

УДК 532.528, 539.621

А.Г. Кузьменко, проф., д-р техн. наук, С.В. Милятинський, асп.
Хмельницький національний університет

Дослідження перетворення механічної енергії в теплову при терті твердих і рідких тіл

В статті наведено передумови створення багатофункціональних фрикційних теплогенераторів. Приведені методика і результати дослідження тепловиділення при терті в рідині і розглянута можливість використання явища кавітації, як активатора нагріву рідини. Досліджено тепловиділення при терті ковзання твердих тіл.

тепловиділення при терті, кавітація, перетворення механічної енергії в теплову

1. Постановка задачі.

Історія розвитку людства тісно пов'язана з отриманням і використанням енергії. Головним джерелом були й досі залишаються невідновлюємі або маловідновлюємі вуглеводневі корисні копалини.

В щорічному докладі „Статистичний огляд світової енергетики 2009” британської компанії British Petroleum наводяться данні, які вказують, що існуючих на сьогоднішній день підтверджених запасів нафти в світі вистачить на 42 роки всесвітнього споживання, природного газу на 60 років а кам'яного вугілля на 122 роки [1]. Така обмеженість кількості нафти і газу, постійне підвищення їх вартості а також екологічні проблеми, викликані видобуванням і споживанням даних природних ресурсів, ставить перед людством завдання освоєння екологічно чистих відновлюємих, або, так званих, нетрадиційних джерел енергії і розробку нових технологій, які б знизили залежність сучасної людини від вуглеводнів.

Енергія Сонця і вітру є невичерпною і не вносить, практично, змін у природу, тому її використання і є основним напрямком розвитку альтернативної енергетики.

За даними „Програми ООН з розвитку світової енергетики” вітроенергетичний потенціал України складає 330 млн. МВт і перевищує загальну встановлену номінальну потужність електростанцій країни в 6 тисяч разів [2].

Вітроагрегати мають високі перспективи розвитку в сільськогосподарських районах для автономного обігріву і забезпечення енергією сільськогосподарської техніки. До того ж, це відповідає сучасній тенденції в енергетиці до локальної генерації енергії, тобто будівництва об'єктів генерації потужністю до декількох мегават для обслуговування віддалених районів, підвищення надійності енергозабезпечення, зменшення витрат на транспортування енергії.

В традиційних вітроагрегатах енергія вітру за допомогою електрогенератора перетворюється в електричну, але за умови необхідності отримання теплової енергії, можна використати тепло, що утворюється в процесі тертя, зокрема тертя в рідині чи тертя ковзання твердих тіл. Також, цікавими є роботи по розробкам кавітаційних теплогенераторів [3 - 8].

В роботі [9] наведені результати випробувань по використанню теплогенеруючого агрегату для приготування кормових сумішів на сільськогосподарських підприємствах.

Але в літературі немає чітких пояснень принципу роботи кавітаційних теплогенераторів, і кількісних закономірностей виділення тепла при кавітації. А також

часто наводяться суперечливі данні про коефіцієнт перетворення механічної роботи в теплову - більший одиниці.

Тому в роботі було поставлене завдання:

- розробити методику і провести експерименти по тепловиділенню при терті в рідинах; перевірити можливість використання явища кавітації для збільшення коефіцієнта перетворення механічної роботи в теплову при терті в рідинах;
- дослідити тепловиділення при терті ковзання твердих тіл;
- розглянути перспективність розробки фрикційних теплогенераторів з кавітаційним активатором нагріву рідини.

2. Дослідження перетворення механічної енергії в теплову при терті в рідинах і вплив на даний процес явища гідродинамічної кавітації.

Для проведення експериментальних досліджень тепловиділення при терті в рідинах і впливу на даний процес гідродинамічної кавітації, був розроблений і виготовлений стенд (рис.1).

Циркуляційна система стенду складається з центробіжного насосу 2, який має привід від електродвигуна 1, трубопроводу 3, за допомогою якого створюється потік рідини через контактну камеру 6, і бака 7 ємністю 14 літрів.

Вентиль 4, за допомогою якого регулюється швидкість потоку, два манометри 5, які вимірюють тиск і температуру рідини, - становлять систему регулювання і вимірювання стенду.

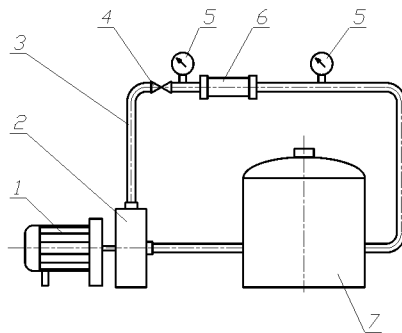


Рисунок 1 – Випробувальний стенд

В якості робочої рідини була використана вода

По центру контактної камери, виготовленої з полімерного прозорого матеріалу, який дозволяє вести візуальне спостереження за процесом кавітації, що відбувається у контактній камері, розміщується зйомний кавітатор, хвостова частина якого має конусоподібну форму (рис.2).

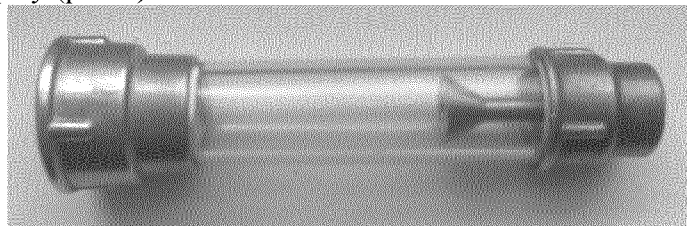


Рисунок 2 – Фотографія контактної камери з розміщеним в ній кавітатором

Режими роботи (тиск, швидкість потоку) і геометричні розміри контактної камери і кавітатора були вибрані з урахуванням рекомендацій наведених в літературі [3,4,7].

Явище гідродинамічної кавітації в випробувальному стенді виникає на границі обтікаемого тіла (кавітатора) в результаті місцевого зниження тиску, обумовленого динамікою руху рідини і геометричною формою кавітатора. Коли заповнені парогазом мікропорожнини (кавітаційні бульбашки), при їх подальшому русі в потоці рідини, захлопуються, утворюються зони з високими тисками і температурами, які являються джерелом нагріву рідини.

Гідродинамічна кавітація вважається шкідливим явищем, оскільки є причиною кавітаційного зношування і, відповідно, зниження надійності машини. Особливо питання кавітаційного зношування актуальне для теплогенераторів з багатоступеневими кавітаторами, де на кожному наступному, за напрямком руху рідини, ступінь кавітатора інтенсивність кавітаційного зношування, викликаного впливом значних локальних тисків, що виникають в результаті колапсу кавітаційних бульбашок, значно збільшується.

В процесі експерименту вимірювалась температура рідини і будувались залежності температури нагріву рідини від часу роботи стенду, який є пропорційним затраченій енергії.

На рис.3, рис.4 приведені графіки залежності температури нагріву води від часу роботи привода циркуляційної системи стенду для різних об'ємів води в системі з кавітатором і без нього.

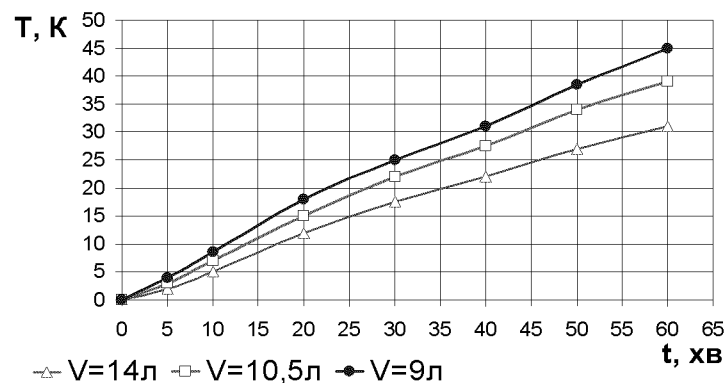


Рисунок 3 – Залежність температури нагріву циркуляційної системи стенду від часу роботи за різних об'ємів води

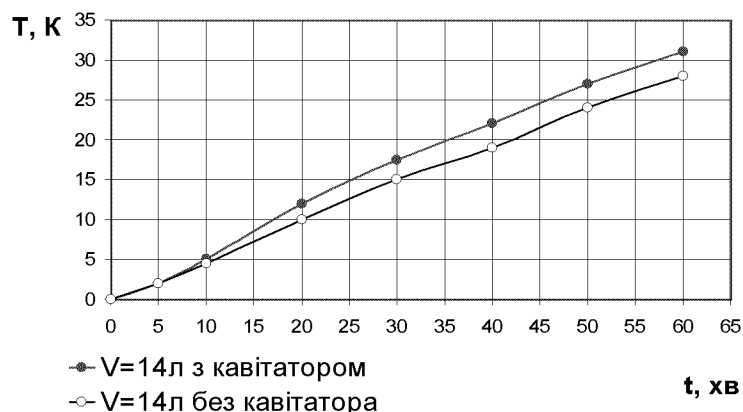


Рисунок 4 – Залежність температури нагріву циркуляційної системи стенду від часу роботи при V=14л з кавітатором і без кавітатора

наявності кавітатора і без нього

Коефіцієнт перетворення механічної роботи A (затраченої) в теплоту Q визначається із відношення:

$$\kappa = \frac{Q}{A}. \quad (1)$$

Теплота, що виділилася і призвела до нагріву води визначається з рівняння:

$$Q = m \cdot \Delta T \cdot c_m, \text{ Дж}, \quad (2)$$

де m - маса води, кг ;

ΔT - зміна температури води (температура нагріву), К ;

c_m - питома масова теплоємність води, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

За результатами, отриманими з експериментів, використовуючи рівняння (1), (2), був визначений коефіцієнт перетворення механічної роботи сили тертя в рідині в теплоту і вплив на нього явища кавітації.

Даний коефіцієнт визначений за результатами експериментів становить 0,62-0,68. Також з експериментів встановлено, що явище кавітації підвищує даний коефіцієнт, хоча й несуттєво, на 5-10 %.

Це дозволяє зробити припущення про доцільність використання явища гідродинамічної кавітації, як активатора тепловиділення при терті в рідинах.

Виходячи з ряду робіт, зокрема Гужелі Ю.О. [10], Фомінського Л.П. [4], Потапова Ю.С. [11], виникає питання відносно стабільності термічного еквівалента механічної роботи. На даний момент ведеться огляд даної проблеми і планується дослідити можливість впливу характеристик потоку рідини (ламінарний чи турбулентний потік) на даний коефіцієнт.

3. Дослідження перетворення механічної енергії в теплову при терті ковзання твердих тіл.

Для дослідження перетворення механічної енергії в теплову при терті ковзання в твердих тілах спроектований і виготовлений стенд, який являє собою калориметр, в якому теплота, що виділяється при терті ковзання торцевої поверхні зразка циліндричної форми по торцевій поверхні циліндричного контртіла, призводить до нагріву певного фіксованого об'єму води. Для вимірювання температури нагріву калориметра використовувались дві хромель-алюмельові термопари. Зміну термо-ЕРС проводили за допомогою цифрового мультиметра з інтервалом в 2 секунди.

Для експериментів зразок був виготовлений з фрикційного полімерного матеріалу ФПМ, контртіло з сірого чавуну СЧ 21-40.

З даних, отриманих в результаті експерименту, обчислюється робота сили тертя при взаємодії твердих тіл за певний проміжок часу Am :

$$Am = M \cdot t \cdot \omega, \text{ Дж}, \quad (3)$$

де M - момент сили тертя, Нм ;

t - час роботи сили тертя (стенду), с ;

ω - кутова швидкість, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Знаючи масу і теплоємність калориметра, за показниками підвищення температури визначається кількість теплоти, що виділилась при терті твердих тіл $Q_в$:

$$Q_k = m_k \cdot \Delta T_k \cdot c_m, \text{ Дж}, \quad (4)$$

де m_k - маса калориметра, кг ;

ΔT_k - зміна температури калориметра, К ;

c_{k_m} - питома масова теплоємність калориметра, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Були проведені експерименти по тепловиділенню при терті твердих тіл для пари фрикційний полімерний матеріал – сірий чавун СЧ 21-40 при різних навантаженнях (моментах сили тертя) і різних кутових швидкостях ковзання. Результати експериментів приведені на рис. 5, рис. 6.

Коефіцієнт перетворення механічної роботи A_m (роботи сили тертя в твердих тілах) в теплоту Q_v визначається із відношення:

$$k_m = \frac{Q_k}{A_m}. \quad (5)$$

В даних випробуваннях коефіцієнт перетворення роботи сили тертя в тепло знаходиться в межах $k_m = 0,63-0,69$.

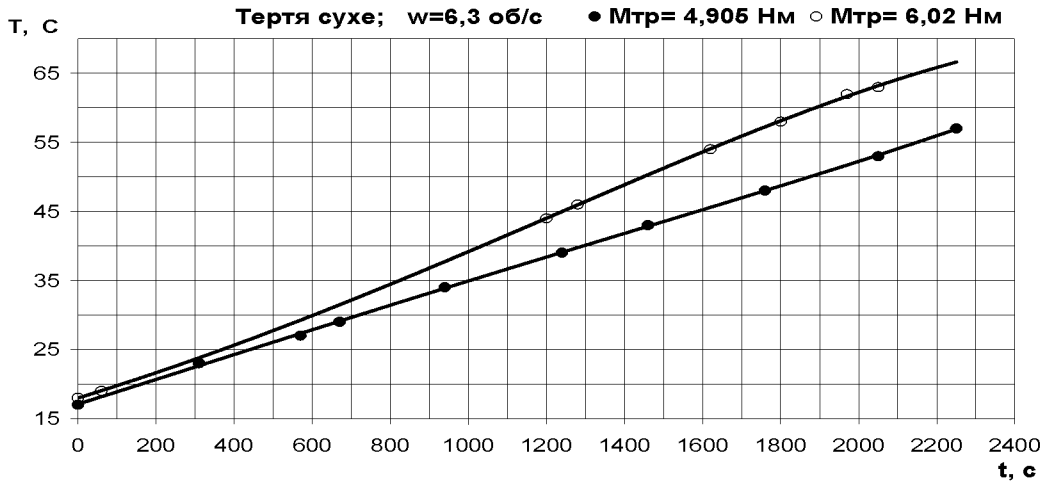


Рисунок 5 – Залежність температури калориметра від часу роботи сили тертя твердих тіл пари ФПМ – СЧ 21-40 при кутовій швидкості ковзання $\omega = 6,3$ об/с

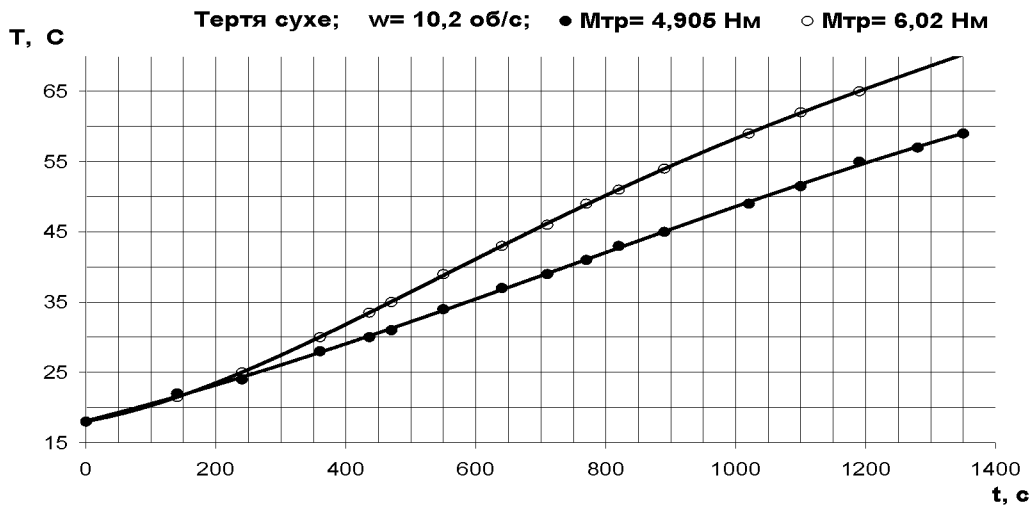


Рисунок 6 – Залежність температури калориметра від часу роботи сили тертя твердих тіл пари ФПМ – СЧ 21-40 при кутовій швидкості ковзання $\omega = 10,2$ об/с

З результатів експериментів видно, що збільшення теплової енергії, введеної в випробувальні зразки, викликає поступове сповільнення росту температури нагріву, що підтверджує випробування Єлагіної О.Ю. [12] по дослідженню температури зон тертя при абразивному зношуванні, проведені в РДУ нафти і газу ім. І.М. Губкіна.

4. Висновки:

а) проведений огляд перспектив розвитку вітроенергетики в Україні, що вказує на перспективність використання теплогенераторів в сільськогосподарських підприємствах і віддалених районах з метою підвищення надійності енергозабезпечення, зменшення витрат на транспортування енергії, зменшення екологічного забруднення, нагріву приміщень, активного впровадження перспективних технологій в тваринництві;

б) досліджено перетворення механічної енергії в теплову при терті в рідинах і визначений вплив на даний процес явища гідродинамічної кавітації. Коефіцієнт перетворення механічної роботи сили тертя в рідині в теплоту, визначений за результатами експериментів становить 0,62-0,68. Також з експериментів встановлено, що явище кавітації підвищує даний коефіцієнт, хоча й несуттєво, на 5-10 %. Це дозволяє зробити припущення про доцільність використання явища гідродинамічної кавітації, як активатора тепловиділення при терті в рідинах;

в) виникає необхідність дослідити можливість впливу характеристик потоку рідини (ламінарний чи турбулентний потік) на коефіцієнт перетворення механічної роботи сили тертя в рідині в теплоту;

г) досліджено перетворення механічної енергії в теплову при терті ковзання в фрикційній парі: фрикційний полімерний матеріал ФПМ – сірий чавун СЧ 21-40 при різних навантаженнях (моментах сили тертя) і різних кутових швидкостях ковзання. За результатами експериментів коефіцієнт перетворення роботи сили тертя в тепло знаходиться в межах $\eta = 0,63-0,69$.

Робота ведеться в зв'язку з розробкою фрикційного теплогенератора з використанням тепла, що виділяється при терті ковзання твердих тіл, і кавітатором в якості активатора нагріву.

Список літератури

1. Statistical Review of World Energy 2009 [електронний ресурс] / British Petroleum.- режим доступу: <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>.
2. Пабат А. Неисчерпаемые ресурсы / А. Пабат // Деньги и технологии.- 2004.- №2.-С. 22-25.- [Перспективы использования возобновляемых источников в Украине].
3. Федоткин И.М. Кавитационные и энергетические аппараты и установки / И.М. Федоткин, С.И. Гульый.- К.: Арктур-А, 1998.- 136 с.
4. Фоминский Л.П. Роторные генераторы дарового тепла. Сделай сам / Л.П. Фоминский. - Черкассы: ОКО-Плюс, 2003. – 346 с.
5. Фоминский Л.П. Как работает вихревой теплогенератор Потапова [Текст] / Л.П. Фоминский.– Черкассы : ОКО-Плюс, 2001. – 103 с.
6. Шваб В.В. Вихревой теплогенератор для систем теплоснабжения [Текст] / В.В. Шваб // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 8. – С. 12–13.
7. Геллер С. Вихревые теплогенераторы. Гидродинамический нагреватель жидкости [Текст] / С.Геллер // АКВА-ТЕРМ. – 2006. – № 6 (21).
8. Козлов С.В. Опыт внедрения автономных энергосберегающих систем отопления [Текст] / С.В. Козлов // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 8. – С. 14–16.

9. Волков Н.И. Многофункциональный теплогенерирующий агрегат и его использование для приготовления кормовых смесей в сельскохозяйственных предприятиях / Н.И. Волков, А.А.Папченко // Промислова гідравліка і пневматика.- 2004.- №1.- С. 89- 102.
10. Гужеля Ю.О. Анатомия термодинамики [электронный ресурс] / Ю.О. Гужеля.- режим доступа: <http://n-t.ru/tp/ns/at1.htm>.
11. Потапов Ю.С. Энергия вращения [Текст] / Ю.С. Потапов, Л.П. Фоминский, С.Ю. Потапов. – Кишинев : Молдавский центр “Ноосферные технологии” РАЕН, 2001. – 382 с.
12. Елагина О.Ю. Исследование температуры зон трения при абразивном изнашивании / О.Ю. Елагина, А.В. Коновалов, К.А. Зинченко // Трение и смазка в машинах и механизмах .- 2008.- №2.- С.3-6. .

А. Кузьменко, С. Милятинский

Исследование превращения механической энергии в тепловую при трении твердых и жидких тел

В статье приведены предпосылки создания многофункциональных фрикционных теплогенераторов. Приведены методика и результаты исследования тепловыделения при трении в жидкости и рассмотрена возможность использования явления кавитации, как активатора нагрева жидкости. Исследовано тепловыделение при трении скольжения твердых тел.

A. Kuz'menko, S. Milyatinskiy

Research of transformation of mechanical energy in thermal at the friction of hard and liquid bodies

Prerequisites of multifunction frictional heatgenerator creation are presented in the article. A method and results of the research of heatgeneration during friction in fluid are described, the possibility of using cavitation, as the sensitized of fluid heating was studied. The heatgeneration during sliding friction of solid was investigated.

Одержано 15.09.09