



УДК 681.5:62-1/-9(075)

МЕХАНІЗМ ВИНИКНЕННЯ НАДЛИШКОВОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ КАВІТАЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В ЕНЕРГОГЕНЕРАТОРІ Ф-101



І. М. Федоткін, *докт. техн. наук*,
В. О. Тарасов, *докт. техн. наук*

Огляд конструкцій кавітаційних теплогенераторів, існуючих, запатентованих і серійно виготовлюваних, дає змогу констатувати, що в жодному з них не здійснюється повернення зворотної обертальної енергії, введення нестационарностей та закипання легкокиплячої компоненти бінарної робочої суміші. Усі ці теплогенератори є енергозатратними та некиплячими, оскільки кипіння виключає наявність кавітації. Існуючі гіпотези і механізми виділення тепла при кавітації не дають можливості розраховувати кількість енергії, яка виділяється, оптимальні режими ведення процесу та оцінювати ступінь впливу різних фізичних ефектів і розкривати механізм їхнього впливу.

У статті **аналізується нова гіпотеза** про можливість утворення надлишкової теплової енергії за рахунок перетворення речовини рідкого робочого тіла в радіоактивну енергію (еманація речовини) і **обґрунтовується новий погляд на отримання надлишкової теплової та зворотної обертальної енергії** за рахунок внутрішньої енергії тіла шляхом залучення сил пружної деформації, сил інерції, сил Коріоліса, явища резонансу за необхідної умови введення нестационарності (пульсації і гідроударів).

Широко відомі непрямі докази на користь нової гіпотези, а саме:

- невелике зменшення маси води в процесі роботи кавітаційних теплогенераторів (КТГ);
- радіоактивні випромінювання КТГ, β - і γ - променевиділення, що значно перевищують фонові в ефективних режимах роботи КТГ.

Ці явища зареєстровані та відмічаються багатьма дослідниками, зокрема: А. Ф. Кладовим; Ю. С. Потаповим; Л. П. Фомінським; А. А. Халатовим.

Зменшення об'єму води в КТГ у процесі його ро-

боти є незначним, тому що з однієї краплини води радіусом $R_0=0,001\text{ м}$ при еманції речовини виділяється енергія відповідно до формули А. Ейнштейна

$$E = mc^2 = \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho \psi \cdot c^2 = \\ = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (10^{-3})^3 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 / (427 \cdot 860) = \\ = 10^{11} / (427 \cdot 860) = 2723 \text{ кВт з,}$$

де $m = \frac{4}{3} \pi R_{кр}^3 \rho \psi$ – маса;

$R_{кр}$ – критичний радіус пухирця, який визначається в разі досягнення оболонкою пухирця радіальної швидкості захопування, рівній швидкості світла;

ρ – густина рідини;

$\psi = 1,5$ – коефіцієнт приєднаної маси;

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – швидкість світла.

Це більше, ніж на АЕС.

Унікальність ситуації, яка виникає при кавітації, зумовлюється надзвичайно високими тиском і температурою, які створюються в точці захопування пухирця.

Сила тиску, що розвивається під час захопування пухирця за Релеєм

$$p = \rho \ddot{R} \frac{R_0}{3} \psi,$$

де ρ – густина рідини;

$$\ddot{R} = \frac{z_0 R_0^3}{\rho R^4} = 2,4 \cdot 10^{11} \text{ м/с}^2 \text{ – прискорення;}$$

$\psi = 1,5$ – коефіцієнт приєднаної маси;

R_0 – початковий радіус пухирця;

R – поточний.

$$p = \rho \ddot{R} \frac{R_0}{3} \psi = 1000 \cdot 2,4 \cdot 10^{11} \frac{20 \cdot 10^{-6}}{3} \cdot 1,5 =$$
$$= 1,2 \cdot 10^9 \text{ кг/м}^2 = 12000 \text{ атм}$$

що відповідає даним експериментів.

Температура T_m у центрі захопування визначається:

$$T_m = T_0 + \frac{3}{jC_p} \int_{R_{\min}}^{R_0} p(R) R^2 dR, \quad (1)$$

$$\text{де } p(R) = \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} + p_n - \frac{2\sigma}{R}, \quad (2)$$

тут σ – поверхневий натяг рідини, $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ – показник політропи, p_i – тиск насиченої пари, R_0, R – початковий і поточний радіуси пухирця.

Обчислення за формулами (1) і (2) дають значення $T_m \sim 3200^\circ\text{C}$ при $p = 12000 \text{ атм}$.

Таким чином, при кавітації здійснюється один із сформульованих принципів виробництва надлишкової енергії: концентрація енергії високої густини в точці [3]. Такий високий тиск і температура в точці захопування можуть сприяти створенню плазми і переходу речовини в енергію.

Для підсилення кавітаційного нагріву в роботах [2–22] розроблено різні методи, фізичні впливи та встановлено нові фізичні ефекти: генерація гідрударів, автоколивань; гідравлічні пульсації; тепловий гістерезис, при якому випарювання проводиться при тиску вищому, ніж конденсація кавітаційної пари, що спричинює різницю теплоти пароутворення і конденсації; підтиснення кавітаційного тракту КТГ; використання в одному агрегаті декількох типів кавітації: статична в разі обтікання нерухомого кавітатора; динамічна за допомогою крильчаток, що обертаються; вібраційна, пульсаційна, вихрова, відцентрова, щілинна в зазорі між ротором і статором, соплова, струминна, ударно-струминна, зустрічно-струминна, парова, примусова, термічна тощо; використання електричного пробоя від напруження зовнішнього електростатичного поля з напругою 60–120 кВ (пробій відбувається всередині каверн із люмінесцентним свіченням); мультипульсації в режимах, резонуючих із осциляцією кавітаційних пухирців; резонансні ре-

жими автоколивань.

Це тільки частина енергії, яка виділяється кавітаційними пухирцями, що захоплюються, згідно з законом збереження енергії до досягнення оболонкою пухирця швидкості світла.

Після досягнення радіальною швидкістю змикання оболонки пухирця швидкості світла закон збереження енергії не діє, оскільки згідно з гіпотезою автатора, енергія виникає за рахунок перетворення маси приєднаної до оболонки пухирця рідини і залученої її оболонкою в радіальний рух в енергію. Ця частина, енергії може бути оцінена співвідношенням еквівалентності А. Ейнштейна між масою і енергією:

$$E = mc^2,$$

Для того, щоб це співвідношення діяло як джерело енергії та приводилось у дію при кавітації, потрібно введення ряду фізичних факторів і відтворення специфічної ситуації під час розвитку кавітаційних процесів. Про специфічну ситуацію при кавітації вже вказувалось вище: в точці захопування тиск досягає 12 тис. атм., а температура – 3200 °C.

Крім того, вченими РФ і США було встановлено наявність таких процесів при кавітації:

- досягнення критичних температур і тиску на завершальній стадії в точці захопування;
- дисоціація молекул води, розщеплення молекул води з виділенням гідроксильної групи OH^- ;
- виникнення електричних зарядів на оболонці пухирця з наступним електричним пробоем і розрядом у порожнині каверни;
- розклад води на водень і кисень з наступним запаленням суміші від електричного розряду та ін.

Під час дослідження було спостережено ряд факторів, які інтенсифікують кавітацію [2–9; 11–22]. Серед них такі:

- гідродари;
- гідравлічні пульсації;
- стаціонарне електростатичне поле з напруженістю понад 60 кВ, яке значно підсилює розряд усередині кавітаційних пухирців;
- мультипульсації з високою частотою, кратною частоті осциляцій об'єму кавітаційного пухирця, що викликають резонансний приплив зовнішньої енергії [4];
- калібрування кавітаційних пухирців оптимальних розмірів кавітатором-калібратором;
- електромагнітні й торсіонні поля та їхня спінова поляризація тощо.

Були випробувані конструктивні рішення, спрямовані на підсилення кавітаційно-кумулятивних впливів, зокрема:

- встановлення перфорованих кілець у статорі та роторі відцентрового насоса;

- засмокування пари в насос (парова кавітація);
- залучення в одному агрегаті до десяти видів кавітації;
- відведення частини потоку для створення зустрічно-струминної кавітації;
- використання гідроударів і пульсацій;
- використання стаціонарних крильчаток правого обертання з кутом установки лопатей 30–45°, які мають малий опір і велику кавітаційну активність та ін.

При цьому виникають два види додаткової енергії: один – обумовлений впливом цих факторів на енергію захоплення кавітаційних пухирців, другий – пов’язаний із вилученням енергії з внутрішньої енергії робочого тіла.

Додаткова енергія від впливу вказаних фізичних факторів на енергію захоплення кавітаційних пухирців обчислюється на основі гіпотези автора з використанням наведених формул і методики.

Гідроудари – це короткочасні імпульси значного підвищення тиску, які майже не впливають на витрати енергії працюючого насоса, але суттєво впливають, як видно з наведених формул, на швидкість захоплення і величину енергії, яка при цьому виділяється. Все це без труднощів обчислюється за наведеною методикою.

Однак, крім цієї енергії, утворюється ще додаткова енергія за рахунок внутрішньої енергії речовини рідкого робочого тіла, яка вилучається завдяки дії сил пружності й обчислюється в такий спосіб.

Перепади тиску від кінетичної енергії потоку:

$$\Delta p_{кин} = \left(\frac{\gamma}{g} \right) \frac{w^2}{2},$$

де w – швидкість потоку.

За формулою Н. Е. Жуковського від гідроудару:

$$\Delta p_{y\delta} = \left(\frac{\gamma}{g} \right) w c,$$

де c – швидкість розповсюдження пружних хвиль у рідкому робочому тілі, для води $c = 1550 \text{ м/с}$ – швидкість поширення звукових хвиль.

Швидкість руху рідини при заданому Δp :

$$w = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot \Delta p}.$$

Кінетична швидкість потоку:

$$w_1 = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot \Delta p_{кин}} = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \frac{\gamma}{g} \frac{w^2}{2}} \equiv w,$$

тобто дорівнює швидкості потоку.

Для гідроудару швидкість течії після відкриття каналу:

$$w_2 = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot \Delta p_{y\delta}} = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \frac{\gamma}{g} w c} = \sqrt{2w c},$$

або $w_2 = 2c$, тобто швидкість потоку зростає в $\frac{2c}{w}$ раз і для $w = 10 \text{ м/с}$ становить:

w

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{2c}{w} = \frac{2 \cdot 1500}{10} = 300 \text{ раз},$$

а для $w = 2 \text{ м/с}$:

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{2c}{w} = \frac{2 \cdot 1500}{2} = 1500 \text{ раз}.$$

Енергія зростає пропорційно квадрату швидкості та обчислюється за формулою:

$$\Delta E_{y\delta} = \frac{Q \cdot \tau \cdot \gamma}{2gT} (w_2^2 - w_1^2),$$

де Q ($\text{м}^3 / \text{год}$) – витратна продуктивність трубопроводу (насоса);

τ – проміжок часу перекривання трубопроводу;

T – період гідроударів – проміжок часу між двома поточними гідроударами;

$$w_2 = 2c, \quad w_1 = w.$$

Така велика енергія вилучається з внутрішньої енергії рідкого робочого тіла внаслідок дії гідроударів через посередництво дії сил пружності. Аналогічний процес відбувається і при гідропульсаціях.

При частоті гідропульсацій, близькій або кратній частоті осциляції об’єму кавітаційного пухирця, виникає резонанс, який збільшує амплітуду коливань оболонки пухирця і наближає досягнення швидкості світла, збільшуючи величину критичного радіуса:

$$R_{кр} = R_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{2gp_0 / 3\gamma}{(c - v_{пульс})^2 + 2gp_0 / 3\gamma}},$$

де $v_{пульс} = A \cdot f$, A – амплітуда, f – частота пульсацій.

З другого боку, вилучається енергія з внутрішньої енергії рідини внаслідок дії пульсаційних сил інерції, які стають рушійними силами процесу завдяки введенню нестаціонарності (коливань).

Пульсації тиску і швидкості згасають уздовж тракту. У кожному попередньому перерізі пульсаційна

швидкість більша, ніж у наступному. Виникає інерційний пульсаційний напір, який компенсує втрати тиску на подолання гідравлічного опору і генерує додаткову енергію потоку.

Пульсаційний напір може бути визначений за формулою [13; 14; 21]:

$$\Delta p_{пульс} = \psi \left(\frac{A}{D} \right) \left(1 + \frac{1}{2} Sh^2 \right) \frac{\gamma \cdot w_0^2}{2g} (\eta_i^2 - \eta_{i+1}^2),$$

де $\psi = 1,1 \div 1,3$, $\frac{A}{D}$ – відношення амплітуди A , що вимірюється довжиною шляху, який проходить рідини за півперіоду пульсацій $T/2$, до діаметра D трубопроводу;

w_0 – швидкість руху рідини в трубопроводі;
 γ – питома вага рідини;
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення сили земного тяжіння;

$$Sh = \frac{w_n}{w_0} = \frac{Re_n}{Re_0} = \frac{\lambda_{0n}}{\lambda_0} = k - \text{число Струхала,}$$

w_n – пульсаційна складова швидкості руху рідини, яка визначається таким чином.

Миттєве значення дійсної швидкості середовища:

$$w_T = w_{n0} = w_0 + w_* \cdot \sin \omega t,$$

де w_0 – середня швидкість руху рідини, w_* – амплітудне значення пульсаційної складової.

Середня пульсаційна швидкість визначається виразом:

$$\bar{w}_n = \frac{1}{T} \int_0^T w_T dt.$$

Після інтегрування отримуємо [13; 14; 21]:

$$\frac{\bar{w}_n}{w_0} = \frac{2}{\pi} \left(\arcsin \frac{1}{k} + \sqrt{k^2 - 1} \right),$$

де $k = \frac{w_T}{w_0} = Sh$ – число Струхала.

Коефіцієнт згасання пульсацій η визначається величиною [13; 14]:

$$\eta = \frac{w_{nl}}{w_{n0}} = \sqrt{\frac{\Delta p_{nl}}{\Delta p_{n0}}} = \exp \left[-\frac{B l}{2 D} \right],$$

де $B = f \left(\frac{A}{D}, f, w_0, D \right) = [(a - bw_0) - (c - dw_0) f]$;

$\Delta p_{nl}, \Delta p_{n0}$ – пульсаційні напори на віддалі l і на вході відповідно.

Гідравлічні пульсації компенсують гідравлічний опір, збільшують силу реактивних струменів, сили Коріоліса, інтенсифікують кавітаційний нагрів рідини, утворюють додаткові нестационарні сили й інерційно-пульсаційні напори.

У роботі [23] експериментально підтверджено збільшення завдяки пульсаціям сили реактивних струменів у 2,5 раза.

Збільшення сили реактивних струменів можна оцінити, враховуючи додаткову нестационарну гідродинамічну силу, що виникає при пульсаціях [21; 23]:

$$F = \nu \rho S_{cm} C_0 e^{i\omega t} \left[\sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \frac{\left(\sqrt{\frac{i\omega}{\nu}} y \right)^{2j+1}}{(2j+1)!} C_1 + \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \frac{\left(\sqrt{\frac{i\omega}{\nu}} y \right)^{2j}}{(2j)!} C_2 \right],$$

де ν – кінематична в'язкість;

ρ – густина рідини;

t – час;

ω – частота пульсацій;

S_{cm} – поверхня стінки, що контактує з потоком;

$i = \sqrt{-1}$.

Гідравлічні пульсації також суттєво збільшують вироблення дисипативної теплової енергії від гідравлічного тертя. Нами в роботі [21] отримано такий теоретичний результат: енергія дисипації в одномірному ламінарному потоці пропорційна

$$E \sim \left(\frac{\partial w_x}{\partial y} \right)^2 = (\text{grad } w_x)^2,$$

де $\frac{\partial w_x}{\partial y}$ – градієнт поздовжньої швидкості потоку.

У стаціонарному і пульсаційному потоках енергія дисипації відповідно становитиме:

$$E_{cm} \cong \left(\frac{\partial w_{x0}}{\partial y} \right)^2 \quad \text{і} \quad E_{пульс} \sim \left(\frac{\partial w_{x0}}{\partial y} + \frac{\partial A}{\partial y} \cos \omega t \right)^2.$$

Середня за чверть періоду пульсацій енергія дисипації пульсуючого потоку становитиме:

$$\frac{4}{T} \int_0^{T/4} A \cos \omega t dt = \frac{2}{\pi} A(y).$$

Підставивши $\frac{2}{\pi} A(y)$ у вираз для дисипації енергії пульсуючого потоку, отримуємо:

$$E_{\text{пульс}} \sim \left(\frac{\partial w_{x0}}{\partial y} + \frac{2}{\pi} \frac{\partial A}{\partial y} \right)^2.$$

У випадку рівності амплітуди пульсацій швидкості її середній швидкості $A(y) = w_{x0}(y)$ маємо:

$$E_{\text{пульс}} \sim \left(\frac{\partial w_{x0}}{\partial y} \right)^2 \left(1 + \frac{2}{\pi} \right)^2,$$

тобто величина дисипації енергії в порівнянні зі стаціонарним потоком при пульсаціях зростає в:

$$\frac{E_{\text{пульс}}}{E_{\text{ст}}} = \left(1 + \frac{2}{\pi} \right)^2 = 2,68 \text{ рази.}$$

Цей наш теоретичний результат знайшов цілковите експериментальне підтвердження в роботі [24].

Тепло, що виділяється при дисипації енергії пульсуючих течій, отримується за рахунок внутрішніх рухів рідини, пульсацій потоку. За умов наявності зворотних течій виникає додаткова енергія без витрат енергії ззовні.

Слід зауважити, що методи режимної інтенсифікації теплообміну, розглянуті в [5–8; 11; 13–15; 20], у разі використання їх для виробництва тепла за рахунок дисипації енергії можуть давати надлишкову енергію. Наприклад, для отримання додаткової надлишкової енергії при кавітації А. В. Корнієнко [1] використав розроблений нами метод інтенсифікації конвективного теплообміну вдуванням повітря або вуглекислого газу в потік рідини [13; 14].

Підтиснення тракту кавітаційного теплогенератора Ф-101

Підтиснення тракту КТГ Ф-101 можна здійснювати в паровому відсіку резервуару, в якому обертається ротор з реактивними соплами, від балона зі стисненим повітрям через розділюючий циліндр з вільно встановленим поршнем. При цьому слід мати на увазі, що в граничному випадку можна перейти на режим самопідтиснення, якщо не конденсувати пар від закипання легкокиплячої компоненти в реактивних соплах ротора.

У робочому режимі підтиснення можна досягти, не використовуючи балона зі стисненим повітрям, за рахунок зменшення конденсації пари та підтримки її тиску на рівні тиску підтиснення, регулюючи подачу охолоджуючої води на змішувач конденсатора пари.

Унаслідок підтиснення тракту КТГ тиск у ньому збільшується, що спричинює збільшення кількості виробленої теплової енергії від захопування кавітаційних пухирців за умов, які визначаються розрахунками і налагодкою роботи КТГ. Одночасно збільшується тиск рідини на вході та виході з насоса, а перепад тиску в насосі залишається незмінним і визначається величиною гідравлічного опору контуру КТГ. Перепад тиску на реактивних соплах також не змінюється, оскільки поряд зі збільшенням протитиску перед соплом у такій же мірі зростає тиск на всмоктуванні та нагнітанні насоса.

Як було показано вище, розрахунок кількості енергії від перетворення маси рідини, залученої в радіальний рух оболонкою пухирця при захопуванні, виконується з використанням формули Релея для швидкості захопування, рівній швидкості світла $v_{cx} = c$, звідки визначається радіус пухирця R_{kp} , на якому оболонка досягає швидкості світла. Після цього для одного пухирця визначається енергія, що виділяється за рахунок перетворення маси в енергію:

$$E_1 = \frac{4}{3} \pi R_{kp}^3 \frac{\gamma}{g} \psi c^2$$

і вираховується нагрів рідини:

$$\Delta t = \frac{nE_1}{J C_p \rho V},$$

де $J = 427 \text{ ккал/кг}^\circ\text{C}$, $V = 1 \text{ м}^3$,

$C_p = 1,0 \text{ ккал/кг}^\circ\text{C}$, $\frac{\gamma}{g} = \rho$ – густина рідини,

ни, $n = \frac{\varphi \cdot z \cdot V}{\frac{4}{3} \pi R_0^3}$ – кількість пухирців у $V = 1 \text{ м}^3$ рідини при дійсному об'ємному паровмісті φ і частці пухирців, що захоплюються одночасно, z .

Кількість енергії, що виділяється при захопуванні пухирців від радіусу R_{kp} до $R = 0$ в одиницях потужності:

$$N'_{cx} = \frac{C_p \rho V \Delta t}{860}, \text{ кВт на } V = 1 \text{ м}^3.$$

Таким чином, коефіцієнт перетворення енергії (КПЕ) теплогенератора буде виражатися величиною:

$$КПЕ = \frac{N_{cx} + N'_{cx}}{N_H} = \frac{k n p_0 + \frac{C_p \rho V \Delta t}{860}}{k_3 \Delta p},$$

$$\text{де } \Delta t = \frac{nE}{J C_p \rho V}, V = 1 \text{ м}^3,$$

$$E = \frac{4}{3} \pi R_{кр}^3 \rho \psi c^2, \quad n = \frac{\varphi \cdot z \cdot V}{\frac{4}{3} \pi R_0^3},$$

$$R_{кр} = R_0 \sqrt{\frac{3gp_0 / 2\gamma}{c^2 + 3gp_0 / 2\gamma}},$$

$$k = 0,25 \cdot 10^3 (0,915)^{0,6} \left(\frac{R_0 \rho g}{p_s} \right)^{0,3} \frac{V_0}{p_s},$$

$$k_1 = \frac{1}{3600 \cdot 102 \eta_n \eta_e}, \quad k_3 = k_1 V,$$

$$k_2 = \left(\sum \xi + \lambda \frac{L}{d} \right) \frac{\gamma}{2g} \left(\frac{4}{3600 \pi d^2} \right)^2.$$

Тут КПЕ визначено з урахуванням підтиснення тракту (p_0), додаток

$$КПЕ = \frac{N_{cx}}{N_H} = \frac{kn p_0}{k_3 \Delta p},$$

і з урахуванням вироблення енергії від перетворення приєднаної маси рідини після досягнення радіальною швидкістю змикання оболонки швидкості світла:

$$КПЕ' = \frac{N'_{cx}}{N_H} = \frac{C_p \rho V \Delta t / 860}{k_1 k_2 \Delta p}.$$

Поряд із позитивними процесами при підтисненні тракту має місце і процес, який може за певних умов негативно впливати на вироблення енергії. Йдеться про процес стиснення кавітаційних пухирців, що призводить до зменшення їхніх розмірів $R_{кр}$ і R_0 . Як було показано вище, кількість енергії, що виробляється, не залежить від розмірів кавітаційних пухирців у межах до величини радіусів, при яких пухирець втрачає стійкість.

Цей висновок справедливий тільки за наявності незмінного дійсного паровмісту. Якщо ж при підтисненні паровміст зменшується, то цей висновок не діє.

Тому розглянемо, які можуть бути втрати енергії від стискання об'єму пухирців при підтисненні.

Розрахунки підтиснення

Витрати енергії в насосі N_H визначаються гідравлічними опорами тракту КТГ, цьому відповідає пе-

репад тиску Δp при витратній продуктивності насоса V , $m^3 / \text{год}$:

$$N_H = \frac{V}{3600 \cdot 102 \eta_n \eta_e} \cdot \Delta p = k_3 \Delta p,$$

де η_n, η_e – ККД насоса й електромотора.

У свою чергу, згідно з законом Дарсі:

$$\Delta p = \left(\sum \xi + \lambda \frac{L}{d_{mp}} \right) \frac{\gamma w^2}{2g}, \quad w = \frac{4V}{3600 \pi d_{mp}^2}.$$

Об'єднуючи ці формули, отримуємо:

$$N_H = k_1 k_2 V^3,$$

$$\text{де } k_1 = \frac{1}{3600 \cdot 102 \eta_n \eta_e},$$

$$k_2 = \left(\sum \xi + \lambda \frac{L}{d_{mp}} \right) \frac{\gamma}{2g} \left(\frac{4}{3600 \pi d_{mp}^2} \right)^2.$$

Під час захопування кавітаційних пухирців виділяється енергія в одиницях потужності:

$$N_{cx} = kn p_0,$$

$$\text{де } k = 0,25 \cdot 10^3 \frac{4\pi R_0^3}{3} \left(\frac{R_0 \rho g}{p_s} \right)^{0,3}, \quad n = \frac{3z\varphi V}{4\pi R_0^3} -$$

кількість пухирців в $1 m^3$ рідини, $V = 1 m^3$, φ – дій-

сний паровміст від 0,1 до 0,5, R_0 – початковий радіус пухирця, m ; z – частка кавітаційних пухирців, які захоплюються одночасно, $z > 0,3 \div 0,5$.

Коефіцієнт k отримано з формули для захопування одиничного пухирця до досягнення його оболонкою швидкості світла:

$$\frac{E_0}{p_s V_0} = 0,25 \cdot 10^3 (0,915)^{0,6} \left(\frac{R_0 \rho g}{p_s} \right)^{-0,3} \frac{1}{p_s} p_0,$$

де p_s – тиск насиченої пари при $t = t_0$.

Енергія, яка виділяється при захопуванні, має дві складові. Перша – це енергія, яка виділяється під час змикання оболонки пухирця від початкового радіуса R_0 до критичного $R_{кр}$, при якому швидкість радіального руху пухирця досягає швидкості світла.

Ця перша складова енергії однозначно залежить від тиску оточуючої пухирець рідини в першому степені:

$$N_{cx} = nE_1 = knp_0,$$

$$\text{де } k = 0,25 \cdot 10^3 V_0 \left(\frac{R_0 \rho g}{p_s} \right)^{0,3};$$

n – кількість пухирців, зі зростанням тиску оточуючої рідини ця складова енергії збільшується в стільки разів, у скільки збільшився тиск.

КПЕ від першої складової становитиме:

$$КПЕ = \frac{N_{cx}(p_0)}{N_{нас}(\Delta p)} = \frac{kn p_0}{k_1 k_2 V^3} = \frac{kn p_0}{k_3 \Delta p}.$$

Цю частину КПЕ можна збільшувати при підвищенні в стільки разів, у скільки збільшується тиск у тракці, за вирахуванням зменшення енергії від зменшення V_0 – початкового об'єму пухирця.

Врахування стиснення об'єму кавітаційних пухирців у разі підвищення тиску в тракці

Стиснення кавітаційного пухирця під дією підвищеного тиску приймемо політропічним. При початковому тиску в потоці $p_1 = 1 \text{ атм}$ після підвищення його до величини $p_2 = 10 \text{ атм}$ маємо зменшення об'єму пухирця з V_1 до V_2 :

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma,$$

$$\text{де } \gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4.$$

Зменшення об'єму пухирця становитиме:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/\gamma} = 10^{1/1,4} = 10^{0,714} = 5,18 \text{ рази.}$$

Перша складова енергії захопування при підвищенні тиску від 1 атм. до 10 атм. збільшилась у десять разів, а від зменшення об'єму пухирців унаслідок стискання – зменшилась у 5,18 рази. У результаті, перша складова – зросла в $10 / 5,18 = 1,93 \approx 2$ рази.

Щодо другої складової енергії захопування, то вона залежить від величини критичного радіуса $R_{кр}$, часу захопування τ , швидкості захопування $v_{кр}$. Від підвищення тиску $R_{кр}$ зростає незначно, час – суттєво зменшується, швидкість – значно зростає. Тому цю складову слід розрізняти і як потенціальну (за формулою А. Ейнштейна), і як кінетичну (за формулою кінетичної енергії захопування).

Потенціальна частка другої складової зростає незначно, проте кінетична – суттєво збільшується.

У нашому прикладі оцінка енергетичних змін другої складової енергії захопування при підвищенні тракту від 1 атм. до 10 атм. має такий вигляд.

Зміна початкового R_0 і критичного $R_{кр}$ радіусів пухирця в $R_0 = V^{1/3} \sim 5,18^{1/3} = 1,73$ рази зменшується,

$$R_{кр} = R_0 \sqrt[3]{\frac{3p_0/2g}{c^2 + 3p_0/2g}} \sim \frac{\sqrt[3]{10}}{1,73} = \frac{2,15}{1,73} = 1,24$$

рази збільшується.

Фізично це пояснюється тим, що при підвищенні тиску рідини значно зростає швидкість захопування, і, незважаючи на зменшення R_0 критичний радіус $R_{кр}$ досягається скоріше при більшому його розмірі.

Збільшення потенціальної енергії захопування в другій складовій

$$E = \frac{4}{3} \pi R_{кр}^3 \rho \psi c^2 \sim 1,24^3 = 1,91 \text{ рази.}$$

Час захопування зменшиться в

$$\tau = 0,915 R_{кр} \sqrt{\frac{\rho}{p_0}} \sim \frac{\sqrt{10}}{1,24} = \frac{3,16}{1,24} = 2,55 \text{ рази.}$$

Середня швидкість захопування в інтервалі $R_{кр} - 0$ зростає в

$$\bar{v} = \left| \frac{R_{кр}}{\tau} \right| \sim 1,24 \cdot 2,55 = 3,16 \text{ рази.}$$

Більш точно середню швидкість захопування вирахуємо через поточну:

$$\dot{R}^2 = \left(\frac{dR}{d\tau} \right)^2 = \frac{2}{3} \frac{p_0}{\rho} \left(1 - \frac{R_{кр}^3}{R^3} \right),$$

$$\bar{\dot{R}}^2 = \frac{1}{R_{кр}} \frac{2}{3} \frac{p_0}{\rho} \int_0^{R_{кр}} \left(1 - \frac{R_{кр}^3}{R^3} \right) dR = \frac{4p_0}{3\rho},$$

$$\bar{\dot{R}} = 2 \sqrt{\frac{p_0}{3\rho}} \sim \sqrt{10} = 3,16 \text{ рази,}$$

тобто у 3,16 разів збільшується, маємо ту ж числову оцінку.

Кінетична енергія захопування в другій складовій зростає в

$$E_{кін} = \frac{\gamma \bar{v}^2}{2g} \sim 3,16^2 = 10 \text{ разів.}$$

При збільшенні тиску в тракці в десять разів кінетична енергія другої складової енергії захопування збільшується також у десять разів, а потенціальна енергія – в 1,91 рази. Ці оцінки наочно показують

хід процесу.

Від зростання другої складової енергії захоплення

$$KPE' = \frac{N_{nom} + N_{кин}}{N_{нас}} = \frac{nE_1 + \frac{\gamma \bar{v}_{cx}^2}{2g}}{k_3 \Delta p}$$

тобто зростає в $1,91 + 10 = 11,9$ разів в порівнянні з KPE' при тиску 1 атм.

Загальне зростання

$$KPE_0 = KPE + KPE' = 10 + 11,1 = 21,1 \text{ разів.}$$

Зростання тиску в десять разів практично досягти важко. Якщо прийняти це зростання вдвічі, то слід очікувати збільшення KPE в

$$KPE \sim \sqrt{10} \div \sqrt[3]{10} = 3,16 \div 2,15 \text{ разів,}$$

максимум $21,1 / 5 = 4,2$ разів.

З огляду наукових видань виходить, що в даний час ні в одній конструкції аналогів теплогенератора не передбачається повернення витраченої на виробництво тепла зворотної обертальної енергії.

Типовим представником вихрового теплогенератора є теплогенератор Ю. С. Потапова (рис.1), в якому електромотор 1 обертає насос 2, що подає воду під тиском 1,5 – 4,5 атм., у завиток-завихрювач 3, де вода набуває вихрового руху і поступає у вихрову трубу 4. У нижній частині вихрової труби вихровий рух води зупиняється тормозом-розвихрювачем 5. З центральної частини вихрової труби холодніша вода відводиться по рециркуляційному трубопроводу 6. Вода, циркулюючи в замкнутому контурі, нагрівається, проте це не використовується для повернення витраченої на циркуляцію води зворотної обертальної енергії електромотора і насоса.

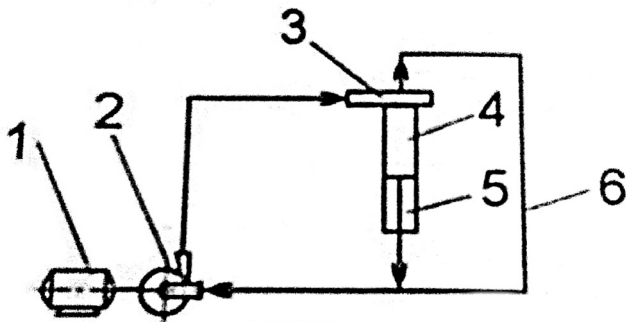


Рис. 1. Схема теплогенератора конструкції Ю. С. Потапова

Однією з версій теплогенератора Ф-101, що розробляється, є теплогенератор по патенту України на корисну модель №31861 від 25.04.2008 р. І. М. Федоткіна (рис. 2). У ньому використовується багато видів

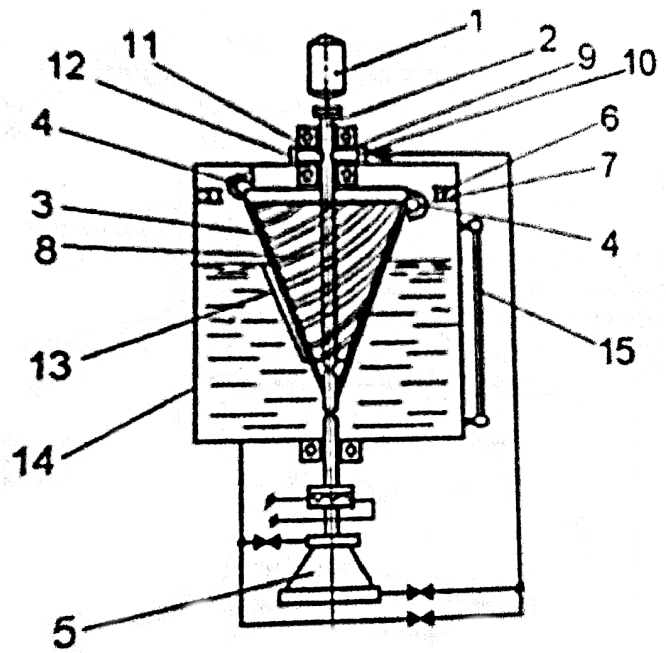


Рис.2. Схема теплогенератора Ф-101 конструкції І. М. Федоткіна

кавітації, за допомогою якої виробляється надлишкове тепло і виконується принцип, згідно з яким в одних і тих же вузлах, в один і той же час, виробляється як тепла, так і зворотна обертальна енергія, яка розвантажує електромотор до повного його відключення. При цьому теплогенератор у такі періоди може переходити в режим власного обертання і працювати як енергогенератор.

Принцип роботи теплогенератора:

електромотор 1 обертає порожнистий вал 2 і закріплений на ньому конічний ротор 3, який має на більшому торці реактивні сопла 4. Під час руху рідини під тиском насоса 5 і відцентрових сил у соплах здійснюється соплова кавітація, завдяки чому відбувається одночасно нагрівання рідини і обертання ротора внаслідок дії витікаючих з сопел струменів.

Реактивні струмені потрапляють на зуби 6 статора 7, у результаті чого виникає ударно-струменева кавітація. Її наслідком є також нагрів рідини і одночасне обертання ротора під дією зворотних реакцій, що відбуваються за рахунок витікаючих з сопел струменів.

Всередині ротора робоча рідина здійснює конусно-вихровий рух по канавках 8, які фрезеруються на конічній бічній поверхні ротора по гвинтовій лінії з постійним кроком із змінним кутом нахилу до горизонту і зі змінною глибиною канавки. Глибина канавки або площа її поперечного перетину зменшуються по ходу потоку рідини пропорційно діаметру конічного ротора.

У гвинтових канавках ротора здійснюється відцентрова кавітація і гідравлічне тертя рідини об стінки канавок. Наслідком цього також є кавітаційно-гідродинамічний нагрів рідини і одночасне повернен-

ня витраченої електромотором зворотної обертальної енергії. Це відбувається під дією таких чинників:

- сила гідродинамічного тертя (опори), яка стає рушійною силою за умови, що швидкість руху рідини в канавках перевищуватиме швидкість обертання ротора;

- різниця обертальних моментів від руху рідини в канавках на великому і малому торцях ротора. Цей чинник посилюється тим, що в канавках, що звужуються по ходу потоку, швидкість руху рідини збільшується, а рух рідини прискорюється;

- сили Коріоліса, які були б відсутні в циліндричному роторі, виникають тільки в конічному, завдяки появі радіальної складової швидкості руху рідини від збільшення діаметра її траєкторії.

У різних варіантах поєднання чинників може бути також використано:

- насосна дія ротора як шнекового або гвинтового насоса;

- реакції струменів, що витікають з виходу каналу в верхню циліндричну частину ротора;

- зворотні реакції цих струменів від їхнього удару в перегородки циліндричної камери ротора.

До теплогенератора Ф-101 додається кавітаційно-пульсаційна приставка 9, в якій розміщена крильчатка 10, що подає рідину через вікно 11 у порожнистий вал 2, а звідти – у гвинтові канавки 8.

Хвостові поверхні крильчатки 10 періодично перекривають вікна 12 входу в камеру кавітаційно-пульсаційної приставки 9, унаслідок чого збуджуються гідродинамічні пульсації. Між хвостовими поверхнями крильчаток і обичайкою з вікнами 12 виникає щільна кавітація, а крильчатка 10 через вікна 11 збуджує в порожнистому валу 2 вихрову кавітацію, як у теплогенераторі Ю. С. Потапова.

У нижній частині ротора (на зовнішній поверхні) уздовж твірних розміщені пластини 13, занурені в рідину, що заповнює резервуар 14 до рівня, який фіксується покажчиком рівня 15. Ці пластини в рідині викликають гідродинамічну кавітацію.

Зрештою, всі перераховані види кавітації призводять до перегріву робочої рідини, яка відповідно до технічного проекту і патенту має поряд з висококиплячим компонентом низькокиплячий, який і закипає в соплах 4, що сприяє надзвичайно великому прискоренню струменів і утворенню надзвукового потоку. Після цього можна очікувати, що теплогенератор перейде в самохідний режим і працюватиме як енергогенератор.

Такого повернення зворотної обертальної енергії не має жоден з відомих заявлених способів отримання енергії і теплогенераторів, що їх реалізують.

Висновки

1. Висунута і теоретично обґрунтована нова гіпотеза механізму виникнення при кавітації додаткової

надлишкової теплової та зворотної обертальної енергії. Швидкість радіального руху оболонки пухирця під час захоплення обернено пропорційна поточному радіусу в третьому степені. І тому на завершальній стадії захоплення, коли критичний радіус сягає кількох мікрометрів, швидкість захоплення досягає швидкості світла, і вся маса рідини, залучена оболонкою в радіальний рух, перетворюється в радіоактивне випромінювання, яке зафіксоване багатьма дослідниками.

2. Показано, як за допомогою прийнятої гіпотези обчислювати додаткову енергію при кавітації і дії інтенсифікуючих кавітаційних факторів: гідродударів, гідравлічних пульсацій, підтиснення тракту КТГ, резонансних явищ та ін.

3. Проведена числова оцінка дії інтенсифікуючих кавітаційних фізичних факторів.

4. Доведено, що утворюються дві складові енергії. Перша – внаслідок захоплення від початкового радіуса R_0 до критичного $R_{кр}$, при якому $v_{сх} = c$ – оболонка досягає швидкості світла. Друга складова виникає при захопленні в інтервалі $R = R_{кр}$ і $R = 0$. Ця складова має потенціальну та кінетичну частини, які від підтиснення значно збільшуються, чим обумовлюється зростання коефіцієнта перетворення енергії.

Практично, відкрито шлях до будь-якого зростання коефіцієнта перетворення енергії.

5. Розрахунки показали, що можна отримувати додаткову надлишкову дисипативну теплову й зворотну обертальну енергію з різноманітної внутрішньої енергії середовища (рідкого робочого тіла) за рахунок: залучення сил пружності за допомогою гідродударів; залучення сил інерції за допомогою гідравлічних пульсацій; залучення сил тиску за допомогою підтиснення – підвищення тиску в кавітаційному тракту КТГ; сил Коріоліса за допомогою залучення сил інерції переносного руху; резонансних явищ за допомогою сил інерції при коливаннях та ін. В усіх цих випадках необхідною умовою є введення нестационарності та резонансних режимів.

6. Розроблена оригінальна конструкція кавітаційного теплогенератора Ф-101 з виробництва тепла зворотної обертальної енергії. Відповідно до технічного проекту та патенту теплогенератора відбувається надзвичайно велике прискорення струменів і виникає надзвуковий потік, при якому теплогенератор може перейти на самохідний режим і працювати як електрогенератор. Кавітаційний теплогенератор Ф-101 не має аналогів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патент України UA 66334 А, кл: 7, F 24 J 3/00, F 24 D 3/00, «Спосіб одержання тепла для опалення будинків і споруд та кавітаційний теплогенератор безперервної дії» / Корнієнко А. В., Бюл. №4, 15.04.2004.

2. Федоткин И. М., Гульий И. С. Кавитация, кавитационная

техника и технология, их использование в промышленности. Часть I. – К.: Полиграфкнига, 1997, 840 с.

3. Федоткин И. М., Гулый И. С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Часть II. – К.: АО «ОКА», 2000, 898 с.

4. Федоткин И. М., Боровский В. В. Избыточная энергия и физический вакуум. – Винница, 2004, 352 с.

5. Федоткин И. М. и др. Математическое моделирование технологических процессов. Гидродинамические процессы. – К.: Техника, 2004, 312 с.

6. Федоткин И. М., Шаповалюк Н. И. Процессы и аппараты спиртовой промышленности. – К.: Химджест, 1999, 488 с.

7. Федоткин И. М. Математическое моделирование технологических процессов. – К.: Вища школа, 1988, 416 с.

8. Федоткин И. М. Физико-математические основы интенсификации процессов и аппаратов пищевой и химической технологии. – Кишинев: Штиинца, 1987, 264 с.

9. Федоткин И. М., Гулый И. С. Кавитационные энергетические установки. – К.: Арктур-А, 1998, 134 с.

10. Берман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: «ИЛ», 1956, 960 с.

11. Федоткин И. М., Гулый И. С. Математическое моделирование технологических процессов и их интенсификация. – К.: Арктур-А, 1999, 416 с.

12. Федоткин И. М., Шаповалюк Н. И., Боровский В. В. К теории физического вакуума. – Винница, 2004, 262 с.

13. Федоткин И. М., Фарисюк В. Р. Интенсификация теплообмена в аппаратах химических производств. – К.: Техника, 1971, 214 с.

14. Федоткин И. М., Липсман В. С. Интенсификация теплообмена в аппаратах пищевых производств. – М.: Пищевая

промышленность, 1972, 240 с.

15. Федоткин И. М. Исследованные процессы и установленные эффекты. Том I. – К.: Химджест, 2000, 292 с.

16. Пат. РФ №2037682. Генератор гидравлических ударов. Федоткин И. М., Гулый И. С. // Оpubл. 19.06.95., бюл. №17.

17. А. С. СССР 520460. Гидропульсатор / И. М. Федоткин, А. С. Заец, В. Н. Гладкий, А. Н. Тимонин // Приоритет от 1978.

18. А. С. СССР 346568. Устройство для генерации пульсаций / И. М. Федоткин, В. С. Липсман, И. В. Косминский // 1972, бюл. №23.

19. Федоткин И. М. На пути к познанию непроявленного мира. – К.: Техника, 2005, 354 с.

20. Федоткин И. М., Боровский В. В. Математическое моделирование технологических процессов методом аналогизации. – Винница, 2002, 376 с.

21. Ткаченко А. Н., Федоткин И. М., Тарасов В. А. Производство избыточной энергии. – К.: Техника, 2001, 332 с.

22. Ткаченко А. Н., Федоткин И. М., Тарасов В. А. Кавитационная техника и технология. – К.: Техника, 2002, 462 с.

23. Семінська Н. В. Удосконалення гідроструминних технологій з врахуванням особливостей формування струменів високого тиску: Автореф. дис... канд. техн. наук. – К.: НТУУ «КПІ», 2008.

24. Беспалько С. А. Дослідження дисипативного нагрівання в замкнутому контурі теплогенератора: Автореф. дис... канд. техн. наук. – К.: НТУУ «КПІ», 2009.

25. Кунц Роберт (США). Мотор Ричарда Клема и конический насос // Новая энергетика. – 2003. – С. 61–64.

26. Ткаченко О. М., Федоткин И. М., Тарасов В. О. Спосіб виробництва надлишкової енергії та кавітаційний теплогенератор для його здійснення. Деклараційний патент на винахід М-ва освіти і науки України ДДІВ 15.03.2001, бюл. №2.



ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГІЙ

Приладобудування

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИЙ СТЕРИЛІЗАТОР

Призначений для очищення, дезінфекції й стерилізації інструментів, що контактують із живими, у тому числі й людськими, тканинами.

Галузі застосування. Медицина, ветеринарія, косметологія.

Опис. За допомогою стерилізатора можна здійснювати процеси очищення, дезінфекції й стерилізації виробів і матеріалів різного призначення у воді, насиченій високими концентраціями озону, з одночасним впливом ультразвуку. Чищення ультразвуком засновано на процесі кавітації (утворення дрібних бульбашок повітря під впливом ультразвукової хвилі). Очищення оброблюваної поверхні відбувається в результаті вибуху цих бульбашок. Висока концентрація озону у воді необхідна для ефективної й повної стерилізації об'єктів і досягається за допомогою зниження

її температури.

Технічна характеристика

Робочий газ	осушене повітря
Витрати робочого газу	0,5 – 1 л/хв
Вхідна концентрація озону	30 мг/л
Концентрація озону у воді	до 12 мг/л
Продуктивність по озону	до 1 г/год.
Потужність	до 300 Вт
Температура стерилізації	10 – 15 °С
Час стерилізації	до 1 год.
Обсяг камери	1 – 10 л

Переваги:

- стерилізація об'єктів, чутливих до високотемпературної обробки;
- обробка виробів зі складною поверхнею або із внутрішніми порожнинами;
- зменшення витрат, скорочення циклу стерилізації;
- прилад може використовуватися для одержання газоподібного озону й озонованої води;
- після закінчення стерилізації озон легко конвертується в кисень.