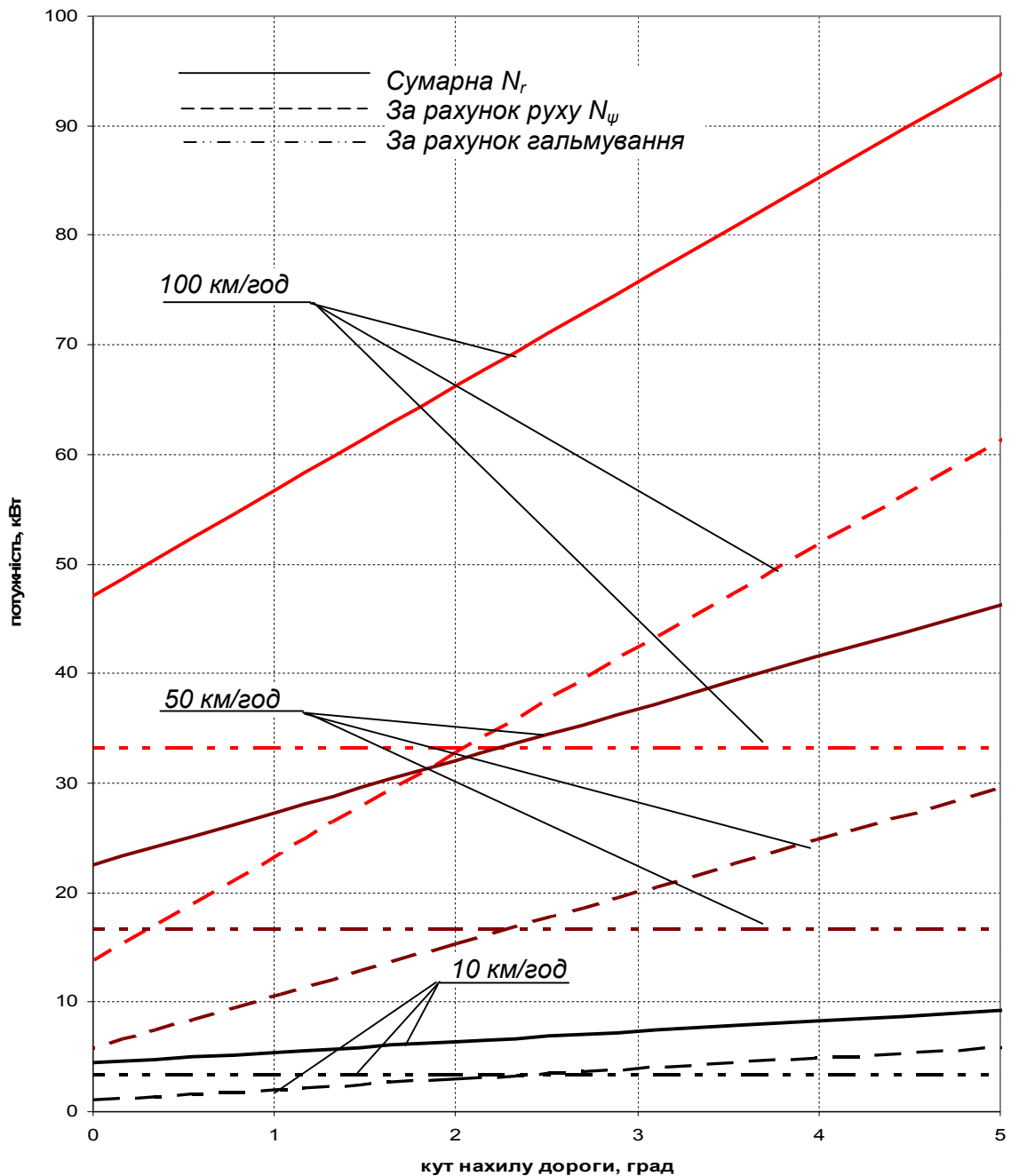


Рис. 5. Потужність рекуперації (кути нахилу дороги малі)

1. На малих швидкостях (до 30 км/год) на горизонтальній дорозі енергія може поповнюватися за рахунок гальмування, її частка складає близько 20...25 %.

2. Навіть при незначних нахилах, починаючи з 2°, складники руху та гальмування вирівнюються. Очевидно, зі збільшенням інтенсивності гальмування його частка енергії буде зростати, що підтверджується розрахунками.

Складники рекуперації показано на рис. 6.

Наприкінці доцільно навести особливості конструкції спеціалізованої патрульної машини Gefas виробництва німецької компанії Rheinmetall (див. рис. 7), яка наразі є найбільш безпечною із всіх існуючих машин [9] такого типу.

Обладнання машини, крім звичайного, включає: потужну електромагнітну установку для захисту від

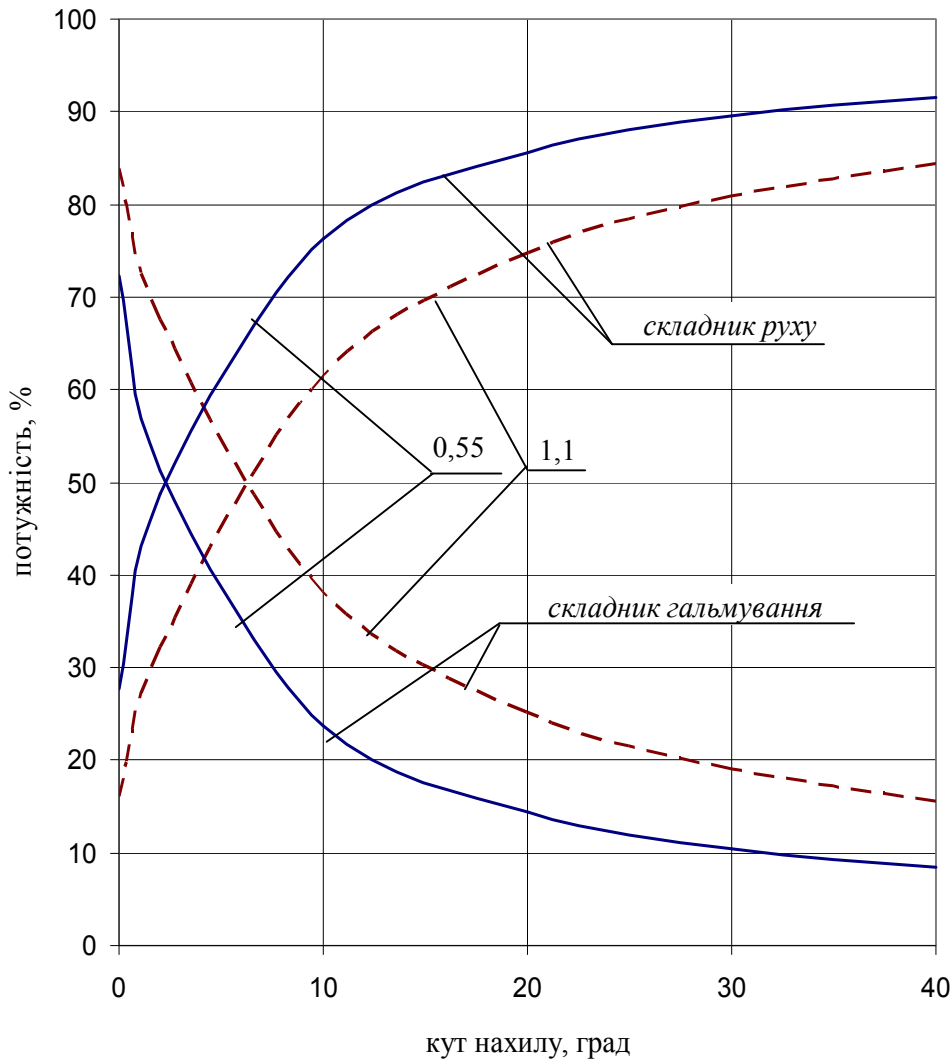


Рис. 6. Складники потужності рекуперації

ураження вибуховими речовинами; автоматизовану бойову станцію, керовану з кабіни; систему оптичних датчиків із цифровою обробкою зображення для виявлення рухомих цілей або тактичний радар; лазерно-оптичні датчики для виявлення оптичних приладів на місцевості й орієнтування в умовах зниженої видимості.

Gefas оснащений гібридним бензоелектричним двигуном. Привод у машині на всі колеса, шини обладнані системою автопідкачки. Машина розрахована на шістьох пасажирів, кожен з яких сідає в особливу капсулу, зміщену у бік стелі, що зменшує небезпеку ураження у випадку наїзду на міну.

Головна особливість броньовика Gefas – модульна конструкція. Модулі осей, пакета живлення, головного блока з'єднуються сполучними елементами, що забезпечує швидку заміну кожного модуля у разі, якщо машина отримала значні ушкодження.

Департамент оборони, національний автомобільний центр (США) відкриває програму СОМБАТТ (Commercial Based Tactical Truck) подвійного призначення й використання автомобільних технологій у департаменті оборони й комерційній автомобільній індустрії [3]. У межах цієї програми розробляється ще один армійський позашляховик з гібридним приводом – СОМБАТТ С-11 Hybrid (4x4) (див. рис. 8), спереду видно лебідку.



Рис. 7. Патрульний транспортний засіб Gefas

Один з варіантів його призначення – машина зв'язку й управління. У автомобілі встановлено генератор потужністю 12,5 кВт (тривалий режим роботи) й 30 кВт (пікове навантаження). Електродвигун забезпечує додатково 35 кВт до потужності дизеля.

Висновки

1. За будь-якої швидкості руху, якщо нахил дороги більший ніж 2° , складник руху в рекуперації превалює над іншими. На горизонтальній дорозі превалює складник на подолання інерції (розгону). Під час руху по горизонтальній дорозі з великою швидкістю превалює складник на подолання опору повітря, на другому місці – на подолання інерції.

2. Для забезпечення всіх режимів руху в заданому діапазоні кутів нахилу дороги достатньо повної потужності комбінованої енергетичної установки 100 кВт. Для руху по горизонтальній дорозі зі швидкістю 100 км/год достатньо 71 кВт, залишок 29 кВт витратиться на зарядку накопичувача електричної енергії.

3. Аналіз можливостей рекуперативного накопичення енергії показав, що на малих швидкостях (до 30 км/год) на горизонтальній дорозі енергія буде поповнюватися за рахунок гальмування, частка енергії руху невелика – 20...25%. Однак навіть при незначних нахилах, починаючи з 2° , складники руху та гальмування вирівнюються. Очевидно, з ростом інтенсивності гальмування його частка буде зростати, що підтверджується розрахунками.



Рис. 8. Позашляховик з гібридним приводом COMBAT T C-11 Hybrid (4x4)

Список використаних джерел

1. Гибридные автомобили и их компоненты (обзор зарубежной печати) // Мобильная техника. – 2003. – № 1 – 3. – С. 21.
2. Кондратенко О. П. Варіанти побудови та режими роботи транспортних засобів з гібридними силовими установками / О. П. Кондратенко // Зб. наук. пр. Акад. ВВ МВС України. – Вип. 1. – Х., 2008. – С. 64 – 69.
3. Commercially Based Tactical Truck [COMBAT T] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/combatt.htm>.
4. Shadow RST-V: дизельный гибрид военного вездехода [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://itnews.com.ua/15569.html>.
5. Гурьянов Д. И., Проблемы гибридного автобустроения / Д. И. Гурьянов, В. И. Строганов // Автотракторное электрооборудование. – 2004. – № 8. – С. 12 – 17.
6. Гурьянов Д. И. Сравнительная оценка трансмиссий гибридного автомобиля / Д. И. Гурьянов, В. И. Строганов // Автотракторное электрооборудование. – 2004. – № 5. – С. 21 – 29.
7. Теория и расчет тягового привода автомобилей / И. С. Ефремов, А. П. Пролыгин, Ю. М. Андреев, А. Б. Миндлин. – М.: Высш. шк., 1984. – С. 384.
8. Вахламов В. К. Автомобили: Конструкция и элементы расчета [учеб. для студ. высш. учеб. заведений]. – М.: Издат. Центр “Академия”, 2006. – С. 231.
9. Vehicle Propulsion Systems – Product Specifications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sales@uqm.com>.

Стаття надійшла до редакції 19.11.2009 р.