

УДК 629.437 (075)

С. П. Мазін, В. М. Франков, О. В. Пархомчук

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК І ТРАНСМІСІЙ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЯ З ГІБРИДНОЮ СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ СПЕЦПІДРОЗДІЛІВ ВВ МВС УКРАЇНИ

Розглянуто пропозиції щодо нової кінематичної схеми автомобіля з гібридною силовою установкою для спецпідрозділів ВВ МВС України, наведено результати теоретичних досліджень залежності шляху руху тільки на акумуляторній батареї від її ємності.

Основні відзнаки машини: економна експлуатація; менше зношування гальмових колодок; зменшення об'єму й потужності двигуна; робота двигуна в оптимальному й рівномірному режимі у меншій залежності від умов їзди; повна зупинка двигуна, коли це необхідно; можливість безшумного руху тільки на електродвигунах; рекуперативне гальмування із зарядкою акумулятора.

Постановка проблеми. Одним з основних напрямків удосконалення силових установок і трансмісій сьогодні є поєднання в одному автомобілі двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), електромотора-генератора і потужної акумуляторної батареї (АКБ). Такі автомобілі називають гібридними.

Застосовують дві основні схеми гібридних силових установок (рис. 1) – послідовну й паралельну. У першій ДВЗ приводить у дію генератор, а тягові електромотори обертають колеса. В “паралельних” гібридах колеса обертають як електромотор, так і ДВЗ. Така схема поки домінує, хоча, на відміну від послідовної, обтяжена традиційною трансмісією. Проте ДВЗ гібрида працює у найбільш оптимальному режимі і не витрачає безповоротно енергію під час гальмування.

Наукова невизначеність проблеми полягає у відсутності реальних кінематичних схем і методик розрахунку характеристик автомобіля з гібридною силовою установкою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За паралельною схемою “Тойота” ще у 1997 р. сконструювала модель “Приус” – перший дійсно масовий гібрид, що входить у трійку найекономічніших у світі машин [1, 2, 3]. Під капотом “Приуса” 1,5-літровий 72-сильний бензиновий двигун з високим ступенем стиску. Працює він у режимі, що має максимум 4500 об/хв. Нікельметалгідридна батарея змонтована за заднім сидінням і живить 33-кіловатний електромотор.

У режимах жвавого розгону двигуни працюють одночасно, під час спокійної їзди працює ДВЗ, а рух з місця й розгін до 16 км/год забезпечує електромотор. “Приус” розвиває цілком пристойну (150 км/год) швидкість, викидає в атмосферу на 80 % менше шкідливих речовин, витрачає в середньому трохи більше 4,5 л бензина на 100 км. На моделі встановлено 68-сильний синхронний електродвигун на постійних магнітах.

Силовою установкою перелік ноу-хау “Приус” не закінчується. Уперше в гібридній машині перемикання в режимі електродвигуна здійснюється одним натисканням кнопки. Застосовано й принципово нову, повністю електронну систему кондиціонування, що працює незалежно від двигуна (у неї є свій електромотор), що дозволяє значно зменшити витрату пального.

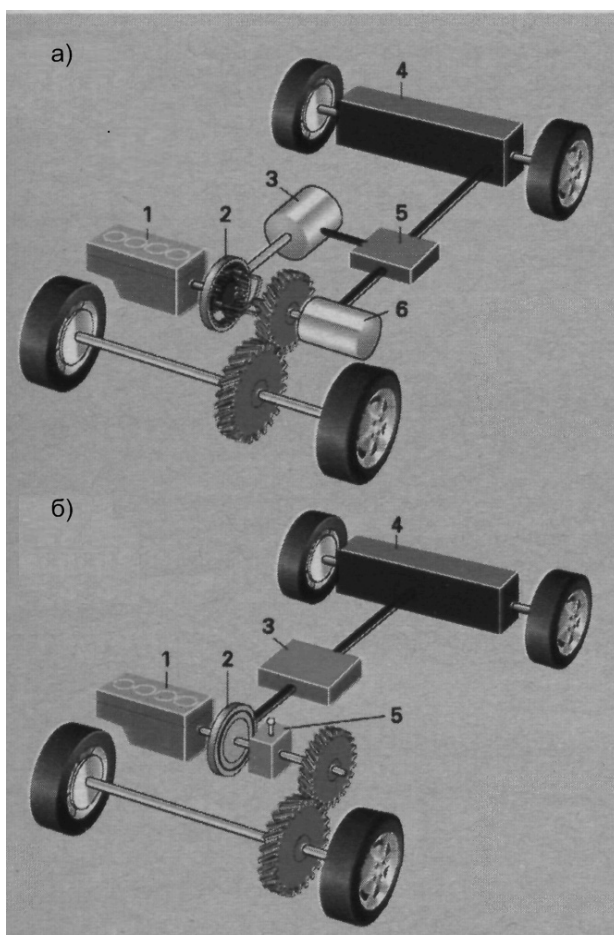


Рис. 1. Схеми гібридних силових установок: а) паралельна (1 – ДВЗ; 2 – планетарна передача; 3 – генератор; 4 – акумулятори; 5 – інвертор; 6 – електромотор); б) послідовна (1 – ДВЗ; 2 – електромотор-генератор; 3 – блок керування; 4 – акумулятори; 5 – коробка передач)

“Приус” оснащений ABS, EBD і новітньою версією системи стабілізації руху VSC+, які роблять рух по будь-якій поверхні рівним і безпечним.

Окрім японських фірм розробкою і виготовленням гібридних автомобілів займаються також Volvo, BMW, General Motors, Citroen, AUDI. Інтерес закордонних фірм пояснюється тим, що автомобілі з гібридними силовими установками мають переваги над звичайними: економна експлуатація; менше зношування гальмових колодок; зменшення об'єму й потужності двигуна; робота двигуна в оптимальному й рівномірному режимі, у набагато меншій залежності від умов їзди; повна зупинка двигуна, коли це необхідно; можливість безшумного руху на електродвигунах; рекуперативне гальмування із зарядкою акумулятора.

Усе зазначене свідчить про актуальність робіт, спрямованих на створення автомобіля з гібридною силовою установкою для спецпідрозділів ВВ МВС України. Водночас існуюча інформація є загальною і не дає уяви про те, як розрахувати і виконати конструювання механічної частини трансмісії спеціального автомобіля з гібридною силовою установкою.

Метою статті є розроблення кінематичних схем трансмісій військових автомобілів з гібридною силовою установкою, а також визначення конструктивних параметрів агрегатів трансмісії і автомобіля в цілому.

Виклад основного матеріалу. Авторами було сформульовано і вирішено дві наукові задачі: розроблення кінематичних схем трансмісій військових автомобілів з гібридною силовою установкою; теоретичні дослідження залежності параметрів електричного приводу трансмісії від експлуатаційних показників.

Схеми враховують можливість руху на певні відстані тільки на електродвигуні з метою максимального зниження рівня шумів автомобіля, такий рух умовно названий нами “прихованим”. Він забезпечуватиме несподіваність дій проти озброєних угруповань, наприклад вночі.

Кінематичні схеми також передбачають максимально просту конструкцію військового автомобіля та забезпечують максимально можливу економію пального.

Схема (рис. 2) з приводом на задній та передній мости призначена для командно-штабних машин, двовісних автобусів та автомобілів підвищеної прохідності. До складу запропонованої трансмісії

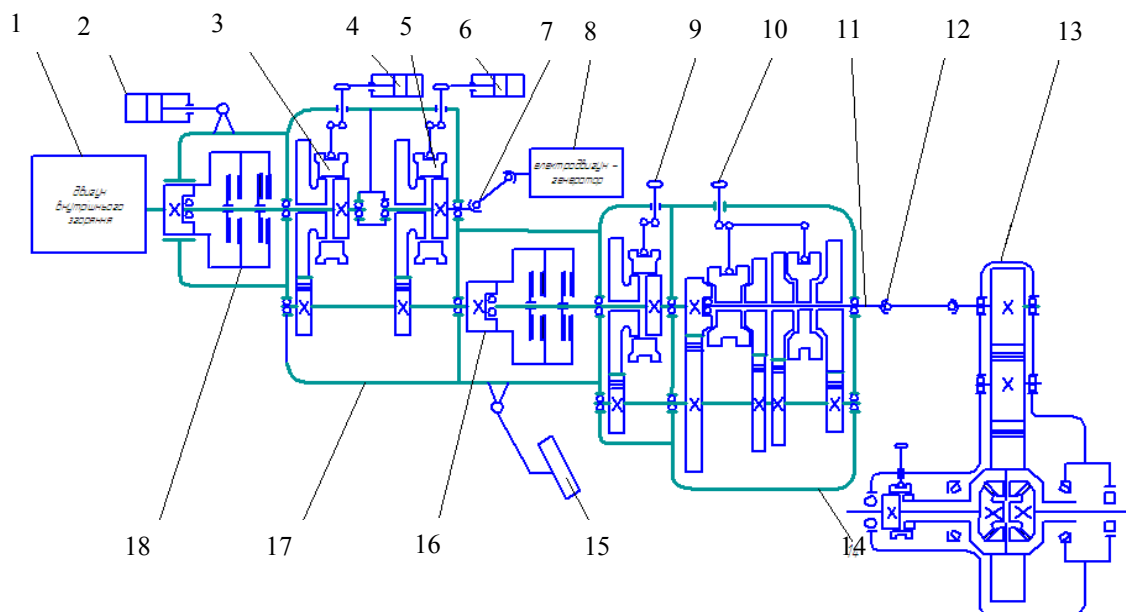


Рис. 2. Кінематична схема гібридного автомобіля з приводом на задній та передній мости: 1 – ДВЗ; 2 – гідролінійний циліндр дистанційного вмикання-вимикання зчеплення 18; 3 – синхронізатор; 4 – гідролінійний циліндр дистанційного вмикання-вимикання синхронізатора 3; 5 – синхронізатор; 6 – гідролінійний циліндр дистанційного вмикання-вимикання синхронізатора 5; 7 – карданний вал; 8 – електродвигун-електрогенератор; 9, 10 – важелі керування коробкою передач; 11 – вторинний вал коробки передач; 12 – карданний вал; 13 – розподільча коробка з симетричним диференціалом; 14 – коробка передач; 15 – педаль зчеплення; 16 – зчеплення коробки передач; 17 – розподільча коробка; 18 – зчеплення ДВЗ

входять ДВЗ 1, котрий через фрикційне зчеплення 18 приєднано до розподільної коробки 17. Розподільну коробку 17, в свою чергу, через фрикційне зчеплення 16 приєднано до коробки передач 14, вторинний вал 11 якої карданним валом 12 поєднано з міжосьовою розподільною коробкою 13 з симетричним конічним диференціалом. До розподільної коробки 17 карданним валом 7 приєднано електродвигун-електрогенератор 8. Вимикання та вмикання зчеплення 18 виконується дистанційно за допомогою гідравлічного циліндра 2. Вимикання та вмикання зчеплення 16 виконує водій, завдяки педалі 15. Вимикання та вмикання синхронізатора 3 виконується дистанційно за допомогою гідравлічного циліндра 4. Вимикання та вмикання синхронізатора 5 виконується дистанційно за допомогою гідравлічного циліндра 6. Водій керує коробкою передач 5 завдяки важелям 9 та 10.

Розподіл обертових моментів між ведучими мостами виконується, як у існуючих автомобілях.

Трансмісія гібридного автомобіля працює в таких режимах.

1. Рух з місця, “прихований рух”, рух на перехрестях, рух з відносно малими швидкостями (до 15 км/год) – працює електрична машина в режимі електродвигуна, при цьому: зчеплення 18, завдяки гідроциліндру 2, вимкнене; синхронізатор 5, завдяки гідроциліндру 6, включений; синхронізатор 3, завдяки гідроциліндру 4, вимкнений.

Обертовий момент передається від електродвигуна 8 карданним валом 7 через синхронізатор 5 та відповідну зубчасту пару до зчеплення 16. Далі розподіл і передавання моменту відбувається традиційними засобами, як у звичайних автомобілів з механічною трансмісією.

2. Рух з підвищеними тягово-динамічними властивостями за рахунок поєднання потужностей ДВЗ та електричного мотору. Потужність силового агрегата, максимальні швидкість та прискорення автомобіля суттєво збільшуються, що важливо для військового автомобіля. В цьому режимі: зчеплення 18, завдяки гідроциліндру 2, включене; синхронізатор 5, завдяки гідроциліндру 6, включений; синхронізатор 3, завдяки гідроциліндру 4, включений.

3. Рух по трасі на значні відстані – працює тільки ДВЗ. В цьому режимі: зчеплення 18, завдяки гідроциліндру 2, включене; синхронізатор 5, завдяки гідроциліндру 6, вимкнений; синхронізатор 3, завдяки гідроциліндру 4, включений.

Процес керування зазначеними режимами забезпечують електронні системи.

Розподільна коробка, що пропонується (рис. 3), складається з картера 4, у якому розташовано вал 1 приводу ДВЗ, вал 13 приводу електродвигуна, вал 23 приводу коробки передач. Вал 1 закріплений у підшипниках 3 та 7, вал 13 – у підшипниках 8 та 12, вал 23 – у підшипниках 18 та 28. Шестерні 5 та 11 вільно обертаються на бронзових втулках 10. На шліцах вала 1 розташовано синхронізатор 6, а на шліцах вала 13 – синхронізатор 9. Від осевого зміщення вал 1 утримується гайкою 29, а вал 13 – гайкою 17. Вал 1 ущільнюється гумовими самопідтискними сальниками 2, а вал 13 – сальниками 14. Зовнішні кільця підшипників утримуються кришками 30, 16, 19 та 27. На вихідному кінці вала 13 на шліцах встановлено фланець карданної передачі 15 електродвигуна. На валу 23 встановлено шестерні 21 та 24, які утримуються від прокручування шпонками 22, 26. Кришки підшипників утримуються болтами 20, 25.

Розташування розподільної коробки гібридної трансмісії в системі силових агрегатів наведено на рис. 4.

Певний інтерес для військового автомобіля, з точки зору безшумного руху, становить відстань, яку він може подолати з вимкненим ДВЗ, тобто за рахунок енергії АКБ. У науковій літературі [2 – 5] відповіді на таке питання немає. Тому ця задача вирішувалась авторами статті.

У теоретичних дослідженнях було враховано такі вихідні експлуатаційні параметри: швидкість автомобіля, повна маса автомобіля, кут нахилу дороги, вид покриття дороги.

Маючи на увазі незначні швидкості руху автомобіля на АКБ, не враховано вплив сили опору повітря

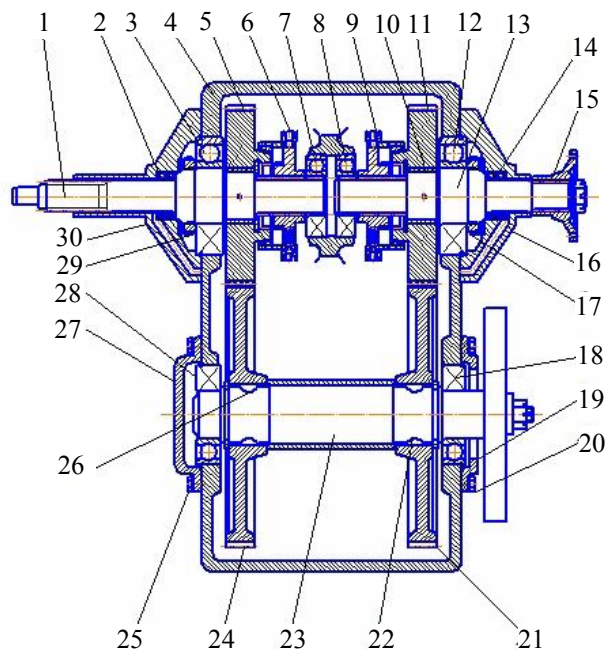


Рис. 3 Розподільна коробка гібридної трансмісії

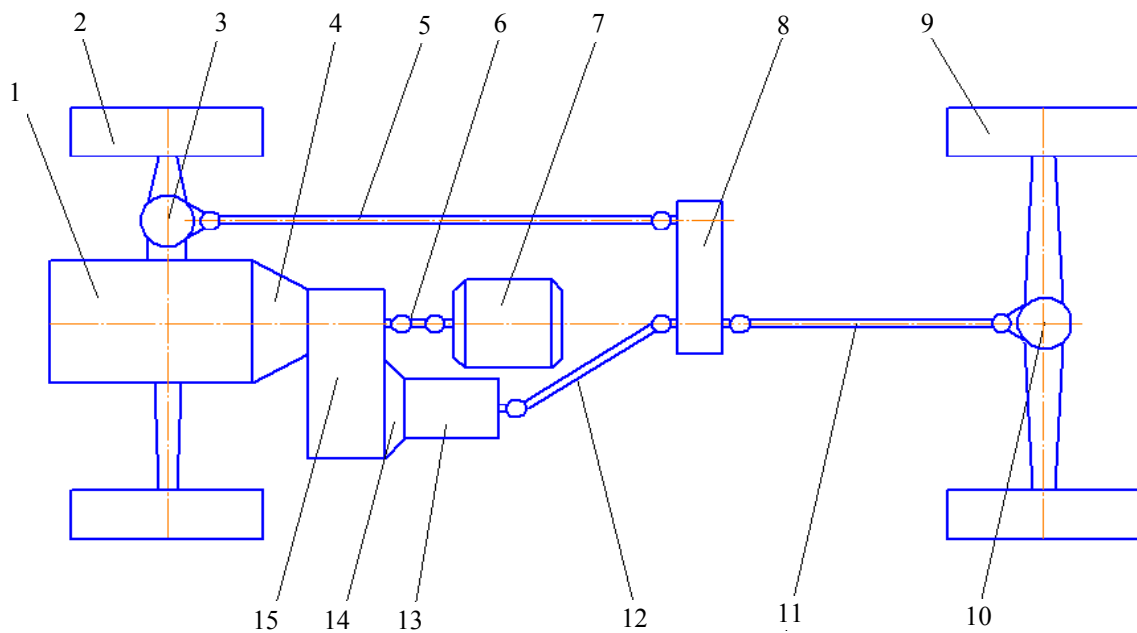


Рис. 4. Розташування розподільної коробки гібридної трансмісії в системі силових агрегатів командно-штабного автомобіля підвищеної прохідності: 1 – двигун внутрішнього згоряння; 2 – переднє колесо; 3 – передній ведучий міст; 4 – зчеплення ДВЗ; 5 – карданний вал переднього ведучого мосту; 6 – карданний вал електромотора; 7 – електромотор-генератор; 8 – розподільна коробка; 9 – заднє колесо; 10 – задній ведучий міст; 11 – карданний вал заднього ведучого мосту; 12 – карданний вал коробки передач; 13 – коробка передач; 14 – зчеплення коробки передач; 15 – розподільна коробка гібридної трансмісії

та прискорень.

Потужність електродвигуна, в залежності від наведених експлуатаційних параметрів, визначається за формулою

$$N_{ed} = \frac{V_a \cdot G_a \cdot \psi}{\eta_{mp}} \text{ [Вт]}, \quad (1)$$

де V_a – швидкість автомобіля, м/с; G_a – сила тяжіння автомобіля, Н; ψ – коефіцієнт опору дороги; η_{mp} – коефіцієнт корисної дії трансмісії.

Для більш наглядного сприйняття результатів досліджень, швидкість автомобіля будемо обчислювати у км /год. Таким чином, маємо

$$V_a = \frac{V_{км/год}}{3,6} \text{ [м/с]}, \quad (2)$$

де $V_{км/год}$ – швидкість автомобіля у км /год.

Сила ваги автомобіля визначається за формулою

$$G_a = m_a \cdot g, \quad (3)$$

де m_a – повна маса автомобіля, кг; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Коефіцієнт опору дороги визначається за формулою

$$\psi = f + \sin \alpha, \quad (4)$$

де f – коефіцієнт опору коченню; α – кут нахилу дороги.

Сила електричного струму визначається за формулою

$$I_{ed} = \frac{N_{ed}}{U_{АКБ}} \text{ [А]}, \quad (5)$$

де $U_{АКБ}$ – електрична напруга акумуляторної батареї, В.

Час руху автомобіля за рахунок енергії АКБ визначається за формулою

$$t = \frac{C_{AKB}}{I_{e0}}, \quad (6)$$

де C_{AKB} – ємність акумуляторної батареї, А·год.

Відстань, яку може подолати автомобіль за рахунок енергії АКБ, визначається за формулою

$$S_{AKB} = V_{км/год} \cdot t. \quad (7)$$

З урахуванням (2 – 4) підставляємо значення потужності з (1) у (5)

$$I_{e0} = \frac{V_{км/год} \cdot m_a \cdot g \cdot (f + \sin \alpha)}{3,6 \cdot \eta_{mp} \cdot U_{AKB}}. \quad (8)$$

Значення сили електричного струму з (8) підставляємо у (6). Отримаємо нову формулу визначення часу руху автомобіля за рахунок енергії АКБ

$$t = \frac{C_{AKB} \cdot 3,6 \cdot \eta_{mp} \cdot U_{AKB}}{V_{км/год} \cdot m_a \cdot g \cdot (f + \sin \alpha)}. \quad (9)$$

Значення часу руху автомобіля за рахунок енергії АКБ з (9) підставляємо у (7). Отримаємо шукану формулу відстані, яку може подолати автомобіль за рахунок енергії АКБ

$$S_{AKB} = \frac{3,6 \cdot C_{AKB} \cdot \eta_{mp} \cdot U_{AKB}}{m_a \cdot g \cdot (f + \sin \alpha)}. \quad (10)$$

Прототипом автомобіля, що розробляємо, вважатимемо автобус особливо малого класу УАЗ-452В.

Для першого варіанта теоретичних досліджень приймаємо: швидкість руху автомобіля на АКБ – 10 км /год; повну масу автомобіля – 2690 кг; потужність двигуна – 55,2 кВт, якщо 4000 хв^{-1} (420 с^{-1}); кут нахилу дороги – 15° ; вид покриття дороги – асфальт.

Першим параметром АКБ приймаємо 10 акумуляторів, кожний з яких має ємність 90 А·год і напругу 12 В. Таким чином, ємність АКБ дорівнює 90 А·год, а загальна напруга 120 В.

Відстань, яку може подолати автомобіль за рахунок енергії АКБ за формулою (10), дорівнюватиме

$$S_{AKB} = \frac{3,6 \cdot C_{AKB} \cdot \eta_{mp} \cdot U_{AKB}}{m_a \cdot g \cdot (f + \sin \alpha)} = \frac{3,6 \cdot 90 \cdot 0,9 \cdot 120}{2690 \cdot 9,8 \cdot (0,02 + 0,258)} = 4,77 \text{ км.}$$

Потужність електродвигуна, в залежності від наведених експлуатаційних параметрів, визначаємо за формулою (1)

$$N_{e0} = \frac{V_{км/год} \cdot m_a \cdot g \cdot (f + \sin \alpha)}{3,6 \cdot \eta_{mp}} = \frac{10 \cdot 2690 \cdot 9,8 \cdot (0,02 + 0,258)}{3,6 \cdot 0,9} = 22619 \text{ Вт.}$$

У результаті проведених досліджень запропоновано нову конструкцію військового автобуса підвищеної прохідності з гібридною силовою установкою (рис. 5).

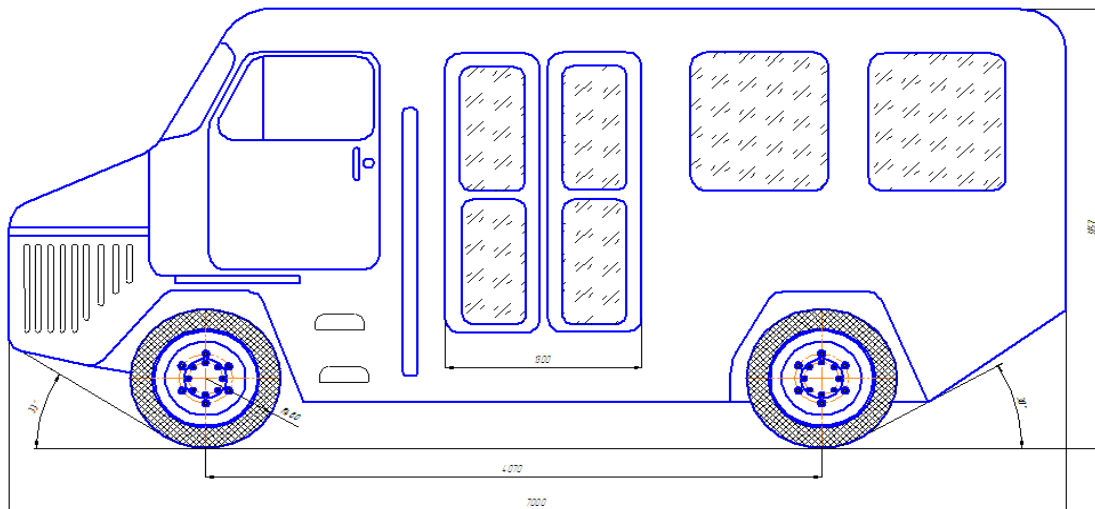


Рис. 5 Автобус підвищеної прохідності з гібридною трансмісією

Висновки

1. Теоретичними дослідженнями визначено:
 - залежність відстані, яку може подолати автомобіль з вимкненим ДВЗ, від ємності АКБ є прямопропорційною;
 - швидкість руху автомобіля (до 15 км/год) не впливає на відстань, яку може подолати автомобіль з вимкненим ДВЗ;
 - швидкість руху автомобіля суттєво впливає на необхідну потужність електродвигуна, на відносно малих швидкостях вона прямопропорційна потужності;
 - метою подальших досліджень доцільно вважати визначення впливу потужності електродвигуна на тягові властивості автомобіля у випадку його сумісної роботи з ДВЗ.
2. Перевагами запропонованої конструкції є:
 - економія пального в умовах міста до 35 %;
 - в умовах міст автомобіль до 40 % часу працює без шкідливих викидів, тобто на електроприводі;
 - суттєве зниження необхідної потужності ДВЗ;
 - збільшення максимальної швидкості, здатність до швидкого розгону;
 - здатність накопичувати енергію, не витрачати кінетичну енергію руху під час гальмування;
 - зменшене зношування гальмівних колодок;
 - двигун працює в оптимальному й рівномірному режимі, у набагато меншій залежності від умов руху;
 - повна зупинка роботи ДВЗ на перехрестях доріг та в автомобільних пробках, можливість руху тільки на електроприводі.

Список використаних джерел

1. За рулем. – 2001. – № 11.
2. Бухарин Н. А. Автомобили / Н. А. Бухарин, В. С. Прозоров, Н. М. Щукин. – М. – Л.: Машиностроение, 1965. – 484 с.: ил.
3. Проектирование трансмиссий автомобилей: справ. / под общ. ред. А. И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
4. Электромеханические передачи / П. Н. Иваненко и др. – Л.: Машгиз, 1962. – 431 с.
5. Лебедев С. П. Электропередачи в самоходных машинах / С. П. Лебедев. – М., 1961. – 223 с.

Стаття надійшла до редакції 17.10.2009 р.