

УДК 532. 528

Тетяна Вітенько

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ТЕПЛОВИЙ ЕФЕКТ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ

Tetiana Vitenko

THERMAL EFFECT OF HYDRODYNAMIC CAVITATION

Пошуки альтернативних джерел тепла, які не потребують спалювання органічного палива, привели до ідеї використання явищ внутрішнього тертя і кавітації рідини для отримання енергії. Відповідно до наведених в літературі даних значна частина тепла вивільняється при кавітаційному кипінні рідини з подальшим руйнуванням парогазових бульбашок. Частина теплової енергії виділяється в теплоносії у вигляді теплоти конденсації холодної пари, а частина - під час передачі кінетичної енергії під час колапса бульбашок. Існує кілька теорій, що пояснюють процеси виділення тепла, проте жодна з них не може повністю описати ці процеси. Наукові дослідження в даній час зводяться лише до фіксації результатів роботи створених теплових установок і інтерпретації цих результатів.

Дослідження проводили з використанням кавітаційного пристрою динамічного типу [1]. В якості робочого середовища використовували воду. Отримані експериментальні дані засвідчили, що її температура зростає з часом. Спостерігається несуттєве зменшення швидкості нагріву з підвищенням температури, що може бути пов'язано з підвищенням тиску насиченої пари у кавітаційних бульбашках. Результати вимірювань зображені на рис.1 (n – швидкість обертання кавітаційної крильчатки).

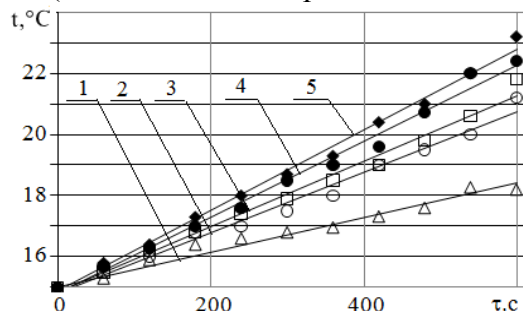


Рис.1. Залежність температури води від часу її оброблення у кавітаційному пристрої динамічного типу: 1– $n=50\text{c}^{-1}$; 2– $n=66,6\text{c}^{-1}$; 3– $n=83,3\text{c}^{-1}$; 4– $n=100\text{c}^{-1}$; 5– $n=125\text{c}^{-1}$

Пояснення такого енергетичного ефекту було зроблено ще лордом Релеєм, який запропонував рівняння для визначення кінетичної енергії:

$$K_L = \frac{1}{2} \rho_L \int_R^\infty \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} \right)^2 4\pi r^2 dr = \frac{\rho_L}{2} \int_R^\infty u^2 4\pi r^2 dr = 2\pi \rho_L v_r^2 R^3, \quad (1)$$

де ρ_L - густина рідини, u - радіальна швидкість на довільній відстані $r > R$ від центру порожнини, v_r – радіальна швидкість стінки порожнини. З іншого боку роботу, що здійснює рідина під час замикання порожнини можна визначити за рівнянням:

$$A_L = p_\infty \Delta V = p_\infty \frac{4}{3} \pi (R_{\max}^3 - R_0^3) \quad (2)$$

де p_∞ – тиск в рідині на відстані, R_{\max} – радіус порожнини в момент початку її колапсу, R_0 – кінцевий радіус порожнини. Використовуючи попередні два рівняння можна визначити швидкість руху поверхні сферичної порожнини:

$$v_r = \sqrt{\frac{2p_\infty}{\rho_L} \left(\frac{R_{\max}^3}{R_0^3} - 1 \right)} \quad (3)$$

За умови, що $R_{\max} = 10^{-3}$ м, $R_0 = 10^{-6}$ м, $p_\infty = 10^5$ Па, $\rho_L = 10^3$ кг/м³ $v_r \cong 4,4 \cdot 10^5$ м/с, а кінетична енергія рідини становитиме $K_{L(R \rightarrow R_0)} \cong \frac{4}{3} \pi \rho_\infty R_{\max}^3 \approx 0,4 \cdot 10^{-3}$ Дж. За умови, що лише 5 % енергії перетворюватиметься в тепло то можлива локальна зміна температури (всередині бульбашки) становитиме $c \Delta m \Delta T \approx 0,05 \frac{\Delta m v_r^2}{2}$, $\Rightarrow \Delta T \approx 0,05 \frac{v_r^2}{2c} \approx 1,2 \cdot 10^5$ К. Такі обчислення отримані на основі теорії, що допускає необмежене зростання тиску і швидкості границь порожнини на кінцевих стадіях замикання в ідеальній рідині, яка володіє граничною об'ємною міцністю.

Автором [2] наведено аналіз динаміки бульбашки з використанням рівняння Пуассона. В цьому випадку кінематичні параметри прилеглих до зраджує свій обсяг ядру можна виразити таким диференціальним рівнянням:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{p_{G(0)}}{\rho_L} \left(\frac{R_{cr}}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{p_\infty}{\rho_L}$$

Тоді швидкість рідини при замиканні бульбашки буде мати вигляд:

$$v_{r(\max)} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_\infty}{\rho} \left\{ \frac{p_{G(0)}}{p_\infty} \left(\frac{1}{\gamma} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \left[1 + \frac{p_\infty}{p_{G(0)}} (\gamma-1) \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right\}}$$

За розрахунками автора [2] максимальне значення швидкості становить $v_{r(\max)} \cong 534$ м/с, а $\Delta T \approx 34$ К, що суттєво менше попередніх значень та краще відповідає отриманим експериментальним даним.

Водночас такі пристрої мають ряд недоліків. Проблема полягає в тому, що, з одного боку, швидкість течії рідини повинна бути досить великий щоб викликати ефект кавітації, а з іншого – надмірна кількість кавітаційних бульбашок призводить до швидкого руйнування самої конструкції. В зв'язку з цим було проведено серію досліджень та математичних узагальнень щодо раціональної конструкції пристрою, що забезпечує схлопування парогазових бульбашок в потоці, а не біля робочої поверхні. Ці результати наведені в роботах [3-5].

Література:

1. Витенько Т.Н. Массообмен при растворении твердых тел с использованием гидродинамических кавитационных устройств / Т.Н. Витенько, Я.М. Гумницкий // ТОХТ. – Москва, 2006. – Т. 40, № 6. – С. 639 – 344.
2. А.Я. Исаков. О теплотворной способности гидродинамической кавитации / Вестник камчатского государственного технического университета. Издательство: Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, № 5, 2006, С. 72 – 78.
3. Т.М. Вітенько Дослідження гідродинамічних параметрів у кавітаційному модулі статичного типу / Т.М. Вітенько, Т.В. Зарецька, Н.І. Городиський / Промислова гідравліка і пневматика, № 2(44). – Вінниця, 2014, С. 31 – 34.
4. Vitenko T. Numerical Modeling of Static Cavitation Module/ T. Vitenko, P. Drozdziel, N. Gorodysky / Applied Mechanics and Materials. Propulsion Systems, Mechatronics and Communicatin, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 2016, Vol. 817. P 64 – 69.
5. Vitenko T. Erosive Impact Of Vapor-Gas Phase On The Working Surface In Hydrodynamic Type Cavitation Mode / T. Vitenko, P. Drozdziel, N. Gorodysky / Diagnostyka. 2016. Vol .17. № 1, P. 3 – 8.