

Шифр: «Охолодження»

МОДИФІКАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ
УСТАНОВКИ ЗАДЛЯ БІЛЬШОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

2021

АНОТАЦІЯ

Актуальність роботи. Гібридні автомобілі прогресивні у всіх напрямках, особливо відносно класичних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, але поряд із прогресивністю стоїть архаїчність самої системи в цілому. Оскільки у більшості гібридів ДВЗ вмикається на холодну - його ефективність значно падає, особливо у холодні пори року. Отже необхідно перед запуском двигун підготувати (підігріти).

Об'єкт дослідження - процес охолодження гібридної силової установки.

Мета роботи - підвищення економічних і теплових показників ДВЗ у складі гібридної системи за рахунок створення спільного контуру ДВЗ та електродвигуна.

Задачі дослідження: провести аналітичний огляд існуючих систем охолодження гібридних силових установок; дослідити можливість покращення існуючих систем охолодження.

Методи досліджень: використані загальні методи аналітичних досліджень.

ГІБРИД, СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА, GENERAL MOTORS, GM VOLTEC

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВЗ...	6
ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕП.....	11
ПОБУДОВА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГСУ.....	16
ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ GM VOLTEC.	18
ВИСНОВКИ.....	19
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	20

ВСТУП

Система охолодження призначена для відводу надлишок тепла і підтримання нормального теплового стану двигуна. Нормальне температурний стан двигуна – це стан двигуна при якому температура основних деталей сприяє протіканню робочого процесу в найбільш сприятливих умовах і в той же час забезпечується висока працездатність і довговічність двигуна [1-3].

Для різних типів двигунів характерні різні теплові показники, робочі температури одного двигуна можуть бути несприятливими для іншого, основна задача сучасних інженерів – розробка такої системи охолодження, яка була б ефективна у роботі і у той же час була б дешева у виробництві і комфортна у обслуговуванні.

ДВЗ, як і тяговий електропривод може охолоджуватися трьома способами: рідинним, повітряним і комбінованим [4-9].

Щодня тисячі інженерів намагаються вдосконалити існуючі системи охолодження двигунів усіх типів, за останній час було винайдено кілька принципово нових систем. Свого роду революцію у 90-х роках здійснили японські інженери, вони запустили гібрид у маси, першою спробою були Honda Insight та Toyota Prius, інженери цих японських автовиробників вигадували інноваційні схеми систем охолодження, хоча гібридні схеми були різними, самі системи охолодження були схожими [10]. Першим інноватором була корпорація General Motors (GM) із своєю моделлю Chevrolet Volt – гібрид принципово нової схеми, який більше електромобіль ніж автомобіль з ДВЗ, з розробкою системи охолодження якого інженери GM гарно попрацювали, створивши систему типу «сендвіч», яка себе зарекомендувала як компактна і у той же час ефективна система [11]. У Європі даний автомобіль отримав іншу модифікацію у вигляді моделі Vauxhall/Opel Ampera.

Досить велика кількість науково-технічних публікацій присвячена питанням системи охолодження в гібридних автомобілях. Так, у статті [12] розглядаються питання відведення тепла від гібридних силових установок

Шифр: «Охолодження»

(ГСУ), що побудовані за різними схемами компонування. Проаналізовано різниця між тепловими навантаженнями, створюваними паралельної і послідовної трансмісією ГСУ. Вдосконалені системи управління температурним режимом (ATMS) можуть збільшити термін служби ДВЗ і компонентів системи охолодження, а також знизити витрату палива і викиди вуглецю. У роботі [13] представлений огляд декількох систем ATMS і дана критична оцінка їх потенціалу. Науковці в роботі [14] представили математичну модель випарного охолодження з вентиляторної подушкою для автомобільних акумуляторів гібридних автомобілів. Запропоновано двостороннє примусове повітряне випарне охолодження для забезпечення рівномірного охолодження осередків акумуляторної батареї.

Об'єкт дослідження - процес охолодження гібридної силової установки.

Мета роботи - підвищення економічних і теплових показників ДВЗ у складі гібридної системи за рахунок створення спільного контуру ДВЗ та електродвигуна.

Задачі дослідження: провести аналітичний огляд існуючих систем охолодження гібридних силових установок; дослідити можливість покращення існуючих систем охолодження.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВЗ

ДВЗ, може охолоджуватися трьома способами: рідинним, повітряним і комбінованим [3].

Замкнута система охолодження (комбінований тип) (рис. 1), яка зазнала найбільшого розповсюдження, вона являє собою гібрид повітряної та рідинної системи охолодження, від рідинної вона взяла теплоносій, а від повітряної - обдув радіатора за допомогою вентилятора. Тепло від циліндрів відводиться рідиною, після чого вона, на видаленні від теплонавантаженої частини двигуна, охолоджується в радіаторах повітрям. Внутрішні і зовнішні частини циліндрів відчують різний нагрів і зазвичай виконуються з окремих частин:

- внутрішня – робоча втулка або гільза циліндра;
- зовнішня – сорочка (у двигунів повітряного охолодження сорочка має ребра для ефективного відводу тепла).

Простір між ними називається зарубашечним, в двигуні з водяним охолодженням тут циркулює охолоджуюча рідина.

Система охолодження складається з сорочки охолодження блоку циліндрів, головки блоку циліндрів, одного або декількох радіаторів, вентилятора примусового охолодження радіатора, рідинного насоса, термостата, розширювального бачка, сполучних патрубків і датчика температури (рис. 2). Цей тип використовується на всіх сучасних автомобілях. Охолоджуюча рідина прокачується насосом через сорочку охолодження двигуна, забираючи від неї тепло, а потім охолоджується сама в радіаторі.

У цій системі існує два кола циркуляції рідини - великий і малий. Велике коло складають сорочка охолодження двигуна, водяний насос, радіатори (в тому числі - обігрівача салону), термостат. У мале коло входить сорочка охолодження двигуна, водяний насос, термостат (іноді радіатор опалення салону входить саме в мале коло).

Шифр: «Охолодження»

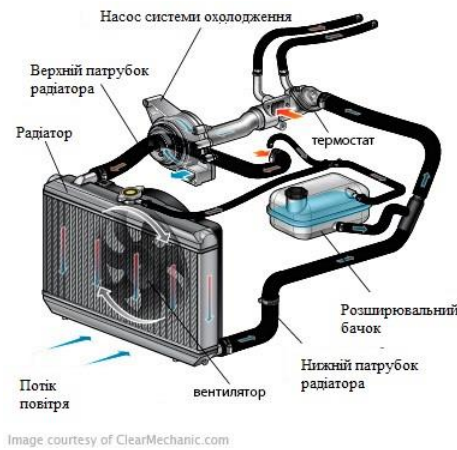


Рис. 1 – Компоненти системи охолодження ДВЗ

Регулювання кількості рідини між колами циркуляції рідини здійснюється термостатом. Маłe коло охолодження призначений для швидкого введення двигуна в ефективний тепловий режим. При цьому охолоджуюча рідина практично не охолоджується, тому що не проходить через радіатор. Як тільки вона нагріється до оптимальної температури, термостат відкривається, і охолоджуюча рідина починає циркулювати також і через радіатор, де безпосередньо і охолоджується потоком, що набігає повітря (а в разі тривалої стоянки – примусово вентилятором). При цьому, чим сильніше нагрівається охолоджуюча рідина, тим сильніше відкривається термостат, і тим сильніше рідина охолоджується в радіаторі. Це і є принцип підтримки оптимальної температури двигуна від 85 °С до 90 °С.

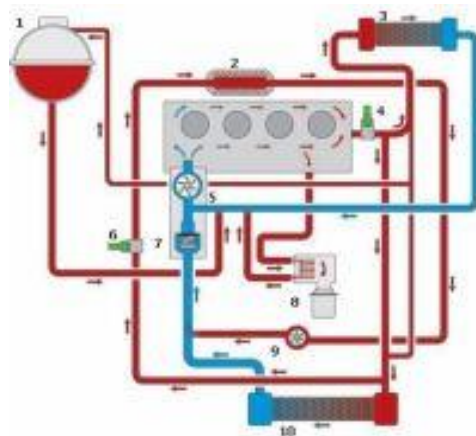


Рис. 2 – Система охолодження з системою рециркуляції відпрацьованих газів

Шифр: «Охолодження»

Дуже небезпечним явищем є перегрів двигуна (кипіння двигуна).

При цьому охолоджуюча рідина в прямому сенсі закипає в сорочці охолодження, що дуже часто призводить до серйозних наслідків і дорогого ремонту.

Для попередження перегріву двигуна логічно застосовувати рідини з високою температурою кипіння, однак найпростіше виявилось тримати всю систему під деяким надлишковим тиском (близько 1,1 атм), при якому підвищується температура кипіння охолоджуючої рідини (близько 110° С і 120° С для води і антифризу відповідно). Крім того, при перевищенні температури охолоджуючої рідини більше 105° С, включається примусовий обдув радіатора вентилятором [2].

Система повітряного охолодження двигуна [4]. Можна вирізнити 2 типи систем повітряного охолодження: природного (рис. 3) і типу примусового (рис. 4).



Рис. 3 – Система природнього повітряного охолодження

Природнє повітряне охолодження є найпростішим видом охолодження.

Тепло від двигуна з такою системою охолодження передається в навколишнє середовище через розвинуте ребра на зовнішньої поверхні циліндрів, зазвичай такі системи не мають навіть вентилятора, а саме охолодження відбувається або за допомогою мастила або обдувається на

Шифр: «Охолодження»

відкритому повітрі, звичайно що такі двигуни потребують такого розташування, щоб вони могли самостійно обдуватися повітрям.

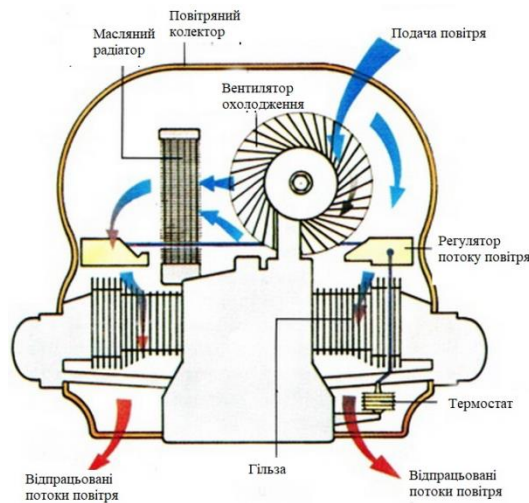


Рис. 4 – Система примусового повітряного охолодження

Тепло від двигуна з такою системою охолодження передається в навколишнє середовище через розвинуте ребра на зовнішньої поверхні циліндрів, зазвичай такі системи не мають навіть вентилятора, а саме охолодження відбувається або за допомогою мастила або обдувається на відкритому повітрі, звичайно що такі двигуни потребують такого розташування, щоб вони могли самостійно обдуватися повітрям.

В системі примусового повітряного охолодження є вентилятор і ребра охолодження. Кожух покриває вентилятор і ребра. Це сприяє напрямку повітряного потоку і перешкоджає проникненню тепла ззовні.

Принцип дії цієї системи полягає у відведенні тепла від стінок головки і циліндрів потоком повітря, що нагнітається лопатками вентилятора, який приводиться в дію клиноподібним пасом від колінчатого валу двигуна через шків. Повітряний потік від вентилятора напрямним кожухом спрямовується через щілини між дефлекторами на зовнішні поверхні циліндрів і до головок циліндрів.

Для збільшення площі відведення тепла циліндри і головки виготовляють з ребрами. Тепловий режим двигуна регулюють за допомогою жалюзі на виході

Шифр: «Охолодження»

повітря або дроселюванням потоку повітря на вході у вентилятор (встановленням спеціального диску взимку). Тепловий стан двигуна контролюють сигналізатором перегрівання, датчик якого встановлений у головку циліндра. Нормальна робота двигуна характеризується температурою масла в системі змащення не більше 95°C.

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

За способами охолодження електричні машини поділяють на два види: машини з природним охолодженням і машини з штучним охолодженням.

Повітряні системи охолодження електричних двигунів. Повітряні системи у свою чергу поділяються на системи з природним і штучним охолодженням.

Природне охолодження електричних машин. Ці машини не мають вентиляторів або будь-яких інших пристроїв, що сприяють охолодженню машини. Охолодження відбувається природним шляхом за рахунок теплопровідності і конвекції та за допомогою корпусного радіатора (рис. 5, а).

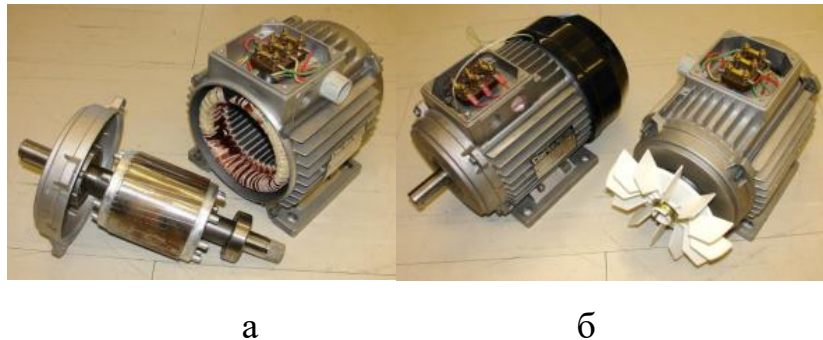


Рис. 5 – Система охолодження електродвигуна: а – природна;
б – примусова

Теплопровідність - це передача теплоти всередині твердого тіла від більш нагрітих до менш нагрітих верствам. Наприклад, пазові частини обмотки статора, нагріваючись, передають теплоту через шари пазової ізоляції в сердечник. Через місця кріплення сердечника теплота передається в корпус статора.

Конвекція полягає в тому, що частинки газу (повітря), що стикаються з поверхнею нагрітого тіла (лобові частини обмоток, сердечники, корпус), нагріваються, стають легше і піднімаються вгору, поступаючи місцем менш нагрітих частинок, і т.д. Таку конвекцію називають природною. Під обертається машині має місце ще і штучна конвекція, обумовлена обертанням ротора, який

Шифр: «Охолодження»

створює примусову циркуляцію газу (повітря), що підсилює ефект конвекції всередині машини.

Штучне охолодження електричних машин. У цих машинах застосовують спеціальний пристрій, зазвичай вентилятор, який створює спрямований рух газу, що охолоджує нагріті частини машини. Значну групу машин з штучним охолодженням становлять машини з самовентиляцією, у яких вентилятор закріплений на власному валу машини; в процесі роботи він, обертаючись, створює аеродинамічний натиск. Самовентиляція може бути зовнішньої і внутрішньої.

При зовнішньої самовентиляція повітрям обдувається зовнішня поверхня корпусу статора. Машина в цьому випадку має закрите виконання з ребристою поверхнею (для збільшення поверхні охолодження).

При внутрішньої самовентиляція в корпусі і підшипникових щитах машини роблять спеціальні отвори, через які повітря з навколишнього машину середовища проникає всередину машини, охолоджує її, а потім викидається назовні.

На валу машини тоді закріплений відцентровий вентилятор (рис. 5, б) .

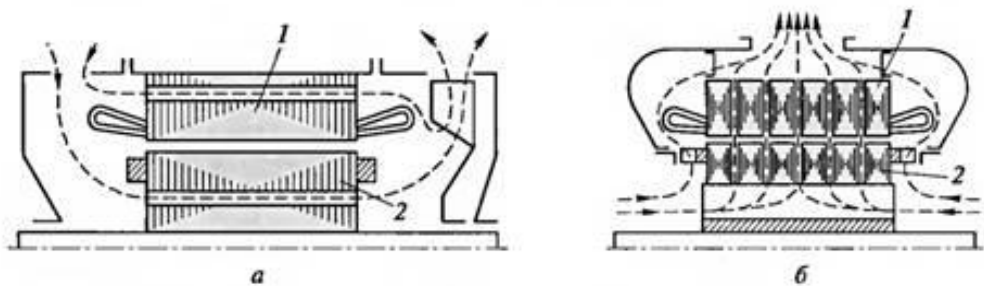
Обертаючись разом з валом машини, він затягує через отвір у правому підшипниковому щиті повітря, створюючи всередині машини аеродинамічний натиск, під дією якого повітря проходить через внутрішню порожнину машини. Повітря проходить через вентиляційні канали, зазор і межполюсні простір (при явнополюсної конструкції машини). При цьому він «омиває» нагріті частини машини і відбирає у них теплоту і нагрітим виходить через спеціальні отвори (жалюзі) в лівому підшипниковому щиті з боку, протилежного вентилятору.

Для більш ефективного охолодження в муздрамтеатрі деяких електричних машин роблять вентиляційні канали, через які проходить охолоджуючий газ. Вентиляційні канали називають аксіальним, якщо вони розташовані паралельно осі машини, і радіальними, якщо вони розташовані перпендикулярно цій осі. Вентиляцію, при якій охолоджуючий газ переміщається уздовж осі машини, називають аксіальною, якщо ж газ

Шифр: «Охолодження»

переміщається перпендикулярно осі машини по радіальних каналах, то вентиляцію називають радіальною.

Радіальні (рис. 6, б) вентиляційні канали виходять розподілом загальної довжини сердечника на пакети від 40 мм до 60 мм. Між пакетами залишають проміжки по 10 мм, які і є радіальними каналами. Іноді в машинах застосовують радіально-осьову вентиляцію. У двигунах з регулюванням потужності “вниз” від номінальної при малій частоті обертання самовентиляція стає малоефективною, що веде до надмірного перегріву машини. Тому в таких двигунах доцільно застосування незалежної вентиляції, коли вентилятор має власний привід (частота обертання останнього не залежить від режиму роботи машини).



1 – статор; 2 – ротор

Рис. 6 – Системи вентиляції: а – аксіальна; б – радіальна

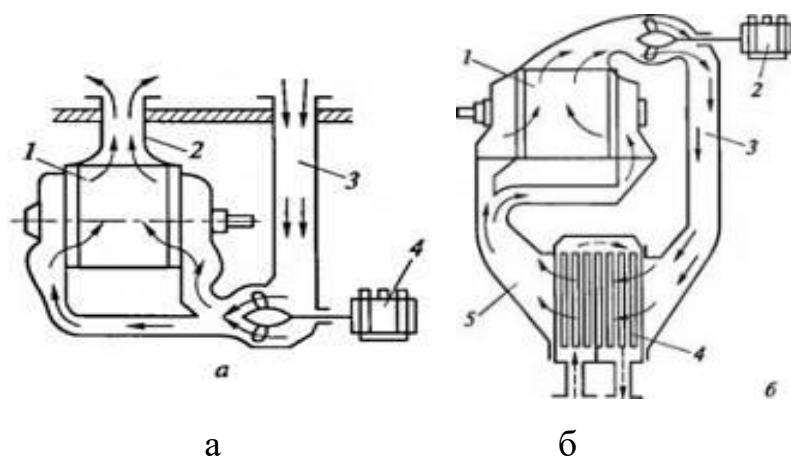


Рис. 7 – Незалежні системи вентиляції: а – розімкнена; б – замкнута

Незалежну вентиляцію застосовують також для охолодження електричних машин, що працюють у вибухонебезпечній або хімічно активному

Шифр: «Охолодження»

середовищі. В цьому випадку вентилятор 4 (рис. 7, а) через трубопровід 3 нагнітає повітря в машину 7 і по трубі 2 викидає його назовні. Така система незалежної вентиляції називається розімкнутої на відміну від замкнутої системи (рисунк 7, б). Один і той же обсяг газу циркулює в замкнутій системі, що складається з двигуна (об'єкт охолодження) 7, незалежного вентилятора 2, трубопроводів 1 і 5 і радіатора охолоджувача 4. Проходячи через радіатор 4, нагрітий в машині газ охолоджується за допомогою холодної води, що проходить через радіатор (пунктирні стрілки на рис. 6, б).

Рідинна система охолодження електроприводу. Рідинна система охолодження зазвичай представляє собою один контур, зазвичай це охолодження статора, оскільки такий тип охолодження значно простіше виконати, необхідно лише зробити канали у статорі (рис. 8). Рідше використовується система охолодження ротора у масляній ванні, але така система досить складна і ненадійна

Для відводу тепла з обмотки статора, вузла ведучий міст-коробка передач і трансмісії як Toyota так і більшість виробників використовують унікальний контур охолоджувача інвертора. Цей контур охолоджувача є окремою системою, ніяк не пов'язану з системою охолодження двигуна автомобіля, і служить для відводу тепла від силової електроніки інвертора, яка, в свою чергу, управляє генераторами автомобіля. Належна експлуатація цієї системи охолодження має велике значення для інвертора автомобіля, а також для вузла ведучий міст-коробка передач або трансмісії.

Опис роботи системи.

Безщітковий електричний насос з робочою напругою 12 В переміщує охолоджувач від радіатора, встановленого попереду, до каналів охолодження інвертора. Цей радіатор є окремим блоком. Однак існують модифікації, де він інтегрований з радіатором системи охолодження двигуна в один блок, але охолоджувачі обох систем фізично розділені.

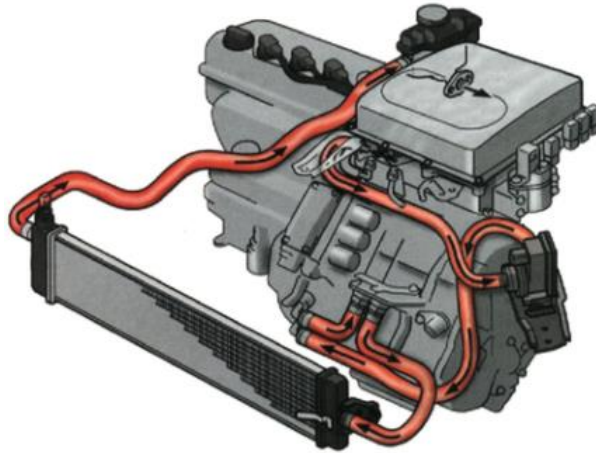


Рис. 8 – Система рідинного охолодження електроприводу Toyota

Коли охолоджувач інвертора надходить в канали свого контуру, він побічно поглинає теплове випромінювання силової електроніки інвертора. Після цього він надходить в канали охолоджувача на вузол ведучий міст-коробка передач або трансмісії через шланги. Поглинувши додаткове тепло з основних двигунів-генераторів автомобіля, охолоджувач повертається в радіатор, щоб, проходячи через нього, розсіяти тепло в повітрі.

Цей охолоджувач за складом такий же, як і охолоджувач, який використовується в системі охолодження двигуна автомобіля. Але він зазвичай використовується при більш низькому тиску, яке може коливатися в залежності від моделі автомобіля від $\sim 0,34$ бар в ранніх системах, до 1 бара в Prius 2010. Так як система охолодження призначена для зменшення, а не для регулювання температури, там відсутня термостат. В системі охолодження є один або кілька клапанів прокачування гальмівної системи, які служать для відведення повітря з системи, після замінені охолоджувача. Для обслуговування системи так само можуть використовуватися пристрої, заповнені вакуумом.

ПОБУДОВА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

Зазвичай (у більшості випадків) застосовується роздільна система охолодження ДВЗ та ЕП, з різними радіаторами. У таких систем багато переваг, проте існує певний ряд недоліків, серед яких особливо треба виділити громіздкість радіаторів, їхню кількість. Звичайно розробники намагалися поєднати у одному радіаторі декілька теплових контурів (ДВЗ/ЕП у Toyota Prius та ЕП/Інвертор у Chevrolet Volt) [10].

Особливої позначки заслуговує система охолодження Chevrolet Volt, там використовується система “бутерброду із радіаторів”, яку GM називають Combined Battery Cooling Radiator.

Така система виглядає досить цікавою та складною із точки зору конструкції, схема побудови такого “бутерброду” дозволяє охолоджувати усі системи з підвищеним тепловиділенням одночасно і доволі ефективно з високим ступенем незалежності.

ГСУ сучасних легкових автомобілів далекі від досконалості. Серед найрозповсюдженіших систем можна виділити BMW eDrive, Mercedes BlueTec, Chevrolet Voltec, Toyota Hybrid Synergy Drive. Кожна система має ряд недоліків та переваг, на даному етапі доцільно розглядати системи Шевроле та Тойота. Вони різні за будовою, “Тойотівський” гібрид виконаний за схемою послідовно – паралельного з’єднання: двигун внутрішнього згоряння, генератор і електродвигун механічно пов’язані один з одним і з колесами за допомогою планетарного редуктора, що дозволяє доволі змінювати потоки потужності між цими вузлами. Схема реалізована в автомобілях Toyota, наприклад, Toyota Prius чи RAV4. Така схема має досить багато переваг, у тому числі і паралельний рух на обох видах тяги. Система Шевроле Вольтек зовсім інакша, у ній основний рушій – електродвигун, за відгуками власників Chevrolet Volt, вони майже 90 % часу пересуваються на електротязі, оскільки ДВЗ у Вольті хоч і є, але він працює лише у критичних моментах – коли рівень заряду тягової

Шифр: «Охолодження»

АКБ падає нижче встановленого рівня в 30 %, тоді двигун починає працювати у режимі генератора, лиш трохи допомагаючи провертати колеса електродвигуну.

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ GM VOLTEC

Пропонується приєднати систему охолодження електроприводу до внутрішнього контуру ДВЗ, запрограмувати систему охолодження для підтримання температурного діапазону електродвигуна до 50° С, за допомогою клапанів регулювати підігрів ДВЗ при температурах до 50° С, та обмежувати нагрів електродвигуна при температурах більше за вказану позначку. А отже система буде мати 3 стани:

- водій щойно сів за кермо і запустив бортові системи – електродвигун охолоджується лише повітрям;
- початок руху – електродвигун охолоджується через внутрішній контур охолодження двигуна;
- заряд батареї під час руху впав нижче 30%, і є необхідність ще пересуватися - вмикається вже підігрітий двигун і кожна силова установка охолоджується окремо.

ВИСНОВКИ

Така система дозволяє підвищити ККД гібридної системи за рахунок “теплого” старту ДВЗ, тобто його втрати при холодному запуску зводяться нанівець. У Chevrolet Volt така схема буде більш доречна ніж у Toyota Prius за рахунок того, що ДВЗ у першому випадку використовується лише у крайньому разі, і при запуску класичного двигуна він уже буде непогано підігрітий, інша справа – Toyota Prius, там при холодному запуску спочатку заводиться ДВЗ, який прогріває всі системи, тобто вся економія зводиться к нулю. Окрім всього подібну модифікацію можна адаптувати і до інших гібридних систем (наприклад BMW з їхньою моделлю I8, у якої система охолодження у загальних рисах подібна до системи охолодження Chevrolet Volt). Однак якою б гарною ця система не була – вона має і свої мінуси – в першу чергу це зменшена надійність у зв’язку з додаванням у систему нових рухомих деталей.

1. Бажинов О.В., Гнатов А.В., Смирнов О.П. та ін. Гібридні автомобілі: монографія. - Х. : ХНАДУ, 2008 327с.
2. Ревин А. За рулем. Система охлаждения ДВС: как устроена и надо ли промывать ее зимой? URL: <https://www.zr.ru/content/articles/909838-sistema-okhlazhdeniya-nuzhno-li-e/>
3. НЛТУУ. Будова систем рідинного і повітряного охолодження двигунів. URL: <https://nltuu.com.ua/archives/136>
4. Blamper. Система воздушного охлаждения двигателя. URL: <https://blamper.ru/auto/wiki/dvigatel/sistema-vozdushnogo-okhlazhdeniya-dvigatelya-2897/>
5. Hnatov A., Arhun S., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport. International journal of Automobile and Mechanical Engineering. 2017. 14(4). P. 4649-4664. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>
6. Рогозін І.В., Новічонок С.М., Гнатов А.В., Рогозіна А.І. Спосіб розрахунку основних параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів. Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. ХНАДУ, 2018. №13. С. 5-12.
7. Гнатов А.В. Передпусковий підігрівач для бензинового двигуна. Особливості застосування. Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Серія Автомобіле- та тракторобудування - 2015. - №8(1117). - С. 58-63.
8. Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Ульянец О.А. Энергосберегающие технологии на транспорте. Луцьк: Наукові нотатки, В.55. 2016. С.80-86
9. Аргун Щ.В., Гнатов А.В. Электромобиль и его тяговый электропривод с асинхронным двигателем: монография. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. - 216 с.
10. Автоцентр. Как работает гибрид Toyota. URL: <https://www.autocentre.ua/opyt/tehnologii/yak-pratsyuje-gibrid-toyota-306908.html>

Шифр: «Охлаждения»

11. Chevy Volt Electric Car Site. URL: <https://www.gm-volt.com/>
12. El-Ladan A.D., Haas O.C.L. Fan-pad evaporative battery cooling for hybrid electric vehicle thermal management. IET. 2015. DOI: 10.1049/cp.2015.0901
13. Staunton N., Pickert V., Maughan R. Assessment of advanced thermal management systems for micro-hybrid trucks and heavy duty diesel vehicles //2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. – IEEE, 2008. – S. 1-6.
14. El-Ladan A. D., Haas O. C. L. Fan-pad evaporative battery cooling for hybrid electric vehicle thermal management. – 2015. DOI: 10.1049/cp.2015.0901.