

DOI 10.31891/2307-5732-2021-297-3-84-Помилка! Закладку не визначено.
УДК 621.541

М.М. КОСІЮК

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0003-4823-7800
e-mail: tech_i@ukr.net

А. М. КОСІЮК

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-2241-9414
e-mail: sdgroup.ua@gmail.com

В. С. КРАВЧУК

Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0003-0229-3444
e-mail: vital.kravchuk.95@gmail.com

КОМБІНОВАНА СИЛОВА УСТАНОВКА АВТОМОБІЛЯ

В роботі наведено результати розробки комбінованої силової установки автомобіля із застосування комбінації декількох двигунів, що працюють за різними фізичними принципами. Основний силовий агрегат використовує енергію палива в режимі двигуна внутрішнього згорання, а допоміжний силовий агрегат виконаний у вигляді оборотної машини об'ємного витіснення з коливальним рухом робочих органів, використовує енергію стиснутого повітря. Для утилізації теплової енергії відпрацьованих газів основного силового агрегату комбіновану силову установку додатково оснащують двигуном Стірлінга або модулем парогенерації і паровим двигуном, а для рекуперації енергії гальмування автотранспортного засобу її додатково оснащують гідро- або електричним приводом. Це дозволяє суттєво знизити витрату палива, підвищити енергетичний потенціал, коефіцієнт корисної дії та поліпшити екологічні показники автотранспортного засобу.

Ключові слова: комбіновані силові установки автомобіля, двигун внутрішнього згорання, пневмодвигун, електро-гідропривід, двигун Стірлінга, паровий двигун, ефективність використання.

KOSIYUK MYKOLA, KOSIYUK ARTEM, KRAVCHUK VITALY
Khmelnitskyi National University

COMBINED POWER PLANT OF A MOTOR VEHICLE

Currently, the most promising areas of development of motor transport are an increase of the horsepower characteristic of their power plants as well as increase of fuel efficiency, and reduction of the toxicity level of exhaust fumes. An internal combustion engine as a power unit of the car in a number of operation modes (supplemental motion, small work load, idling, etc.) works extremely inefficiently and contains the high concentration of harmful components in the exhaust fumes. Additionally, in a context of growing shortage of carbohydrate fuels and increase in their value, the problem of the fuel-burn improvement is especially acute. To improve the environmental compatibility and efficiency of power plants of the vehicles, combined cycle power plants are used. One of the most important problems that the machine construction faces is the creation of environmentally friendly and economical power plants. A hybrid power plant, which contains several power units operating on different physical principles, is proposed by the authors. The main power unit uses the energy of liquid or gaseous fuel in the mode of an internal combustion engine; the auxiliary power unit which is made as a reverse volumetric driving machine with swinging motion of the work tools (forcers or blades), uses air power which comes from a pneumocylinder through a cooler and / or pneumatic air tank. The auxiliary power unit is equipped with a reversible inverter of the driving direction, made on the basis of a spherical slider-crank mechanism. This insures the operation of the auxiliary power unit in the mode of a pneumatic motor or compressor in accordance with the algorithm generated by the electronic control unit of the combined power plant of the vehicle. To utilize the heat energy of the exhaust fumes of the main power unit, the combined power plant is additionally equipped with a Stirling engine or steam generation module and a steam engine; in order to break energy recuperation of the vehicle it is additionally equipped with a hydraulic or electrodrive. Naturally, when choosing the specific forms of application of combined cycle power plants, any combinations of auxiliary power units are possible. They can be supplemented and / or specified based on the knowledge of specialists. Combined cycle power plants are technically complete solution. Their industrial applicability is obvious and is substantiated by experiments. Nowadays, the creation of a combined cycle power plants of a vehicle, which are a combination of several engines operating on different physical principles is the task of great economic importance. Combined power plants this allows to reduce fuel consumption per 100 km significantly, increase energy potential, horsepower characteristic and improve the environmental performance of the vehicle. The work is planned to be continued in the direction of optimization synthesis of auxiliary power units that work on different physical principles.

Key words: combined power plants of the car, internal combustion engine, pneumatic motor, electro- hydraulic drive, Stirling engine, steam engine, efficiency of use.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день найбільш перспективними напрямками розвитку автомобільного транспорту є збільшення ККД їх силових установок, підвищення паливної економічності, зниження токсичності відпрацьованих газів. Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) як силовий агрегат автомобіля на ряді експлуатаційних режимів працює вкрай неекономно і з підвищеним вмістом шкідливих компонентів у відпрацьованих газах. В умовах зростаючого дефіциту вуглеводних палив й збільшення їх вартості гостро постає питання зменшення витрати цього виду палива. У зв'язку із цим, створення більш екологічно чистих й економічних силових установок для автотранспортних засобів (АТЗ) є надзвичайно актуальним завданням. Для підвищення екологічності та економічності силових установок для АТЗ використовуються комбіновані силові установки (КСУ), які є комбінацією декількох двигунів, що працюють за різними фізичними принципами [1].

Аналіз останніх джерел

Необхідність розвитку гібридних силових агрегатів заснована на цілому ряді об'єктивних причин. Сучасний АТЗ має досить хороші показники паливної економічності і екологічності при рівномірному русі в досить широкому діапазоні робочих швидкостей. У той же час, при русі в режимі міського циклу, що представляє собою постійне чергування фаз розгону, рівномірного руху, уповільнення і стоянки на холостому ходу, ці ж показники істотно погіршуються. Крім того, сучасні ДВЗ мають ККД близько 42%. Більша ж частина енергії «вилітає в трубу» разом з вихлопними газами. Значні втрати енергії з відпрацьованими газами ДВЗ змушують шукати шляхи її використання (утилізації). Високий термічний потенціал цієї енергії свідчить про можливість і доцільності трансформації її в інші види енергії, що володіють високою якістю. Утилізація тепла вихлопних газів ДВЗ, будучи енергозберігаючою технологією, значно збільшує загальний коефіцієнт використання палива (до 85–90%) і забезпечує ефективне використання теплової енергії. При гальмуванні втрачається від 15 до 60% кінетичної енергії, переданої автомобілю двигуном. Якщо цю енергію акумулювати і потім використовувати в режимах руху з перевантаженням, то можна заощадити до 30% палива. Про це свідчать інтенсивні науково-дослідні роботи, що проводяться у провідних країнах світу [1–4].

Таким чином, проведення дослідно-конструкторських робіт зі створення ефективних гібридних АТЗ є на сьогоднішній день актуальним і перспективним завданням, яке має надзвичайно велике економічне значення.

Метою роботи є узагальнення результатів роботи зі створення КСУ автотранспортного засобу, яка є комбінацією декількох двигунів, що працюють за різними фізичними принципами.

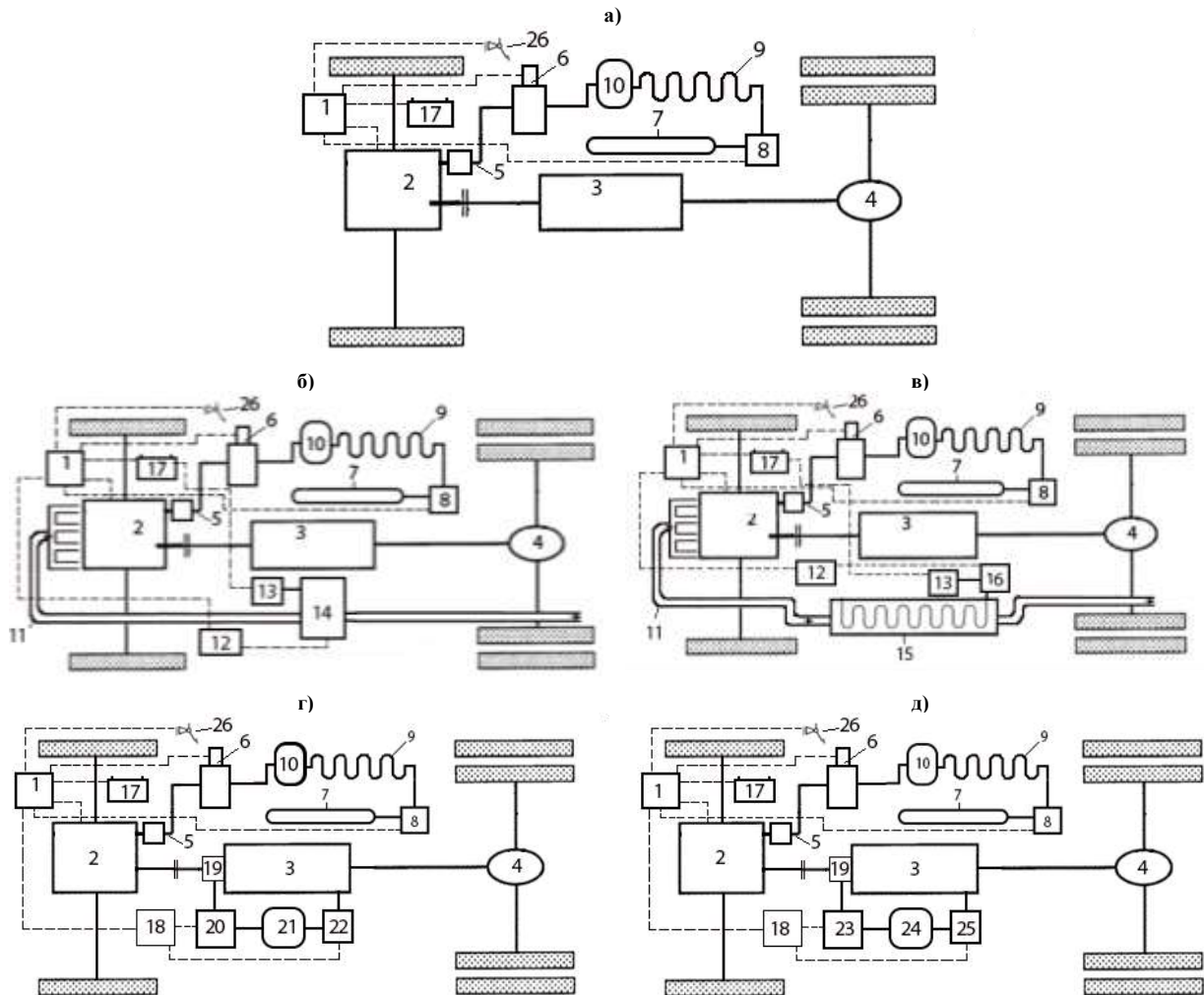


Рис. 1. Блок схеми комбінованої силової установки автотранспортного засобу:

- а) головна блок-схема КСУ; б) блок-схема КСУ з додатковим силовим агрегатом (двигун Стірлінга), який використовує теплову енергію відпрацьованих газів основного силового агрегату; в) блок-схема КСУ з додатковим силовим агрегатом (паровий двигун), який використовує теплову енергію відпрацьованих газів основного силового агрегату; г) блок-схема КСУ з додатковим силовим агрегатом (гідропривід), який використовує рекуперацію енергії гальмування (холостого ходу) АТЗ; д) блок-схема КСУ з додатковим силовим агрегатом (електропривід), який використовує рекуперацію енергії гальмування (холостого ходу) АТЗ.

Виклад основного матеріалу

Авторами пропонується КСУ автотранспортного засобу, зокрема, для автобусів і вантажних

автомобілів, яка містить декілька силових агрегатів, працюючих за різними фізичними принципами. На рис. 1 зображено блок схеми КСУ, де 1 – електронний блок керування АТЗ; 2 – основний силовий агрегат (двигун внутрішнього згоряння); 3 – механізм трансмісії; 4 – задній ведучий міст з колесами; 5 – механізм відбору потужності; 6 – допоміжний силовий агрегат з оборотним перетворювачем руху і блоком керування; 7 – пневмобалон; 8 – автоматичний регулятор тиску; 9 – теплообмінник; 10 – повітряний ресивер; 11 – приймальна труба глушника ДВЗ; 12 – блок керування; 13 – електрогенератор; 14 – двигун Стірлінга; 15 – автономний модуль парогенерації; 16 – паровий двигун; 17 – електроакумулятор АТЗ; 18 – блок керування; 19 – механізм відбору потужності; 20 – гідравлічний насос; 21 – гідроакумулятор; 22 – гідродвигун; 23 – електрогенератор; 24 – електроакумулятор; 25 – електродвигун; 26 – педаль.

Загальне керування силовими агрегатами АТЗ здійснюється електронним блоком керування 1. Енергоносієм у основному силовому агрегаті 2 є рідке або газоподібне паливо. Він забезпечує основне енергопостачання АТЗ і передачу крутного моменту через механізм трансмісії 3 на задній ведучий міст з колесами 4. Основний силовий агрегат оснащений механізмом відбору потужності 5, що забезпечує прийом крутного моменту від допоміжного силового агрегату 6 (при роботі в режимі пневмодвигуна) або відбір потужності на допоміжний силовий агрегат 6 (при роботі в режимі компресора) від основного силового агрегату 2, наприклад, у режимі рекуперації енергії гальмування (в режимі холостого ходу) АТЗ. Погодження роботи основного силового агрегату 2 і допоміжного силового агрегату з оборотним перетворювачем руху і блоком керування 6 в різних режимах забезпечується електронним блоком керування 1 у відповідності до алгоритму їх функціонування. На рис. 2 зображені просторові схеми оборотного перетворювача руху і допоміжного 4-поршневого силового агрегату з оборотним перетворювачем руху на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму.

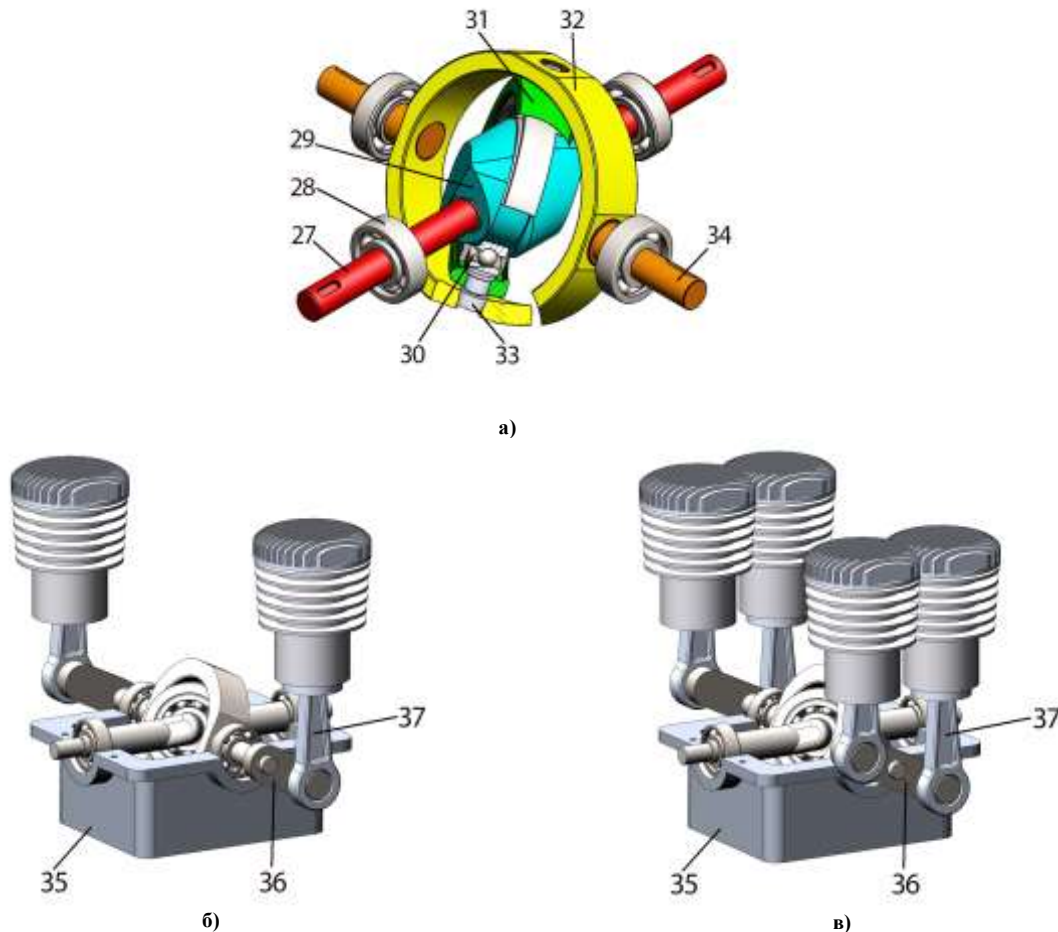


Рис. 2. Просторові схеми:

а) оборотного перетворювача руху на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму; б) допоміжного 2-поршневого силового агрегату з оборотним перетворювачем руху; в) допоміжного 4-поршневого силового агрегату з оборотним перетворювачем руху, де 27 – вал, 28 – підшипник; 29 – кривошип; 30 – підшипник; 31 – повзун; 32 – обойма; 33 – стрижневий елемент; 34 – вал; 35 – оборотний перетворювач руху; 36 – важіль; 37 – робочий орган допоміжного силового агрегату

Перетворювач руху в допоміжному силовому агрегаті 6 виконано на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму, у якому геометричні осі усіх установлених з можливістю обертання деталей перетинаються в одній «центральной» точці і який має вал 27, що встановлений у корпусі в двох протилежних співвісних підшипниках 28, різномірний кривошип 29, що жорстко зв'язаний з валом 27 у його середній частині і оснащений посадочним місцем для внутрішнього кільця підшипника 30, площина

симетрії якого нахилена до геометричної осі вала під кутом, що перевищує 0° , але менший 90° і містить у собі згадану «центрально» точку, повзун 31, що виконаний на основі зовнішнього кільця підшипника 30, коливальну кінематичну ланку виконану у вигляді обойми 32, що з безперервним зазором вільно охоплює повзун 31, має щонайменше один стрижневий проміжний елемент 33 кінематичного зв'язку з ним, жорстко зв'язану з двома співвісними додатковими валами 34, які виступають за межі корпусу оборотного перетворювача руху 35 з його протилежних сторін. Вали 34 механічно пов'язані важелями 36 з робочими органами 37 додаткового силового агрегату 6. Оборотний перетворювач напрямку руху здатний при коливному русі робочих органів (поршнів або лопатей) 36 обертати вал 27 з кривошипом 29 або при обертанні вала 27 з кривошипом 29 приводити робочі органи 36 допоміжного силового агрегату 6 в коливний рух. Це дозволяє забезпечити роботу допоміжного силового агрегату з оборотним перетворювачем руху і блоком керування 6 в режимі пневматичного двигуна або компресора. Як показує практика використання пневматичних поршневих двигунів їх доцільно виготовляти з відношенням ходу поршня до діаметру циліндра $S/D = 0,5-0,7$. Цим досягається зменшення розмірів двигуна в напрямі осей циліндра і велика частота циклів при меншій середній швидкості поршня.

Енергоносієм у допоміжному силовому агрегаті 6 є стиснуте повітря. Стиснуте до високого тиску (наприклад, 25–30 МПа) повітря, що зберігається в пневмобалоні 7 при температурі навколишнього середовища. Повітря, що надходить з балона 7, дроселюється в автоматичному регуляторі тиску 8 до робочого тиску 0,5-1,0 МПа зі значним зниженням температури нижче температури навколишнього середовища. Для підвищення енергетичної активності стисненого повітря, його необхідно попередньо підігріти. Тому з газового редуктора 8 повітря надходить у теплообмінник з навколишнім середовищем 9. Для підвищення температури повітря до рівня, що перевищує температуру навколишнього середовища (наприклад, понад 100°C) можна використовувати теплоносії, наприклад, рідину системи охолодження і/або відпрацьовані гази основного силового агрегату 1 і/або відпрацьовану пару парового двигуна 16. У процесі підігріву щільність стисненого повітря зменшується, а, отже, зменшується витрата робочого тіла для виконання робочого циклу в пневмодвигуні. Зниження питомої витрати повітря на відтворення одиниці потужності пневмодвигуном приводить до підвищення ККД останнього й КСУ в цілому, а також дозволяє збільшити пробіг АТЗ.

Стиснене повітря накачується в пневмобалон 7 у стаціонарних умовах. Стиснене повітря накачується в повітряний ресивер 10 від допоміжного силового агрегату 6, який працює в режимі компресора. Це дозволяє поповнювати запаси повітря в ресивері 10 КСУ в процесі гальмування або в режимі холостого ходу АТЗ.

Керування роботою елементів КСУ здійснюється в такій послідовності. Водій за допомогою педалі циклової подачі палива 26 задає необхідне тягове зусилля основного силового агрегату 2. Погодження роботи основного силового агрегату 2 і допоміжного силового агрегату з оборотним перетворювачем руху і блоком керування 6 в режимі пневмодвигуна або компресора, забезпечує електронний блок керування 1 АТЗ, що одержує інформацію про тягове зусилля основного силового агрегату 2 та сигналів датчиків, що реєструють режими роботи основного 2 і допоміжного 6 силових агрегатів, наявність стисненого повітря в пневмобалоні 7 і повітряному ресивері 10. Після обробки отриманих сигналів електронний блок керування 1, забезпечує оптимальні режими роботи основного 2 і допоміжного 6 силових агрегатів, наприклад, забезпечуючи мінімальну питому витрату палива або максимальний крутний момент.

З рівня техніки відомо, що в двигунах внутрішнього згоряння від 30 до 40% енергії згорілого палива уноситься з викидами. Значні втрати енергії з відпрацьованими газами ДВЗ змушують шукати шляхи її використання (утилізації). Високий термічний потенціал цієї енергії свідчить про можливість і доцільності трансформації її в інші види енергії, що володіють високою якістю. Утилізація тепла вихлопних газів ДВС, будучи енергозберігаючою технологією, значно збільшує загальний коефіцієнт використання палива (до 85–90%) і забезпечує ефективне використання теплової енергії.

Найбільш раціональним варіантом використання додаткової потужності, отриманої від утилізації, є приводи різних агрегатів (систем) АТЗ – вентиляторів, насосів, компресорів і т.п. Очевидно, що найбільш ефективно цей привід здійснювати не механічно, а з допомогою електроенергії.

Однією з утилізаційної систем, що дозволяє досить ефективно реалізувати цю ідею, є система, що містить приймальну трубу глушника ДВЗ 11, блок керування 12, електрогенератор 13, двигун Стірлінга 14 або автономний модуль парогенерації 15 і паровий двигун 16, суміщених з електричним генератором.

В рівні техніки гібридний привід відомий як ефективна система рекуперації енергії гальмування (холостого ходу). Для рекуперації енергії гальмування (холостого ходу) АТЗ його КСУ додатково оснащують блоком керування 18, механізмом відбору потужності 19 від трансмісії автотранспортного засобу 3, допоміжним силовим агрегатом, який включає в себе пов'язаний з механізмом відбору потужності 19, гідравлічний насос 20 гідропроводу із замкнутою схемою циркуляції, гідроаккумулятор 21, гідродвигун 22 і/або пов'язаний з механізмом відбору потужності 19, електрогенератор 23, електроаккумулятор 24, електродвигун 25, причому гідродвигун 22 і електродвигун 25 пов'язані з трансмісією 3 АТЗ.

У разі гальмування (холостого ходу) гідравлічний вузол (електропривід) експлуатується як гідравлічний насос (електрогенератор), завдяки чому в гідроаккумуляторі (електроаккумуляторі) створюється тиск (електроенергія). Цей тиск (електроенергія) може використовуватися для подальшого прискорення транспортного засобу. У разі прискорення гідравлічний вузол (електропривід) експлуатується як

гідродвигун (електродвигун), щоб віддавати в трансмісію транспортного засобу додатковий крутний момент і тим самим розвантажувати двигун внутрішнього згоряння. Завдяки цій рекуперації енергії гальмування (холостого ходу) можлива суттєва економія палива.

Погодження роботи основного і допоміжних силових агрегатів в режимі пневмодвигуна, або компресора, двигуна Стірлінга, парового, гідравлічного і електричного двигунів здійснюється у відповідності до алгоритму, сформованого електронним блоком керування КСУ 1 і блоками керування 12 і 18, що одержують інформацію про тягове зусилля основного силового агрегату 2, режиму його роботи та сигналу датчиків, що реєструють режими роботи допоміжних силових агрегатів, які працюють за різними фізичними принципами.

Природно, що при виборі конкретних форм практичного використання КСУ можливі довільні комбінації використання допоміжних силових агрегатів, які можуть бути доповнені і/або уточнені з використанням звичайних знань фахівців. КСУ є технічно завершеним рішенням. Її промислова придатність очевидна та підтверджується проведеними випробуваннями.

Висновки

Створення ефективних КСУ автотранспортного засобу є надзвичайно актуальним завданням і має велике економічне значення. Практичне використання КСУ, яка є комбінацією декількох двигунів, дозволяє суттєво знизити вартість пробігу, поліпшити енергетичні та екологічні показники АТЗ. Роботу планується продовжити у напрямку оптимізаційного синтезу допоміжних силових агрегатів, які працюють за різними фізичними принципами.

Література

1. Савченко А. Будущее за гибридными автомобилями / А. Савченко // Автостроение за рубежом. – 2006. – № 8. – С. 3–5.
2. Гібридні автомобілі / [Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А., Гнатів А. В., Колесніков А. В.]. – Харків : Крок, 2008. – 327 с.
3. Зайцева, Е. Ю. Гибридные силовые установки / Е. Ю. Зайцева, И. В. Ищенко, В. Г. Комков // Ученые заметки ТОГУ. – 2019. – Т. 10. – № 4. – С. 305–312.
4. Кубіч В. І. Гібридні силові установки легкових автомобілів : навчальний посібник / Кубіч В. І. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 193 с.
5. Косіюк М.М. Модульна оборотна машина об'ємного витіснення / М.М. Косіюк, А.М. Косіюк, В.С. Кравчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 3. – С. 105–108.
6. Патент 143170 Україна, МПК F01C 9/00, F04C 9/00. Оборотна машина об'ємного витіснення з коливальним рухом робочих органів / Косіюк М.М., Косіюк А.М., Кравчук В.С. – № u 2020 01307 ; заявл. 27.02.2020 ; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.
7. Косіюк М.М. Проектування оборотного перетворювача напрямку руху / М.М. Косіюк, А.М. Косіюк, В.С. Кравчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 6. – С. 56–61.

References

1. Savchenko A. Budushee za gibridnymi avtomobilyami / A. Savchenko // Avtostroenie za rubezhom. – 2006. – № 8. – S. 3–5.
2. Hibrydni avtomobili / [Bazhynov O. V., Smyrnov O. P., Sierikov S. A., Hnatov A. V., Koliesnikov A. V.]. – Kharkiv : Krok, 2008. – 327 s.
3. Zajceva, E. Yu. Gibridnye silovye ustanovki / E. Yu. Zajceva, I. V. Ishenko, V. G. Komkov // Uchenye zametki TOGU. – 2019. – T. 10. – № 4. – S. 305–312.
4. Kubich V. I. Hibrydni sylovi ustanovky lehkovykh avtomobiliv : navchalnyi posibnyk / Kubich V. I. – Zaporizhzhia : NU «Zaporizka politekhnika», 2021. – 193 s.
5. Kosiiuk M.M. Modulna oborotna mashyna obiemnoho vytisnennia / M.M. Kosiiuk, A.M. Kosiiuk, V.S. Kravchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2020. – № 3. – S. 105–108.
6. Patent 143170 Ukraina, MPK F01C 9/00, F04C 9/00. Oborotna mashyna obiemnoho vytisnennia z kolyvalnym rukhom robochykh orhaniv / Kosiiuk M.M., Kosiiuk A.M., Kravchuk V.S. – № u 2020 01307 ; zaiavl. 27.02.2020 ; opubl. 10.07.2020, Biul. № 13.
7. Kosiiuk M.M. Proektuvannia oborotnoho peretvoriuvacha napriamku rukhu / M.M. Kosiiuk, A.M. Kosiiuk, V.S. Kravchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2020. – № 6. – S. 56–61.