

Підвищення ефективності функціонування машинно-тракторних агрегатів шляхом утилізації тепла охолоджувального контура двигуна

Розглянуто спосіб підвищення ефективності функціонування машинно-тракторних агрегатів за рахунок трансформації тепла двигуна трактора в механічну енергію, яка накопичується супермаховиком та використовується для руху агрегата на холостому ході з припиненням подачі палива у двигун.

Ключові слова: ефективність, машинно-тракторні агрегати, утилізація тепла, охолоджувальний контур двигуна, супермаховик.

Суть проблеми. У зв'язку зі вступом України до Всесвітньої торгівельної організації, перед сільгоспвиробниками постало завдання виробництва конкурентоспроможної і високорентабельної продукції, зокрема за рахунок раціонального використання виробничих фондів і нафтопродуктів. Одним з перспективних напрямів вирішення цього завдання є максимальне використання можливостей машинно-тракторних агрегатів (МТА) шляхом утилізації тепла охолоджувальної сорочки двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) трактора, що забезпечить економію паливно-мастильних матеріалів, зменшить негативний вплив на екологічний стан довкілля та підвищить ефективність виробництва. Тепловий баланс дизеля розподіляється таким чином, що на корисну роботу витрачається близько 45% теплової енергії, з відпрацьованими газами та випромінюванням відводиться близько 30%, а до системи охолодження надходить 25% енергії [1, 2].

В сучасних тракторах енергія вихлопних газів використовується у турбонаддуві двигуна, реалізованого за патентом В. Шнайдера [3], тому, виходячи з теплового балансу дизеля, залишається використовувати енергію робочого тіла охолоджувальної сорочки ДВЗ, що не виключає розроблення схем підживлення системи нетрадиційними джерелами енергії.

Огляд літератури. Відомий спосіб утилізації тепла водяної сорочки двигуна трактора забезпечує накопичення тепла від теплоносіїв з подвійним його використанням – для нагрівання та охолодження [4].

Цей спосіб не забезпечує отримання механічної енергії, а акумулює тепло, накопичуючи енергію за рахунок трансферу тепла від водяної охолоджувальної сорочки та вихлопних газів через теплообмінник.

Крім того, відомий винахід для підвищення ККД двигуна дозволяє використовувати лише вихлопні гази для перетворення їх енергії в механічну без можливості використання тепла охолоджуваної водяної сорочки [5].

В сучасних моделях тракторів енергія вихлопних газів використовується у турбонаддуві ДВЗ, тому останній спосіб є застарілим.

Основний зміст. Завданням дослідження є створення принципу підвищення ефективності функціонування машинно-тракторного агрегата (МТА) під час виконання механізованої технологічної операції, сут-

ність якого полягає в тому, що тепло, яке генерується двигуном, збирається в охолоджувальному водяному контурі, далі перетворюється в механічну енергію двигуном Стірлінга та акумулюється за допомогою супермаховика. Під час виконання технологічної операції в режимі робочого ходу теплова енергія перетворюється та накопичується супермаховиком. В режимі холостого ходу замість двигуна рушійною силою є супермаховик, який під'єднується до силової передачі, а вприскування палива в двигун призупиняється, внаслідок чого зменшується використання паливно-мастильних матеріалів, покращується екологічна та економічна складові.

Поставлене завдання вирішується таким чином: теплоносієм водяної сорочки двигуна 1 з температурою 80-90 °С нагріває головку циліндра двигуна Стірлінга 2. Робоче тіло, яке знаходиться в камері нагріву циліндра нагрівається та виконує роботу, переміщуючи робочий поршень 3. Під час наступного такту витискувальний поршень 4 рухається таким чином, що змушує зміститись нагріте робоче тіло в зону охолодження через рекуператор тепла в камеру охолодження. Повертаючись назад, робочий поршень збільшує об'єм камери охолодження ще більше, знижуючи температуру робочого тіла, далі витискувальний поршень переміщується назад, витискуючи робоче тіло з камери охолодження в камеру нагрівання, попередньо отримуючи тепло від рекуператора, після чого процес повторюється. Супермаховик 5, з'єднаний механічною передачею з маховиком двигуна Стірлінга, здатен накопичувати енергію та миттєво її віддавати. Виконано супермаховик зі сталевих витків та підвішено на магнітному полі у вакуумі для нівелювання шкідливого тертя (рис. 1).

В режимі холостого ходу функціонування МТА паливо перестає подаватись у двигун, тим часом пристрій для передачі крутного моменту супермаховика під'єднується до рушіїв трактора та передає тягове зусилля до рушіїв трактора, змушуючи агрегат переміститись.

Проаналізуємо роботу МТА (рис. 2, б) на прикладі трактора «Беларус 3022» з такими характеристиками: маса – 12 т, потужність – 300 к.с., витрата пального – 183 г/(к.с.·год), агрегатованого з сільгоспмашиною «Лідсельмаш АПП-6П» з такими характеристиками: маса – 7 т, робоча швидкість – 10 км/год.

При довжині гону 500 м (рис. 2, а) час роботи агре-

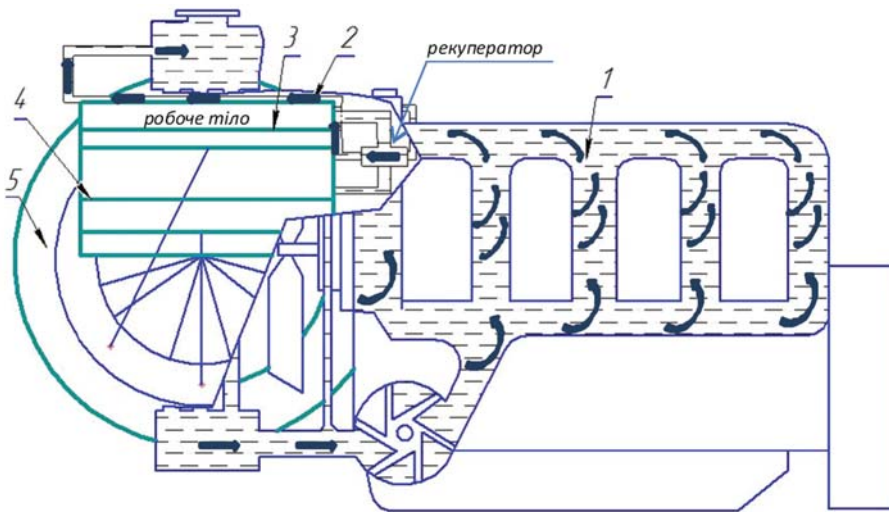


Рис. 1 – Схема пристрою для утилізації тепла ДВЗ трактора складається з таких частин: 1 – водяна охолоджувальна сорочка ДВЗ трактора; 2 – головка циліндра двигуна Стірлінга; 3 – робочий поршень; 4 – витискувальний поршень; 5 – супермаховик

гата на робочому ходу становить 3 хв. За рівня витрати палива 54 кг/год буде витрачено 2,7 кг палива на один прохід по гону.

З розрахунку того, що на охолоджувальну систему дизельного двигуна використовується близько 25% тепла палива, кількість енергії, спожитої охолоджувальною системою, становить близько $2,7 \text{ кг} \cdot 46 \text{ МДж/КГ} \cdot (25\%) / (100\%) = 32,2 \text{ МДж}$.

Маса машинно-тракторного агрегата становить 19 т. На холостому ходу швидкість агрегата становить близько 2 м/с. Отже, необхідна потужність становитиме:

$$W = m \cdot g \cdot k \cdot v = 19000 \cdot 9,8 \cdot 0,1 \cdot 2 = 37,2 \text{ кВт.}$$

Час руху агрегата на розвороті – близько 45 с, звідки кількість необхідної енергії становитиме:

$$E = W \cdot t = 37,2 \cdot 45 = 1,68 \text{ МДж.}$$

Двигун Стірлінга працює в 4-тактному режимі, тому на робочий такт припадає 1 частина всієї теплової енергії охолоджувальної рідини сорочки двигуна та становить $32,2 \cdot 1/4 \approx 8 \text{ МДж}$.

При 240 обертах за хвилину маховика двигуна Стірлінга на одну секунду припадає 4 оберти, а значить, на один хід робочого поршня оберту маховика буде витрачатись $8 \cdot (1/4) \cdot (1/180) = 11 \text{ кДж}$ тепла охолоджувальної рідини.

Робочим тілом є гелій [6] з теплоємністю 5190 Дж/(кг·К). Тоді необхідний об'єм гелію становитиме:

$$V = \frac{E_1}{\varepsilon \cdot K \cdot \rho} = \frac{11}{5,19 \cdot 50 \cdot 0,178} = 0,238 \text{ м}^3.$$

При збільшенні температури у камері нагріву також збільшується тиск, що й приводить в рух робочий поршень. Розрахувати тиск можна за рівнянням Менделєєва-Клапейрона $PV = mRT$. Якщо замість молярної маси використовувати значення маси в кілограмах, то після перетворення отримаємо: $P = \rho RT$. Підставивши показники, отримаємо максимальне значення тиску в камері – 46,2 кПа.

Чим більша площа циліндра двигуна Стірлінга, тим більше зусилля, докладене до маховика. Якщо прийняти довжину та ширину: 1 м та 0,4 м відповідно, тоді корисне зусилля становитиме $F = P \cdot S = 46,2 \cdot 0,4 = 18,5 \text{ кН}$.

Нині в ужитку п'ять основних типів маховиків (рис. 3).

Загальновідомо, що енергія кожного кілограма маховика залежить від його форми і міцності. Оцінюючи вищезазначені типи маховиків (рис. 3) за цими критеріями, виявляємо, що маховик у вигляді диска з отвором – найменш ефективний внаслідок недостатньої міцності матеріалу, з якого він виготовлений: це, як правило, сталеві поковки або відливання.

Далі за рівнем ефективності накопичення енергії йде маховик, виготовлений у вигляді обода зі спицями. Такий маховик накопичує енергію в кожному кілограмі своєї маси в півтора рази і більше. Однак з'ясовано, що вигідніше розміщувати масу не далі від центра, а навпаки, ближче до центра. З огляду на це з'явилися маховики, виготовлені тонкими по краях з наростанням товщини до середини – диски «рівної міцності». Енергії вони можуть накопичити в два рази більше, ніж обід зі спицями, і в три рази більше, ніж диск з отвором при тій же масі маховика.

Розглянемо наступний варіант. Це супермаховик. Найпростіший приклад – це шматок троса, затиснутий в кільцевому затискачі-оправці, яка в свою чергу

посаджена на вал. Оскільки міцність дроту (сталеві струни) вище міцності монолітного сталевого шматка приблизно в п'ять разів, то супермаховик зі струни за інших рівних умов накопичить енергії в стільки ж разів більше, ніж звичайний маховик з тією ж масою.

Великі перспективи обіцяють так звані кільцеві супермаховики. Такий супермаховик являє собою кільце, навите з високоміцного волокна і вміщене у вакуумну камеру у формі бублика – тора. Кільцевий супермаховик утримується в камері в підвішеному стані за допомогою магнітних опор, розміщених в декількох місцях по колу.



а



б

Рис. 2 – Умови виконання агротехнологічної операції (а) агрегатом Беларус 3022 + Лидсильмаш АПП-6П (б)

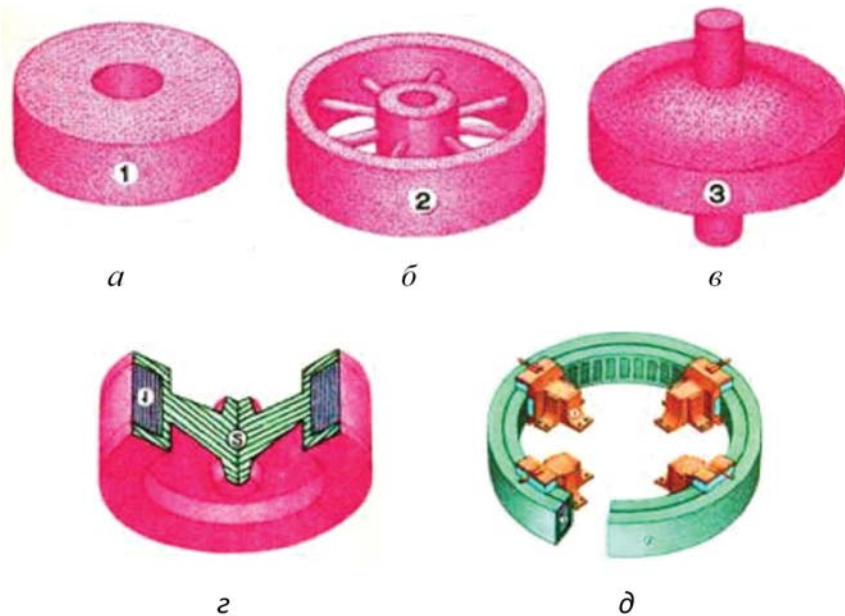


Рис. 3 – Огляд типів маховиків [7]: а – диск з отвором; б – обід зі шпичками; в – диск рівної міцності; г – супермаховик; д – кільцевий маховик

З урахуванням усього вищевикладеного з усіх варіантів вибираємо супермаховик. Для супермаховиків, крім міцності і розмірів, вирішальне значення має їх маса. Як не парадоксально, але чим легший супермаховик та міцніший, тим краще. Щільність енергії маховика визначається питомою міцністю, тобто відношенням міцності до питомої ваги матеріалу.

Відомо, що ємність супермаховика визначається частотою обертання, масою і його геометричними розмірами (зовнішнім і внутрішнім радіусом).

Запас енергії супермаховика визначають за формулою:

$$E = \frac{J}{2} (\omega_1^2 - \omega_2^2), \text{ Дж},$$

де ω_1^2 – максимальна кутова швидкість обертання супермаховика, рад/с; ω_2^2 – мінімальна кутова швидкість обертання супермаховика, рад/с; J – момент інерції, кгм².

Прийемо швидкість обертання диска 14400 об/хв. Тоді момент інерції дорівнюватиме:

$$J = \frac{2 \cdot 2,2 \cdot 10^6}{\left(\frac{14400}{60} \cdot 2\pi\right)^2} = 2,11 \text{ кгм}^2.$$

Знайдемо геометричні параметри супермаховика:

$$J = \frac{M}{2} (R^2 + r^2),$$

де M – маса, кг; R – зовнішній радіус супермаховика, м; r – внутрішній радіус супермаховика, м.

Тоді $(R^2 + r^2) = (2 \cdot J) / M = (2 \cdot 2,11) / 20 = 0,084 \text{ м}^2$.

Прийемо $r = 0,13 \text{ м}$, тоді

$$R = \sqrt{0,0844 - 0,13^2} = 0,26 \text{ м}.$$

З рівняння знайдемо товщину диска:

$$M = ((R^2 - r^2) \cdot \pi \cdot h \cdot \rho), \text{ кг},$$

де h – товщина, м; ρ – щільність матеріалу, з якого виготовлено супермаховик, кг/м³.

$$\text{Звідси } h = \frac{M}{\pi(R^2 - r^2)\rho}.$$

Підставивши показники, отримаємо:

$$h = \frac{50}{\pi(0,26^2 - 0,13^2) 7800} = 0,04.$$

Потужність, що видається маховиком у продовж 45 секунд холостого ходу, становитиме:

$$W = 2,4 \frac{10^6}{45} = 53,3 \text{ кВт}.$$

Цього достатньо для виконання умови $53,3 > 37,2$.

Висновок. В цілому коефіцієнт корисної дії (ККД) аналогічних установок становить 60-70%. Наявні промислові зразки мають ККД 30%. Приймавши таке значення ККД, отримаємо, що реальна відібрана енергія охолоджувальної рідини становить 2,4 МДж. Цього достатньо для виконання умови пересування трактора на холостому ходу за рахунку енергії, накопиченої супермаховиком.

Список літератури

1. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Пер. с чеш. В.Б. Иванова; под ред. А.Р. Бенедиктова. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.: ил.
2. ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДВС [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступа до стат.: <http://dvpt.narod.ru/ru/history/index13/> – Назва з екрану.
3. Patent № 4565068 United States, F02B 37/00, 60/62. TURBOCHARGER / Wilfried Schneider; №573498; filed 24.01.1984; date of patent 21.01/1986.
4. Патент № 2172413 Росії, F01P3/22, F82G5/04. Теплоутилизационное устройство поршневого двигателя внутреннего сгорания (Курский государственный технический университет, №2000108853/06; заявл. 07.04.2000, опубл. 20.08.2001).
5. Патент №2117803 Росии, F02G5/00. Способ повышения КПД двигателя внутреннего сгорания за счет утилизации тепловой энергии двигателя / Безденежных Вадим Сергеевич; № 93017744/06; заявл. 06.04.1993; опубл. 20.08.1998.
6. Гелий – Википедия [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступа до стат.: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Гелий> – Назва з екрану.
7. Маховики для маховичного накопителя [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступа до стат.: <http://sersalaev.narod.ru/index.files/flywheel4.htm> – Назва з екрану.

Аннотация. Рассмотрен способ повышения эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов за счет трансформации тепла двигателя трактора в механическую энергию, которая накапливается супермаховиком и используется для движения агрегата на холостом ходу с прекращением подачи топлива в двигатель.

Summary. A method for improving the efficiency of the machine and tractor units by transforming heat the tractor into mechanical energy, which is stored super flywheel and is used to move the machine at idle with the termination of the fuel supply to the engine.