

УДК 621.436.004.5

Н. Г. КУЦЬ, канд. техн. наук, доц. Луцький НТУ**ТРАНСПОРТНИЙ ГІБРИДНИЙ ЕНЕРГОКОМПЛЕКС**

Проведено аналіз гібридного автомобіля з електротягою і тепловим двигуном в порівнянні з магнітодинамічним мотор-генератором і вихровим тепловим насосом. Розроблено принципову схему транспортного гібридного енергокомплексу з електротягою і вихровим тепловим насосом. Показана принципова можливість повністю забезпечити енергоспоживання транспортним засобом в процесі його руху від теплового насоса. Встановлено, що вентилятор, компресор і турбіна зі спеціальними лопатками являють собою вихровий тепловий насос і показано, як можна ці пристрої застосувати як теплового насоса на транспорті.

Ключові слова: гібридний електромобіль, магнітодинамічний мотор-генератор, вихровий тепловий насос, електротяга, гібридний енергокомплекс.

Введення. У всіх видах транспорту в процесі виконання різних перевезень реалізуються: прискорене руху в момент старту, рівномірний рух після виходу на трасу і сповільнений рух по мірі наближення до пункту прямування. У момент старту двигун виробляє велику потужність при цьому споживає більше палива. При русі по трасі споживання палива двигуном мінімальне. В процесі гальмування витрачена енергія розсіюється марно в навколишнє середовище.

Часті режими руху розгону і зупинки характерні для автотранспорту і, особливо, в міських умовах. Тому в автомобільному транспорті гостро постало питання рекуперації енергії в момент гальмування

Починаючи з середини 90-х років минулого сторіччя в автомобільному транспорті інтенсивно стали створюватися гібридні енергосистеми з метою рекуперації енергії гальмування. Спочатку це були гібридні приводу теплового двигуна спільно з електричним двигуном, а потім спільно з пневматикою. У процесі організації гібридних енергосистем представляється можливість реалізувати їх у відкритому вигляді, тобто включати в такі системи теплові насоси.

Сучасна тенденція розвитку енергетичних комплексів на транспорті полягає в більш ефективному використанні паливно-енергетичних ресурсів. Особливого значення набувають науково-технічні розробки, в яких отримують коефіцієнт перетворення одного виду енергії в інший більше одиниці. Для цього весь бортовий енергоблок необхідно перетворити у відкриту систему, коли при забезпеченні відповідних умов внаслідок взаємодії з іншими енергосистемами, виникає додатковий канал обміну енергіями. Важливо цей принцип реалізувати на транспортних засобах, в яких застосовуються теплові або електричні двигуни.

Аналіз публікацій. Бензино-електричний гібридний привід реалізується шляхом формування єдиного енергоблоку, що складається з теплового та електричного двигунів. У такій схемі доцільно в якості основного виконавчого двигуна використовувати електромотор. Тому, електромобіль додатково оснащується тепловим двигуном, який включається, коли повністю витрачається енергія, збережена в електричному акумуляторі або в електричному конденсаторі, які виконують роль рекуператора енергії. У момент гальмування ходова частина переключується на генератор змінного струму. Генератор перетворює на електрику кінетичну енергію гальмуючого автомобіля, яка запасується в акумуляторі або в конденсаторі [1,2].

Розробляються двигуни з внутрішнім і зовнішнім згорянням палива з метою отримання максимально можливого коефіцієнта корисної дії [3]. В даний час переконливо доведено, що теплові насоси дозволяють отримувати коефіцієнт перетворення одного виду енергії в інший, що є більше одиниці. Важливо цей принцип реалізувати на транспортних засобах. У цьому зв'язку створення гібридних енергосистем слід розглядати як перехідний період переведення всіх транспортних

© Н.Г. Куць, 2015

засобів на електротягу з використанням теплових насосів.

Ефективність теплового насоса визначається відношенням різниці температур на виході і на вході до температури на виході, тобто, в кінцевому підсумку, визначається наскільки менший потік енергії виходить з обслуговуючої енергосистеми. Коефіцієнт теплопродуктивності теплового насоса слід визначати, як відношення корисного тепла переданого споживачеві, до енергії, витраченої на роботу теплового насоса.

Найбільшу популярність набули бензино-електричні гібриди, привід яких реалізується шляхом формування єдиного енергоблоку. У такій схемі основним виконавчим двигуном є магнітодинамічний мотор-генератор. Схема такого генератора в резонансному режимі роботи розглянута в [1,2]. Магнітодинамічний мотор-генератор в резонансному режимі роботи може використовуватися як тепловий насос.

В роботі [4] тепловий насос на автотранспорті використовувався для ефективного охолодження корпусу двигуна. У такій схемі додатково витрачається енергія на живлення теплового насоса. Переваги в коефіцієнті перетворення не відчувається, а має місце більш ефективне охолодження корпусу двигуна повітрям навколишнього середовища, що теж важливо. Крім цього, намітилася тенденція застосування теплового насоса не тільки для охолодження працюючого двигуна, а й для підвищення температури в зимових умовах [5], а конкретно -- для зняття нальоту льоду на зовнішньому теплообміннику автомобіля, що працює на паливних елементах.

Щоб якимось змінити ситуацію, слід застосовувати теплові насоси не тільки для інтенсивного охолодження корпусу двигуна, але й реалізувати можливість отримувати за допомогою теплового насоса коефіцієнт перетворення одного виду енергії в інший більше одиниці. Які теплові насоси для цієї мети можуть бути застосовані в транспорті, розглянуті в роботі [3] де показана принципова можливість їх використання на транспорті без конкретних розрахунків з врахуванням коефіцієнтів перетворення.

Мета і завдання. Аналізувати роботу гібридної енергосистеми і математично обґрунтувати роботу таких систем. Щоб реалізувати поставлену мету необхідно вирішити такі завдання:

- розглянути позитивні і негативні якості кожного окремого енергоблоку в гібридній системі;
- провести аналіз оптимальних умов роботи кожного блоку теплового насоса;
- встановити умови повного забезпечення енергоспоживання транспортним засобом від теплового насоса.

Основна частина. Світова тенденція розвитку транспорту -- це розробка гібридних електротяг пристроїв разом з тепловими двигунами з переходом, в подальшому, повністю на електротягу. А в перспективі -- включення в транспортні енергосистеми теплові насоси [3]. Як приклад розглянемо гібридну схему електротяги енергокомплексу спільно з вихровим тепловим насосом.

Принципова схема такої гібридної системи показана на Рис. 1.

Автошасі 1 через коробку передач 2 управляється мотором постійного струму 3, який живиться від акумулятора 8. Від акумулятора 8 працює вентилятор 4. Вентилятор 4 в повітряному каналі 5 формує потік повітря. Потік повітря обертає вітрогенератор 6. Вироблювана електрична потужність змінного струму через випрямляч 7 заряджає акумулятор 8. У такому пристрої акумулятор працює в буферній схемі.

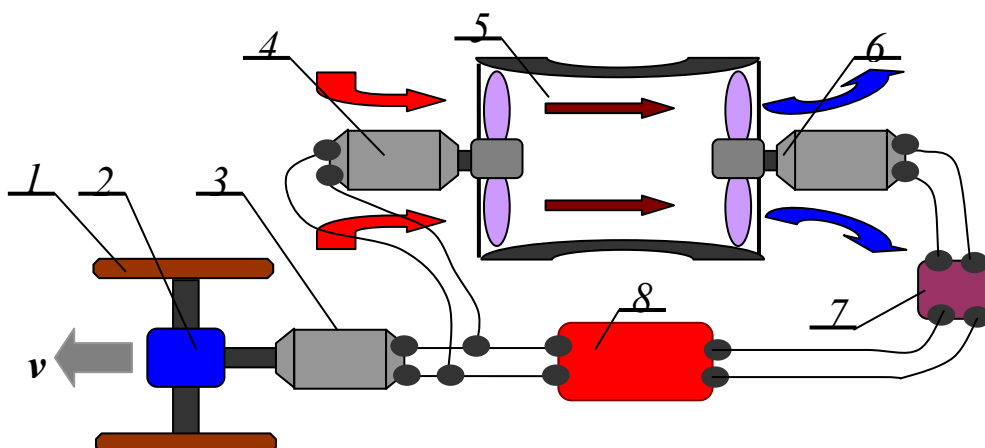


Рисунок 1 - Принципова схема застосування вихрового теплового насоса на транспорті з електротягою: 1 - автошасі; 2 - коробка передач; 3 - електромотор постійного струму; 4 - вентилятор; 5 - повітряний канал; 6 - вітрогенератор;

У наведеній гібридній схемі працюють спільно електротяговий комплекс 1-3 і тепловий насос 4-7. Джерелом енергії є електричний акумулятор 8. Кожен комплекс складається з окремих блоків, стан розвитку яких визначають економічну ефективність застосування на транспорті такого гібридного енергетичного пристрою.

В електромобілях тягові зусилля забезпечуються електричними двигунами. Такі двигуни працюють без шуму, володіють простим керуванням і в процесі роботи не виробляють шкідливих речовин для забруднення навколишнього середовища. Застосовувана електрична трансмісія вимагає меншої енергії для її функціонування, ніж звичайна механічна і, крім цього, зручна в регулюванні. Все це в сукупності дозволяє вважати, що найперспективнішим автомобілем майбутнього є електромобіль.

У багатьох країнах ведуться інтенсивні науково-технічні розробки в галузі вдосконалення електромобіля. Але електромобілі мало виготовляються автопромисловістю. Причини тут наступні:

1. Сучасні технології виробництва акумуляторів електричної енергії не дозволяють акумулювати великі потужності, що знижує як швидкість руху, так і величину пробігу.

2. Підзарядка акумуляторів не достатньо відпрацьована і тому для повної підзарядки акумуляторної батареї потрібно кілька годин.

3. Існуючі електромотори і генератори, які випускаються промисловістю, мають великі габарити і, відповідно, вагу.

4. Застосовувані матеріали і технологія виробництва ще не досконалі, тому вартість електромобіля істотно вище вартості автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння.

Коли стали застосовувати гібридні двигуни, то відпала необхідність застосовувати акумулятори великої електроємності, так як двигуни внутрішнього згоряння, обертаючи електрогенератор, постійно підживлюють акумулятор. У цьому випадку можна обійтися акумуляторною батареєю меншої електроємності. Крім цього виключається зовнішня періодична підзарядка акумуляторної батареї. У такій гібридній схемі дещо зменшилася витрата пального, що також не маловажно.

Наприклад, розроблений і промислово виготовляється гібридний двигун Lexus Rx400h. У цьому гібридному двигуні застосований V-подібний шестициліндровий двигун потужністю 150 кВт і містить два тягових електромотора по 200 кВт кожен, а також високовольтну акумуляторну батарею напругою 288 В. Тільки двигун має габарити 1500x900x1000 мм і вагою ~ 1000 кг. Витрата бензину в міських умовах

становить усього ~ 4 л на 100 км. Отже, застосування гібридних енергокомплексів на транспорті знімає перший два пункти, які стримують широке виробництво електромобілів промисловістю.

Існуючі електромотори і генератори застосовуються на транспорті в обмеженому масштабі. Це обумовлено тим, що їх масогабаритні характеристики не задовольняють вимогам, що пред'являються до електромобілів. В даний час намітилася тенденція створення мотор-генераторів магнітодинамічних, в якому ротор представляє набір постійних магнітів на обертовому диску, а статор містить набір електромагнітів, що живляться імпульсами струму певної частоти. При потужності 15 кВт магнітодинамічний мотор-генератор має діаметр 520 мм і товщину 160 мм, а загальна вага 39 кг. Аналогічний асинхронний електродвигун АІР-160S4 потужністю 15 кВт має розмір 350x435x130 і вагу 120 кг. За вагою магнітодинамічний мотор-генератори в три рази менше по вазі звичайних, що випускаються промисловістю, асинхронних електричних моторів, які можуть працювати і як генератори.

Магнітодинамічні мотор-генератори при порівняно невеликих габаритах володіють високою потужністю і є відкритою системою щодо навколишнього середовища. Вони дозволяють генерувати вільну енергію [6,7]. Перевага такого мотор-генератора полягає ще й в тому, що він дозволяє регулювати коефіцієнт тертя при гальмуванні транспортного засобу.

Електричний мотор-генератор магнітодинамічного типу перетворює механічну енергію в електричну в резонансному режимі і при цьому дозволяє реалізувати великі потужності, а, також, отримувати надлишкову енергію за рахунок взаємодії з навколишнім середовищем [4] внаслідок конвективного теплообміну за принципом роботи теплового насоса. Електромагнітний тепловий насос можна використовувати на будь-якому виді транспорту. Він має досить малі масо-габаритні характеристики, а теплообмін з навколишнім середовищем здійснюється всією площею транспортного засобу з потоком набігаючого повітря, тобто, реалізується величезний колектор теплового насоса [8].

Що стосується високої вартості електромобіля, то вона може бути значно знижена, якщо в гібридній схемі замінити ДВЗ на вихровий тепловий насос. Вихровий тепловий насос являє собою вітрогенератор, оснащений вентилятором і поміщений спільно з вентилятором в замкнутій повітряній об'єм, як це показано на Рис. 1. Вентилятор і вітрогенератор містяться в лопаті спеціальної конструкції, які описані в роботі [9,10].

При швидкості руху транспортного засобу 100 км / год вихровий тепловий насос на вході до вентилятора з чотирма лопатями і радіусом 15 см на вентиляторі і вітрогенераторі повністю забезпечить потужність в 150 кВт, яку виробляє бензиновий двигун в гібриді Lexus Rx400h. Частота обертання лопатей в вітрогенераторі складе 4870 об / хв, що припустимо для лопат з дюралі товщиною 10 мм і довжиною 150 мм.

Виходить, що вихровий тепловий насос здатний повністю компенсувати потужність споживання електроенергії тяговими двигунами від акумуляторної батареї. При цьому габарити складуть 700x350x350 мм, а вага - не більше 250 кг. Важливо відзначити наступний факт, що при падінні температури навколишнього середовища до - 300 С вироблювана потужність тепловим насосом падає тільки на 0,13%, тобто, практично не змінюється.

Висновки: Проведений аналіз застосування вихрового теплового насоса на транспорті свідчить про наступне:

1. Розроблено принципову схему транспортного гібридного енергокомплексу з вихровим тепловим насосом.
2. Показано, що розвиток електромобілів стримується великими масогабаритними характеристиками, що випускаються промисловістю, електромоторів і генераторів, а також акумуляторних батарей. Внаслідок цього вироблені електромобілі за вартістю значно перевершують автомобілі з ДВЗ.

3. Проведено порівняльний аналіз асинхронних електродвигунів і магнітодинамічних мотор-генераторів і встановлено, що в транспортних засобах електротяга повинна формуватися на основі застосування магнітодинамічних систем.

4. На вході вихрового теплового насоса знаходиться вентилятор, роль якого зводиться до того, щоб не допустити формування зворотного потоку повітря при відбитті від лопатей вітрогенератора і дещо збільшити швидкість потоку повітря, що надходить на хід теплового насоса внаслідок руху транспортного засобу.

5. Продемонстровано можливість повністю забезпечити енергоспоживання транспортним засобом від теплового насоса.

Список літератури: 1. *Гречихин Л. И.* Физика. Электричество и магнетизм. Современная электродинамика. – Мн.: ИООО «Право и экономика», 2008. – 302 с. 2. *Гречихин Л. И., Лапцевич А. А., Куць Н. Г.* Аэродинамика летательных аппаратов. – Мн.: ИООО «Право и экономика», 2012. – 285 с. 3. *Гречихин Л. И., Куць Н. Г.* Энергетические комплексы на транспорте. – Мн.: ИООО «Право и экономика», 2013. – 258 с. 4. *Kim Sung Chul, Kim Min Soo, Hwang In Chul, Lim Tae Won.* Performance evaluation of CO₂ heat pump system for full cell vehicles considering the heat exchanger arrangements. / *Ins. J. Refrig.* 2007. 30. № 7. P. 1195-1206. 5. *Wang Zhiyi, Wang Xinmin, Dong Zhiming.* Defrost improvement by heat pump refrigerant charge compensating. / *Appl. Energy*, 2008. 85. № 11. P. 1050-1059. 6. *Роуцин В. В., Годин С. М.* Экспериментальное исследование физических эффектов в динамической магнитной системе. // Международный конгресс – 2000. «Фундаментальные проблемы естествознания и техники». С.-Петербург, 2000, Т.1, №1, с.202-205. 7. *Хмельник С.И.* Автономный бестопливный электромагнитный генератор. Интернет: site “Spasebloom.net”. 2007. 8. *Володин В. И.* Влияние внутренних и внешних факторов на эффективность тепловых насосов. Препринт ИПЭ-22. – Мн.: ИПЭ АНБ, 1996. – 24 с. 9. *Гречихин Л. И.* Проблемы энергетики в современных условиях /Международный конгресс-2000 «Фундаментальные проблемы естествознания и техники». – С.-Петербург: СПбГУ. 2000. Т. 1. С. 99-103. 10. *Мазуров О.К., Кузнецов Н.В., Квакин С.Д.* Тепловые насосы и их эффективность для целей теплоснабжения и улучшения экологической обстановки. / *Изв. Рост. гос. строит. у-та.* 2006. № 10. С. 266-273.

Bibliography (transliterated): 1. *Grechikhin L.I.* Fizika. Electricity and magnetism. Modern electrodynamics. – Mn.: IOOO "Right and Economy", 2008. – 302nd Print. 2. *Grechikhin L.I., Laptevich A.A., N. G. Kuts* Aerodinamik's of aircraft. – Mn.: IOOO "Right and Economy", 2012. – 285th Print. 3. *Grechikhin L.I., N. G Kuts.* Power complexes on transport. – Mn.: IOOO "Right and Economy", 2013. – 258th Print. 4. *Kim Sung Chul, Kim Min Soo, Hwang In Chul, Lim Tae Won.* Performance evaluation of CO₂ heat pump system for full cell vehicles considering the heat exchanger arrangements. / *Ins. J. Refrig.* 2007. 30. No. 7 1195-1206. Print. 5. *Wang Zhiyi, Wang Xinmin, Dong Zhiming.* Defrost improvement by heat pump refrigerant charge compensating. / *Appl. Energy*, 2008. 85. No. 11. 1050-1059. Print. 6. *Roshchin V. V., S. M's Times.* A pilot study of physical effects in dynamic magnetic system. The international congress – 2000. "Fundamental problems of natural sciences and equipment". St.-Petersburg, 2000, T.1, No. 1, 202-205. Print. 7. *Hmelnik S. I.* Independent fuel-free electromagnetic generator. Internet: site "Spasebloom.net". 2007. 8. *Volodin V. I.* Influence of internal and external factors on efficiency of thermal pumps. IPE-22 pre-print. – Mn.: IPE NSA, 1996, 24-26 Print. 9. *Grechikhin L. I.* Power problems in modern conditions / International kongress-2000 "Fundamental problems of natural sciences and equipment". – St.-Petersburg: St.Petersburg State University. 2000. V. 1. 99-103. Print 10. *Mazur DC, Kuznetsov NV, Kvakina SD* Heat pumps and their efficiency for heating and environmental improvement. / *Math. Growth. state. builds. y Ta.* 2006. № 10 266-273. Print.

Надійшла (received) 03.02.2015