

УДК 629.133.001

АНАЛІЗ НАЯВНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ФОРМУВАННЯ СХЕМИ ГІБРИДНОГО ПРИВОДУ КОЛІСНОЇ АВТОТЕХНІКИ ВИСОКОЇ ПРОХІДНОСТІ

Андрій Кіхтан, аспірант

*Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна
e-mail: kwest@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.061>

Кіхтан А. Аналіз наявних конструкцій та формування схеми гібридного приводу колісної автотехніки високої прохідності

Гібридний привід стає уже одним із серійних елементів нового, 4-го покоління колісної та гусеничної військової автотехніки (ВАТ). Однак як умови використання (бездоріжжя), так і цільові пріоритети використання гібридного приводу (мінімізація звукової та інфрачервоної локації переміщення тепловізорами ворога) кардинально відрізняються від уже звичних гібридних автомобілів загального призначення. Окрім того, в польових умовах автомобіль із гібридним приводом часто може бути і джерелом електроенергії для забезпечення підрозділу за відсутності стаціонарних електромереж.

Умови руху з бездоріжжям додатково обумовлюють певні вимоги до характеристик гібридного приводу – збільшується у декілька разів опір рухові, значно більші вимоги щодо запасу автономного ходу на електротязі з вимкнутим двигуном внутрішнього згорання та відповідній ємності батарей. Окрім цього, вимоги щодо проїзду водних перешкод – глибиною до 0,8-1,2 м, що обумовлює додаткові обмеження щодо забудови електроприводу.

Відповідно це накладає визначальний вплив на схеми та технічні характеристики приводу, що тільки зараз приймається на озброєння, із значним запізненням порівняно зі звичними гібридними автомобілями загального призначення. Зрозуміла обмеженість інформації у загальнодоступних джерелах власне щодо схем та технічних характеристик гібридного приводу ВАТ обумовила і розгляд та аналіз доступних патентів у цій сфері провідних виробників автотехніки, а також публікацій щодо випробувань та оцінки ефективності конкретних моделей, з аналізу яких випливає і схема приводу. Важливим є також живучість ВАТ – збереження можливості руху при виході з ладу тягового електроприводу або двигуна внутрішнього згорання. Відповідно опрацьовано два варіанти схем приводу (патентно чистих) для перспективних зразків вітчизняної ВАТ, що є актуальним і для аграрного та інших секторів економіки. Опрацьовані дві схеми приводу у процесі патентування.

Ключові слова: гібридний привід, автотехніка, висока прохідність, патенти, схеми приводу, патенти схем приводу.

Kikhtan A. Analysis of existing designs and formation of a hybrid drive scheme for wheeled off-road vehicles

The hybrid drive is already an essential feature of the new fourth-generation wheeled and tracked military vehicles (MVs). However, the conditions for off-road use and the primary goals of employing a hybrid drive - such as minimizing sound and reducing infrared signatures to avoid detection by enemy thermal imagers - differ significantly from those of conventional hybrid vehicles designed for general purposes. Additionally, in field positions, a vehicle with a hybrid drive can serve as a source of exported electricity to support units when stationary power networks are unavailable.

Driving in off-road conditions imposes specific requirements on the hybrid drive's characteristics. Resistance to movement increases considerably, necessitating a higher electric-only range when the internal combustion engine is not in use, as well as a larger battery capacity to meet these demands. Furthermore, engineers must account for the capability to traverse water obstacles up to 0.8 to 1.2 meters deep, which imposes additional design constraints on the electric drive system.

As a result, these factors heavily influence the design and technical specifications of the drive, which are only now being developed, lagging behind the designs of conventional hybrid vehicles. The limited availability of public information regarding the schematics and technical details of hybrid drives in military vehicles prompted an analysis of existing patents from leading automotive manufacturers, as well as published tests and evaluations of specific models. This investigation provided valuable insights into drive schematics.

The survivability of military vehicles is crucial; they must maintain mobility despite failures in either the electric traction drive or the internal combustion engine. Accordingly, two patent-free versions of drive schematics have been developed for prospective national military vehicle models, which are also applicable to the agricultural and other sectors of the economy. These two drive schemes are currently in the process of being patented.

Keywords: hybrid drive, automotive engineering, high cross-country capability, patents, drive schematics.

Постановка проблеми. Роботи з гібридного приводу військової автотехніки (ВАТ) провідними виробниками були розпочаті практично одночасно з роботами з автотехніки зага-

льного призначення, однак практична реалізація машин з гібридним приводом у військах тільки розпочинається, із значним 12-15 річним запізненням, що обумовлено як суттєво іншими умовами використання (насамперед бездоріжжя і максимальна мобільність руху), так і іншими цільовими пріоритетами [1-3]. Це насамперед забезпечення руху (зокрема бездоріжжя, форсування водних перешкод, круті ґрунтови/піщані підйоми тощо) тільки на електротязі, звично на обмеженій дистанції, що обумовлено умовою мінімізації локації руху машини тепловізорами противника. До того ж, це можливість забезпечення підзарядки акумуляторних батарей тільки двигуном внутрішнього згорання у польових умовах відсутності електромереж, а також, аналогічно, як джерело ефектнопостачання для систем зв'язку та інших споживачів. Окрім цього, віднедавна і підвищення живучості, здатності принаймні обмеженого переміщення машини після отриманих пошкоджень систем і агрегатів приводу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження у сфері гібридного приводу автомобілів загального призначення сконцентровані насамперед на забезпеченні максимальної енергоефективності:

– зменшенні споживання моторного палива та, відповідно, викидів токсичних компонентів у відпрацьованих газах, як основних чинників впровадження і розвитку цього типу силового приводу [5-7]. Пріоритети використання цього приводу у ВАТ, однак, як зазначено вище, суттєво відрізняються, що обумовлює й відповідні зміни у методології як конструктивного синтезу, так і визначення базових технічних характеристик приводу [1; 2; 7-9]. Водночас, як у інформаційних матеріалах фірм-виробників та державних агенцій з розвитку озброєння та військової техніки провідних країн НАТО, що фінансують розробки ВАТ з гібридним приводом, відсутня інформація щодо конкретної схеми самого приводу та технічних характеристик (як-от інформаційні матеріали по вже віднедавна прийнятих на озброєння машин із гібридним приводом у найчисленнішій структурі сучасного парку ВАТ категорії – Oshkosh – eJLTV у США [10] та Scarabeu у Франції [11]). Згідно з [12] схема приводу Oshkosh – eJLTV є оригінальною і патентно захищеною. Власне аналіз доступних патентів автовиробників щодо схем гібридного приводу і є основою для опрацювання відповідних рішень щодо конструктивного синтезу перспективної вітчизняної розробки.

Постановка завдання. Наше завдання – опрацювання схем гібридного приводу для перспективної ВАТ вітчизняного виробництва

на основі аналізу наявних патентів, сфери та умов використання і дотримання патентної чистоти розробки.

Виклад основного матеріалу. Встановлено, що звична для легкових автомобілів та повнопривідних кросоверів загального призначення паралельна схема гібридного приводу є недостатньо ефективною власне з умови необхідної мобільності руху важким бездоріжжям тільки на електротязі. Порівняльний аналіз схем приводу серійних автомобілів/кросоверів та автобусів [7] дозволяє констатувати прийнятним використання схеми приводу Toyota Prius, як проміжного етапу в конструкції легкого ударного автомобіля переднього краю – військового баггі ТУР КВ 02 «Мамай» (в умовах нагальної потреби військових на фронті і наданого Toyota вільного доступу до власних запатентованих схем приводу). Однак для перспективних повнопривідних моделей ВАТ вітчизняного виробництва для ЗСУ, насамперед машин важчих класів, природно ця схема є недостатньою.

Важке бездоріжжя, чорноземи, в умовах відлиги чи тривалих дощів обумовлюють доцільність і варіанта змішаної схеми приводу (mish-hybrid) з одночасним використанням двигуна внутрішнього згорання та тягового електродвигуна для приводу провідних коліс. У цьому плані практичний інтерес має аналіз відомих запатентованих рішень провідних автовиробників, які можна поділити на декілька підвидів.

Зокрема ця ж схема Toyota Prius (патент EP 2743114A1 від 14.12.2012 р.) (рис. 1) належить до схем змішаного силового потоку з можливістю одночасного використання тяги електродвигуна і двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) з приводом через одинарний планетарний ряд (так зв. схема 1-Mode). Практично за подібною схемою є і розробка Ford (патент EP 2067646 від 04.12.2007 р.), рис. 2. Однак обидві схеми опрацьовані під монопривід – одну ведучу вісь, що допустимо з умов прохідності для надлегких автомобілів – баггі заднемоторної компоновки [1], але не адаптується в існуючому виконанні під повний привід.

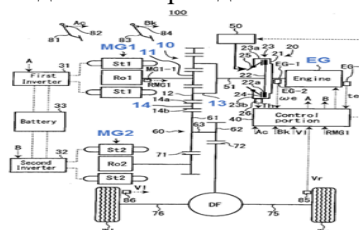


Рис. 1. Схема змішаного приводу Toyota/Aisin (пат. EP 2743114A1)

Fig. 1. Toyota/Aisin mish-hybrid drive scheme (pat. EP 2743114A1)

- EG – двигун внутрішнього згоряння
- MG1 – перший електродвигун/генератор
- MG2 – другий електродвигун/генератор
- 10 – планетарний ряд
- 11 – сонячна шестерня
- 13 – водило
- 14 – коронна шестерня

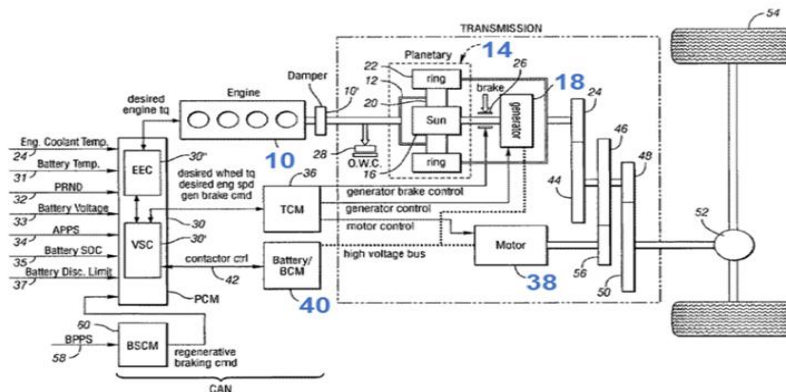


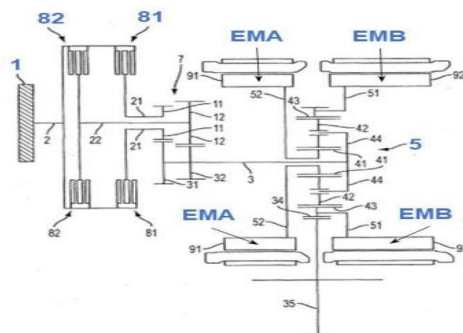
Рис. 2. Схема гібридного змішаного приводу Ford (пат. EP 2067646A1)

Fig. 2. Ford mish-hybrid drive scheme (pat. EP 2067646A1)

де: 10 – ДВЗ; 14 – планетарний ряд; 18 – ел. двигун/генератор; 38 – ел. двигун; 40 – АКБ

У цьому плані більш перспективна схема з 2 планетарними рядами (схема 2-Mode) – розробка Daimler/Chrysler (патент EP 2616712A1 від 15.09.2010 р.), рис. 3. У цьому випадку другий планетарний ряд 5 використовується із здвоєним фрикційним зчепленням 81, 82 для синхронізації роботи двигуна внутрішнього згоряння 1 з електродвигунами у зоні наднизьких та високих частот обертання. Однак схема

здвоєного планетарного ряду потенційно (при відповідних змінах структури приводу) дає можливість реалізації і щодо колісної схеми повного приводу. Проблемною залишається зміна структури під перехід на схему послідовного приводу з режимом руху на електротязі при непрацюючому двигуні внутрішнього згоряння.



- 1 – маховик ДВЗ
- 5 – планетарний редуктор
- 81, 82 – фрикційні зчеплення
- EMA, EMB – електродвигуни

Рис. 3. Схема гібридного приводу Daimler/Chrysler (пат. EP 2617646A1)

Fig. 3. Daimler/Chrysler mish-hybrid drive scheme (pat. EP 2617646A1)

Проблема переходу від змішаної до послідовної схем приводу практично усувається, якщо суміщення роботи двигуна внутрішнього згоряння і тягового електродвигуна здійснюється не через планетарні механізми, а через фрикційне зчеплення при послідовному розміщенні агрегатів приводу (зчеплення, однак, при послідовній схемі приводу має бути постійно вимкнуте, що не є звичним режимом роботи для класичної автомобільної конструкції). Окрім цього, проблемною залишається суміщення/синхронізація частот обертання валів ДВЗ та елек-

тродвигуна в зоні менше 700-800 об/хв (неробоча для ДВЗ), актуальних для руху бездоріжжям на малих швидкостях (за відсутності коробки передач для ДВЗ). Відповідно серійно реалізована схема суміщення послідовної і змішаної схем приводу (Parallel-Series-Hybrid) дозволяє перехід на підключення ДВЗ до приводу коліс тільки у зоні відповідних швидкостей, рис.4 (патент Honda EP 2944495 від 11.01.2013 р.). (Тут: 115 – зчеплення; 129 – ведучі колеса; 101 – акумулятор; 109 – ДВЗ; 111- генератор; 107 – електродвигун; INV – інвертор).

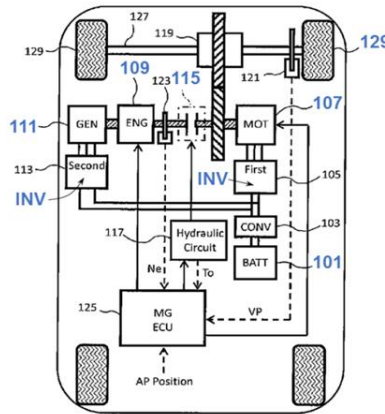


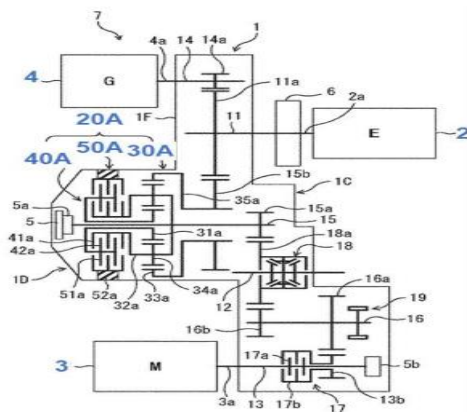
Рис. 4. Схема послідовно-паралельного гібридного приводу Honda (пат. EP 2944495)
Fig. 4. Honda parallel-serial-hybrid drive scheme (pat. EP 2944495)

Практично ця ж схема реалізована і в іншій розробці Honda – патенті EP 2792540 від 12.12.2011 р. – з відмінністю підключення ДВЗ уже через муфту вільного ходу замість зчеплення, що покращило синхронізацію частот обертання валів обох двигунів при переході знову ж таки у зоні умовно 5-ї передачі на змішану схему приводу для забезпечення задекларованих максимальних швидкостей руху при недостатній для цього потужності електродвигуна. Патентні та промислові розробки інших автовиробників у сфері змішаної схеми приводу сконцентровані у конструкціях роздільного приводу осей (combined axle) – однієї осі від тягового електродвигуна, іншої – від ДВЗ, з трансмісією та генератором. Відповідно це забезпечує рух як окремо – тільки від електродвигуна чи тільки від ДВЗ, так і спільно – при синхронізованій одночасній роботі обох двигунів і фактично переходу на повний привід. Зокрема це конструкції Peugeot-Citroen (пат. EP 3312036Ф1 від 19.10.2016 р.), а ще раніше Nissan (пат. EP 1342610A1 від 04.03.2002 р.) та Audi/ VW – як так званий електрокардан повного приводу (пат. EP 3383685A1 від

04.12.2015 р.). Окремо необхідно виділити Mitsubishi – патенти EP 3296134 від 15.09.2016 р., EP 3453551A1 від 13.06.2016 р. та EP 3238971A1, а також Honda (EP 3085593A1 від 17.12.2013 р., EP 3437909A1 від 29.03.2016 р. та EP 3480492A1 від 30.06.2016 р.).

З умов використання ВАТ, зрештою і використання в аграрній, лісогосподарській чи ремонтній сферах, на бездоріжжі ця схема роздільного приводу (combined axle) забезпечує порівняно з класичним послідовним (seriell) приводом більшу живучість ходу – збереження мобільності, звично обмеженої, у випадку виходу з ладу тягового електродвигуна за рахунок ДВЗ чи навпаки. Відповідно це обумовлює необхідність детальнішого розгляду вищезазначених патентних розробок, насамперед Mitsubishi, як безпосереднього виробника ВАТ (рис. 5).

Ця схема дозволяє автономний рух тільки на електроприводі або тільки з використанням ДВЗ, зберігаючи і можливість одночасної роботи двигунів (і генератора) з використанням планетарного ряду та управління ним фрикціями і стрічковим гальмом (рис. 5).



- 2 – двигун внутрішнього згоряння
- 4 – генератор
- 3 – тяговий електродвигун
- 20A – механіка приводу
- 30A – планетарний редуктор
- 40A – фрикціон (зчеплення)
- 50A – стрічкове гальмо

Рис. 5. Паралельно-послідовна схема приводу Mitsubishi (пат. EP 3453551)
Fig. 5. Mitsubishi parallel-serial-hybrid drive scheme (pat. EP 3453551)

Практично аналогічна схема, однак без використання планетарного ряду, характерна і для розробки за схемою combined axle Peugeot-Citroen (рис. 6), хоча у більш ранньому патенті спорідненої фірми-виробника Nissan теж присутній планетарний редуктор (рис. 7).

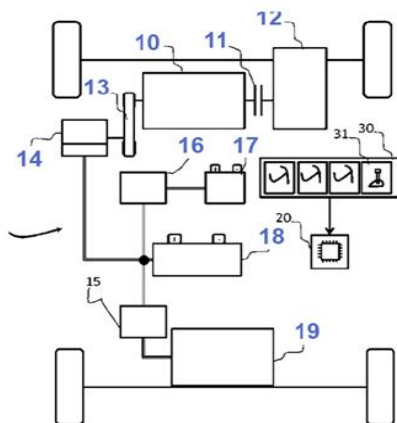


Рис. 6. Схема Peugeot-Citroen (пат. EP 3312036A1)
Fig. 6. Peugeot-Citroen scheme (pat. EP 3312036A1)

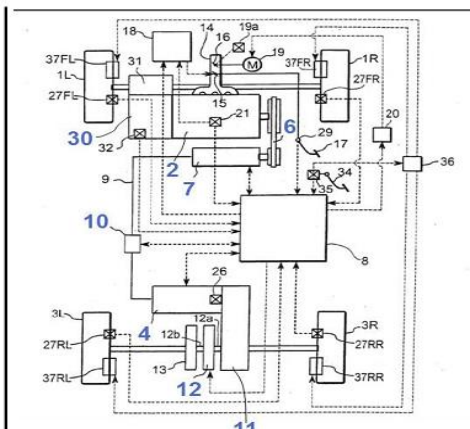


Рис. 7. Схема Nissan (пат. EP 1342610AP)
Fig. 7. Nissan scheme (pat. EP 1342610AP)

Спільним для обох розробок є використання клиноремінної передачі – з'єднання генератора з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ), що, однак, може бути змінено на більш надійне шестеренчасте. Обидві схеми дозволяють реалізувати фактично 4 режими роботи – з приводом на одну вісь тільки від ДВЗ, тільки від електродвигуна (при непрацюючому ДВЗ і при працюючому – послідовний привід), а також з приводом обох осей від ДВЗ і електродвигуна (певна видозміна паралельного приводу).

Це ж характерно і для схеми приводу концерну VAG, що вже реалізована на промислових моделях кросоверів Audi/VW (рис. 8) – «електрокардан» повного приводу. Перевагою цієї схеми є можливість стабілізації режимів роботи ДВЗ у діапазоні економних режимів за рахунок планетарної передачі.

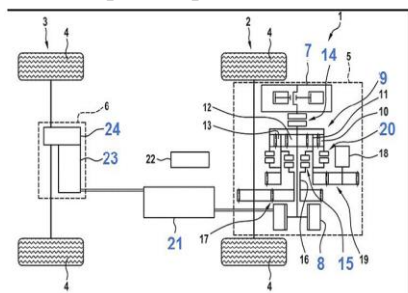


Рис. 8. Схема приводу Audi (пат. EP 3383685A1 від 04.12.2015)

Fig. 8. Audi drive scheme (pat. EP 3383685A1 from 04.12.2015)

7 – ДВЗ; 8 – генератор; 9 – планетарна КП; 14 – зчеплення; 15,20 – з'єднувальні елементи; 21 – акумулятор; 23 – електродвигун; 24 – коробка передач.

Нещодавня розробка Mitsubishi (рис. 9) – концерн – найбільший виробник військової автотехніки у Японії, розвиток змішаного (послідовно-паралельного) приводу з двома тяговими електродвигунами, окремо на кожен вісь, та можливістю додаткового підключення і ДВЗ до приводу передньої осі, що підвищує живучість та прохідність автомобіля. На автодорогах із твердим покриттям схема уможливіє рух і у режимі моноприводу (передня або задня осі), що зменшує енергозатратність руху і збільшує запас ходу. В умовах важкого бездоріжжя для підвищення прохідності до двох тягових електродвигунів можливе підключення і ДВЗ (на передню вісь) через планетарний редуктор 7 (рис. 9), відповідно, у діапазонах низьких та високих швидкостей руху. Привід генератора 9 через планетарну передачу 7 дозволяє забезпечити необхідні оберти ротора і енерговіддачу, незалежно від швидкісного режиму ДВЗ при переході на паралельну схему приводу.

Відмінність цієї схеми – також відсутність класичної коробки передач між ДВЗ і провідною віссю. Два тягові електродвигуни характерні і для однієї з розробок Honda (рис. 10), але ця схема режим повного приводу забезпечує тільки при одночасній роботі і ДВЗ і тягових електродвигунів, що для ВАТ з умов локації руху противником уступає схемі Mitsubishi (рис. 9).

Звичайно підвищується живучість електроприводу, а перенесення одного з електродвигунів 2А чи 2В (рис. 10), паралельно до ДВЗ 4, у принципі, повторює схему Mitsubishi (рис. 9), однак без планетарного редуктора 7 і звичною коробкою передач у блоці з ДВЗ.

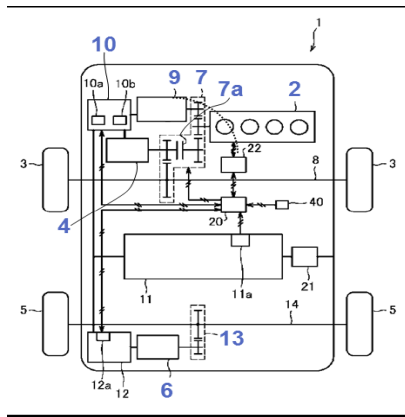


Рис. 9. Схема приводу Mitsubishi (пат. EP 3296134A1)

Fig. 9. Mitsubishi drive scheme (pat. EP 3296134A1)

де: 2 – ДВЗ; 4, 6 – електродвигуни;
7 – редуктор; 7а – зчеплення; 9 – гене-
ратор; 10 – АКБ; 13 – редуктор.

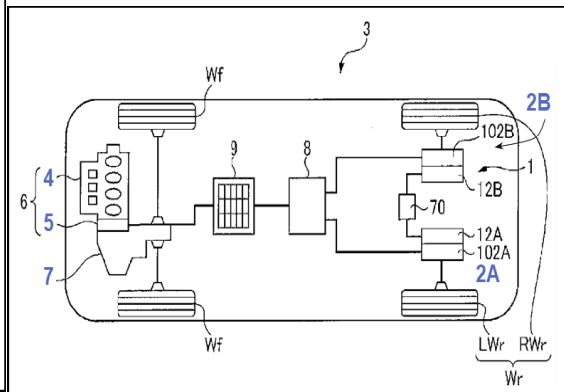


Рис. 10. Схема приводу Honda (пат. EP 3437909A1)

Fig. 10. Honda drive scheme (pat. EP 3437909A1)

де: 2А, 2В – електродвигуни; 4 – ДВЗ;
5 – зчеплення; 7 – коробка передач

Звично, що патенти по гібридному приво-
ду нових зразків ВАТ, зокрема Oshkosh, де є
шість патентів по приводу [12], є в обмеженому
доступі. Але щодо Polaris у 2017 р. (рис. 11), дві
спеціальні моделі якого масово використову-

ються в арміях НАТО, запатентована схема
гібридного приводу виконана власне як
combined axle – з тяговим електродвигуном 618
та ДВЗ 514.

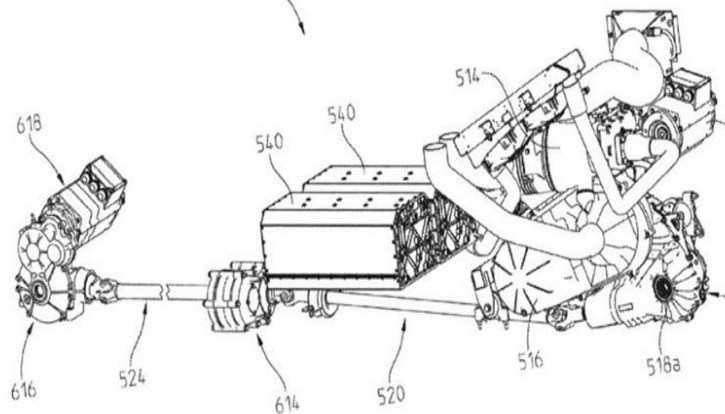


Рис. 11. Схема компоновки гібридного приводу баггі Polaris (пат. USA 20170355259A1)

Fig. 11. Layout scheme of the Polaris buggy hybrid drive (pat. USA 20170355259A1)

Варті уваги вітчизняні патенти щодо схем
гібридного приводу автомобілів схеми 4x4
(проф. Кайдалов Р. О., ХНАДУ, КраЗ) (рис.
12). Зокрема перша схема (рис. 12 а) дозволяє
реалізувати дообладнання наявних автомобілів
з ДВЗ тяговим електродвигуном/генератором
(але обмеженою можливістю підзарядки бата-
рей – тільки в режимі рекуперації у фазі спо-
вільнення та від зовнішньої 7. електромережі).
Інша схема (рис. 12 б) залишає привід від ДВЗ
на передню вісь (з можливістю відключення від
ДВЗ 6 через зчеплення 7) і включає 4 тягові еле-
ктродвигуни 10 з приводом кожного з коліс
через бортові планетарні редуктори 9. Меха-
нічний привід від ДВЗ до задньої осі замінено на
відповідному виході розподільчої коробки 5

генератором 4 зарядки батарей. Схема забез-
печує рух автомобіля тільки на електроприводі,
при непрацюючому ДВЗ. Запас автономного
ходу визначається ємністю батарей та залежить
від складності – опору руху бездоріжжя дороги.
Схема з індивідуальними електродвигунами
приводу кожного з коліс, рис. 12 в, має перевагу
збереження рухомості автомобіля при виході з
ладу, пошкодження одного чи двох двигунів,
значне спрощення механіки приводу – класична
послідовна (seriell) схема з працюючим ДВЗ
тільки на генератор. Але є і недолік – немо-
жливність використання ДВЗ для урухомлення
при виході з ладу електроприводу.

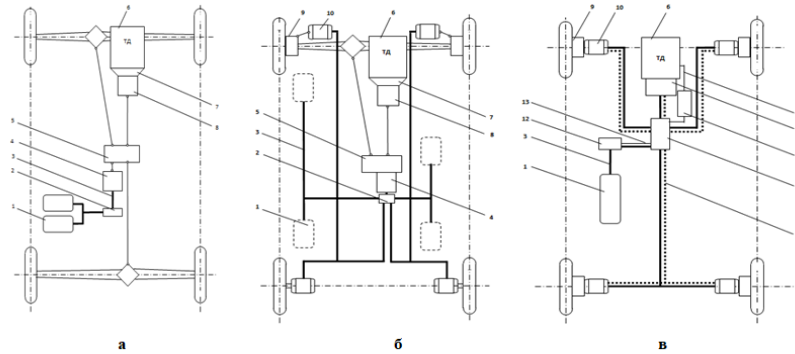


Рис. 12. Схеми гібридного приводу повнопривідного автомобіля (пат. України 116670, 114623, 119713)

Fig. 12. Layout scheme of the hybrid four-wheel drive car (pat. Ukraine 116670, 114623, 119713)

де: 1 – акумуляторна батарея; 2 – блок управління (інвертор); 3 – силова електрична лінія; 4 – електродвигун/генератор; 5 – розподільча коробка; 6 – двигун внутрішнього згоряння; 7 – зчеплення; 8 – коробка передач; 9 – колісний редуктор з планетарним механізмом; 10 – електродвигун; 11 – блок керування двигуном внутрішнього згоряння; 12 – блок-перетворювач; 13 – електрична лінія управління; 14 – резервна електрична лінія

З огляду на аналіз відкритих публікацій у сфері військової автотехніки [1-3; 8-17] очевидно, що конструктивний синтез схем гібридного приводу повнопривідних автомобілів для бездоріжжя впродовж останніх 15-18 років – від початку формування тактико-технічних вимог відповідними державними установами у США, Франції, Великобританії до прийняття на озброєння перших машин у 2021-2022 рр. [11; 10] – обумовив докорінні відмінності від уже звичних і давно реалізованих у виробництві гібридних автомобілів загального призначення. Зокрема:

- в основу схем гібридного приводу ВАТ покладена послідовна (seriell) або змішана (mish-hybrid) з можливістю автономного руху без доріжжям на певні дистанції при не працюючому двигуні внутрішнього згоряння [1; 8; 9; 14];

- стала тенденція використання оригінальних, запатентованих схем поєднання схем типу seriell з можливістю переходу на комбіновану, змішану (mish-hybrid), що суттєво відрізняються за цільовим використанням порівняно з автомобілями загального призначення [9; 12; 15];

- потужності двигунів і ємність батарей представлених зразків ВАТ з гібридним приводом є суттєво, у 2,5-4 рази, більшими [2; 10; 11; 18] порівняно з аналогічними щодо повної маси гібридними автомобілями загального призначення;

- підвищена потужність генератора з умов більш швидкої зарядки акумуляторів, відчутно більшого споживання електроенергії військовим обладнанням, що встановлюється на колісні машини у цій сфері, а також використання машини з гібридним приводом як джерела

електроенергії іншим споживачам у польових умовах [3; 14-17].

Зазначене, поряд з повним приводом і двоступеневою роздавальною коробкою, обумовлює опрацювання оригінальних схем гібридного приводу, у т.ч. і з умов патентної чистоти, як передумови промислової реалізації. В основу останньої, враховуючи реалії сучасної ситуації, покладено два етапи:

1. доопрацювання і випуск промислової партії легких ударних автомобілів – багі (тип КВ 02Н «Мамай» з використанням видозміненої схеми combined-axle – з приводом задньої осі за схемою mish-hybrid 1 mode – перероблений привід Toyota Prius III та установкою приводу передньої осі окремим електродвигуном з електронною синхронізацією частот обертання з тяговим електродвигуном задньої осі (е-кардан). Toyota надано вільний доступ до використання розробок/патентів у сфері гібридного приводу, у МВС України накопичено сотні пошкоджених автомобілів Toyota Prius III, з яких можна використати певну кількість систем приводу (очевидно з доукомплектуванням новими батареями більшої ємності та необхідних змін в системі управління приводу – з умов синхронізації роботи обидвох електродвигунів);

2. паралельно, насамперед на основі набутого досвіду експлуатації, опрацювання (включно патентування) схем приводу типу seriell-mish hybrid з паралельною оцінкою ефективності методами імітаційного моделювання у програмному середовищі Matlab Simulink на базі відповідного розвитку напрацьованих щодо руху бездоріжжям повнопривідної ВАТ з двигуном внутрішнього згоряння [18; 19].

Висновки. Очевидна актуальність і потреба в оновленні застарілого автопарку повнопривідних автомобілів України та організації

власного виробництва мало- і середньотонажної техніки обумовлюють практичну значущість конструктивного синтезу гібридного приводу, що здійснюється у співпраці з АТ «Укравтобуспром». Аналіз свідчить про докорінну відмінність формування схем гібридного приводу автомобілів загального призначення (у т.ч. повнопривідних) та військової і багатоцільової автотехніки для бездоріжжя. Основним чинником використання гібридного приводу у цій сфері є не так екологія, як зазвичай, як мінімізація локації руху у інфрачервоному та звуковому спектрах та підвищена живучість і прохідність за рахунок наявних двох джерел приводу – ДВЗ і електродвигуна. Окрім того, реалії використання приводу машин у польових умовах як джерела електроенергії для зв'язку, ремонтних робіт тощо за відсутності/недосяжності стаціонарної мережі електропостачання. Опрацювання такого приводу для вітчизняної ВАТ (зрештою і для інших сфер використання в умовах бездоріжжя), як показав проведений огляд чинних запатентованих схем приводу, необхідно реалізувати за схемами *mesh hybrid – combined axle*, з умов дотримання патентної чистоти розробки. Власне ці схеми приводу дозволяють як повноцінний тривалий рух тільки на електротязі, так і реалізувати рух з приводом від двигуна внутрішнього згоряння, зокрема при виході з ладу електротязи (або, навпаки, двигуна внутрішнього згоряння, однак на обмежену дистанцію за запасом ємності батареї). Природно, що це актуально насамперед для ВАТ переднього краю.

Бібліографічний список

1. Kramer D., Parker G. Current State of Military Hybrid Vehicle Development. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. 2011. № 3(4). Pp. 369–387.
2. Giesbrecht J. Feasibility of Hybrid Diesel-Electric Powertrains for Light Tactical vehicles./ Defence Research and Development Canada DRDC-2018-D049, June 2018. 21p. URL: <http://cradpdf.drdc-rddc.ca/PDF/unc319/> (Дата звернення: 02.07.2024).
3. Army hybrid vehicles power forward. 21 July 2021. URL: <https://www.army.mod.uk/news/2021/077-army-hybrid-vehicles-power-forward>.
4. Elsani M., Ciao J., Giay S. E., Emadi A. Modern Electric, Hybrid-Electric and Fuel Cell Vehicles. Fundamental, Theory and Design / CRC Press, New-York, 2005. 589 p.
5. Гібридні автомобілі / О. В. Бажинов, О. В. Смірнов, С.А. Серіков, А. В. Гнатов, А. В. Колесніков, під ред. О. В. Бажинова. Харків: ХНАДУ, 2008. 327 с.
6. Chris Mr., Masrer A., Guo D. W. Hybridfahrzeuge.Grundlage und Anwendungen mit Perspektiven fuer die Praxis / Viebex-VCH Verlag, Weinbad, 2014. P. 512.
7. Крайник Л. В., Кіхтан А. В., Кохан В. Ф., Волощук М. Я. Концептуальні основи формування гібридного приводу автомобіля високої прохідності. *Військово-технічний збірник*. 2022. № 27. С. 10–18.
8. Krause M. Hybridantriebe fuer Militaer-Fahrzeuge. 29.05.2022. URL: <https://aetrans.de/hybridantriebe-fuer-militaerfahrzeuge>. (Дата звернення: 02.07.2024).
9. Dong Hwan Choi, Seong Jun Lee, Bo-Hyung Cho, Yeo Giel Yoon. Development of Design Tool for Hybrid Power Systems of Hybrid Electric Military Combat Vehicles. URL: <https://www.iri.upc.edu/VPPC10/uploads/PDF/aper/95-69838-final> (Дата звернення: 02.07.2024).
10. Oshkosh eJLTV. Oshkosh Defense Hybrid Electric JLTV (eJLTV). URL: <https://oshkoshdefense.com/vehicle> (Дата звернення: 02.07.2024).
11. Scarabee. URL: <https://www.arquus-defense.com/our-armored-vehicle-scarabee> (Дата звернення: 02.07.2024).
12. Frank D. Neue Patente fuer das eJLTV. URL: <https://www.behoerden.spiegel.de/2022/09/09/neue-patente-fuer-das-ejltv> (Дата звернення: 02.07.2024).
13. Кайдалов Р. О. Наукові основи створення автомобілів з комбінованою енергетичною установкою: дис. ... д-р техн. наук : 05.22.02. Харків, 2018. 394 с.
14. Khalil G., Danielson E., Barshaw E., Chait M. Power Supply and Integration in Future Combat Vehicles. URL: <https://www.sto.nato.int/publications/STO%962520-Meeting%062520-Proceedings/R> (Дата звернення: 02.07.2024).
15. Chris Mr., Masrar A. Hybrid Electric Vehicles: Principles and Application with Practical HEV Application for Military Vehicles/ 2017. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10/1002/9781118970553> (Дата звернення: 02.07.2024).
16. Rizzo D.M. Military Vehicle Optimization and Control. Dissertation, Michigan TU, 2014. URL: <https://doi.org/10.37099/mtu..dc.ets> (Дата звернення: 02.07.2024).
17. Hybridization of US Army Combat Vehicles. Technical Paper SAE 2022-01-0371/29.03.2022. URL: <https://sae.org/technicalpapers/content> (Дата звернення: 02.07.2024).
18. Liu Z., Marmun A.-M., Rizzo D., Onori S. Combined Battery Design Optimization and Energy Management of a Series Hybrid Military

19. Truck. URL: https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/OnoriPDF/Journals/32_pdf (Дата звернення: 02.07.2024).

20. Ehsani M., Singh K. V., Bansal H. O., Mehrjardi R. T. State of the Art and Trends in

Electric and Hybrid Electric Vehicles. In: Proceedings of the IEEE. 2021. No 109. Pp. 967–984.

Стаття надійшла 11.07.2024