



UDC 532.528, 529.5:536.423

**MATHEMATICAL SIMULATION OF FUELS PRODUCTION PROCESSES
BASED ON WATER-OIL EMULSION BY HYDRODYNAMIC CAVITATION
METHOD****МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВ НА
ОСНОВІ ЕМУЛЬСІЇ «ВОДА-ОЛИВА» МЕТОДОМ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ****Obodovych O.M.***d.t.s., prof., head of department,**ORCID: 0000-0001-7213-3118**Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine,
Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist, 2a, 03057***Ivanytsky G.K.***d.t.s., prof.**ORCID: 0000-0002-0486-2359**National technical University of Ukraine 'National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" 03056, prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine
Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine,
Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist, 2a, 03057***Tselen B. Ya***c.t.s., leading researcher**ORCID: 0000-0001-5213-0219**Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine,
Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist, 2a, 03057***Radchenko N.L.***c.t.s., senior researcher**ORCID: 0000-0002-5315-1609**Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine,
Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist, 2a, 03057***Nedbailo A.Y.***c.t.s., senior researcher**ORCID: 0000-0002-8590-5823**Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine,
Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist, 2a, 03057***Shulyak V.V.***chief mechanic**Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine,
Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist, 2a, 03057*

Анотація. На сьогоднішній день у зв'язку зі світовою енергетичною кризою актуальним стає питання розробки технологій нових видів палив. Альтернативою традиційним паливам, що використовуються на теплоенергетичних об'єктах є водооливне пальне, застосування якого є доцільним з економічної та екологічної точки зору. При виробництві таких палив важливим є отримання седиментаційно стійкої монодисперсної емульсії зі стандартизованим розміром частинок при мінімізації поточних витрат виробництва. В Інституті технічної теплофізики ведуться роботи щодо розробки технології та обладнання виробництва такого палива з використанням гідродинамічної кавітації, що в лабораторних умовах показали свою ефективність. Цінним для розробки таких технологій є математичний опис процесів кавітації, що дозволить давати правильну оцінку параметрам при проектуванні обладнання та режимам обробки. В статті наведена математична модель, що дозволяє оцінити інтенсивність процесу гідродинамічної кавітації в залежності від умов ведення процесу.



Ключові слова: гідродинамічна кавітація, водооливне паливо, тепломасообмін, гідродинаміка.

Умовні позначення.

A – робота
 B – газова стала
 c – питома теплоємність
 H – тепловміст
 J – масовий потік
 j – питомий масовий потік
 L – прихована теплота пароутворення
 M – молекулярна маса
 m – маса
 N_b – кількість бульбашок в одиниці маси суміші
 p – тиск
 Q – тепловий потік
 q – питомий тепловий потік
 R – радіус
 r – радіальна координата
 T – температура
 u, v – швидкість
 V – об'єм
 w – відносна швидкість
 w_R – радіальна швидкість
 α – коефіцієнт випаровування (конденсації)

β – об'ємний паровміст
 δ – товщина граничного шару
 ε – щільність енергії
 φ – потенціал поля швидкостей
 λ – коефіцієнт теплопровідності
 μ – коефіцієнт динамічної в'язкості
 ρ – густина
 σ – коефіцієнт натягу на границі розділу фаз
 τ – час

Індекси

0 – початкове значення
 ∞ – значення параметру на безмежному віддаленні
 b – значення параметру в бульбашці
 f – кінцевий
 g – газ
 k – кінетичний
 l – рідина
 sat – значення параметра в стані насичення
 v – пара

Вступ.

Необхідність розробки та впровадження у виробництво нових технологій отримання багатокомпонентних середовищ: емульсій, суспензій, складних водних розчинів та систем з використанням кавітації, що дозволяють досягти значних позитивних результатів в теплоенергетиці, будівельній індустрії, харчовій промисловості, сільському господарстві та інших галузях виробництва є актуальною на сьогоднішній день і в найближчій перспективі.

Використання органічного палива є основним джерелом енергії для різних теплотехнологічних процесів. Можливим шляхом підвищення якості згорання палива може бути використання його у вигляді емульсії в воді. Так, з екологічної та економічної точок зору використання такого палива може вирішити ряд проблем в енергетичному секторі України та поза її межами. Ефективність процесів згорання рідкого палива в пальникових пристроях та камерах згорання теплотехнологічних установок залежить від якості та фізичних властивостей суміші. Тому задачі удосконалення теплофізичних та



гідродинамічних процесів при спалюванні палива, використання підготовки води і палива шляхом ініціювання двофазних паливо-водних емульсій, покращення технологічних режимів роботи пальникових пристроїв з урахуванням викидів шкідливих сполук мають суттєве наукове та практичне значення.

Якщо рідину під високим тиском нагріти до температури, яка значно перевищує температуру її кипіння за нормальних умов, а потім дуже швидко скинути тиск, це приведе до явища вибухового закипання, яке супроводжується інтенсивним розширенням парових бульбашок.

На початковій стадії зростання окрема парова бульбашка випромінює імпульси тиску з аномально високою амплітудою, яка за даними експерименту може становити 10 МПа і більше. Кожна бульбашка стає таким чином центром потужної сферичної ударної хвилі. Відомо, що центри скипання локалізуються переважно на границі присутніх в рідині дисперсій і це значно посилює ефект їхньої динамічної дії безпосередньо на дисперсні частинки. При цьому трансформація енергії під час інерційної стадії зростання бульбашок протікає в імпульсному режимі за дуже короткий проміжок часу, а введення енергії в об'єм рідини відбувається водночас у безліч дискретних зон, якщо рідина нагріта рівномірно.

Ефект інтенсивного закипання сильно перегрітої рідини використовується для створення дрібно дисперсних емульсій в системах типу «вода-олива», в яких дисперсною фазою є легко летюча рідина з низькою температурою кипіння (вода), а безперервна фаза - рідина з суттєво вищою температурою кипіння (приміром, мазут).

В таких системах скинення тиску в дуже перегрітій емульсії веде до явища вибухового закипання в його класичному розумінні, коли перегріта рідина не контактує з твердою поверхнею і може деякий час перебувати у метастабільному стані [2]. Це дозволяє порівняно повільно скинути тиск до потрібного рівня ще до початку формування парових бульбашок, після чого відбувається спонтанне їх розширення, - в прямому сенсі, вибухове. Завдяки тому, що процес вибухового закипання відбувається лише усередині краплин легко летучої рідини, останні роздрібнюються на найдрібніші мікрокраплинки, які розпоршуються в нелетучій навколишній рідині.

На основі механізму кавітаційного вибухового закипання запропоновано також принципово новий клас апаратів для готування стійких емульсій та гомогенізованих сумішей для дисперсних систем типу «олива-вода». Під терміном «олива» тут розуміється взаємно нерозчинна з водою рідина – органічна сполука, температура кипіння якої вища за температуру кипіння води. Динамічні ефекти, які забезпечують руйнування крапель оливи в таких емульсіях, створюються в результаті адіабатного скипання води завдяки різкому зменшенню тиску, тобто виключно за рахунок використання внутрішньої енергії самої систем [3, 4].

Для розробки технологій виробництва такого роду палив необхідне теоретичне розуміння процесів та їхній математичний опис, що відбуваються в двофазних потоках, їх безпосередній вплив на рідку фазу і дисперсні частинки



системи [2]. Актуальність цього напрямку досліджень підтверджується наявністю ряду робіт [2, 3, 4], де описані механізми процесів впливу кавітації на дисперсну фазу та дисперсійне середовище, а також теплофізичні параметри процесів.

Еволюцію двофазного потоку можна розглядати, як динаміку парових або парогазових бульбашок при кавітації в рамках термодинамічного підходу. Закономірності поведінки бульбашки при кавітації обумовлені характером перебігу сукупності нерівноважних процесів, що контролюють еволюцію системи до настання термодинамічної рівноваги. Багато сучасних досліджень присвячено динаміці одиначної парогазової бульбашки. [5, 6, 7]. Така увага до цього процесу обумовлюється тим, що саме розвиток однієї бульбашки в двофазних системах визначає специфіку та характер перебігу таких процесів як адіабатне кипіння, вибухове закипання, об'ємна конденсація, кавітації, що формують основу багатьох теплотехнологічних процесів. Для опису еволюції парогазової бульбашки необхідно враховувати сукупність взаємопов'язаних процесів: гідродинамічних, тепломасообмінних, хімічних, акустичних та ін.

Основними припущеннями, прийнятими при розробці моделі динаміки одиначної бульбашки є наступне:

1. Бульбашка має сферичну форму.
2. Рідина є в'язкою, але нестисливою.
3. Бульбашка містить пару, кількість якої визначає масообмін між бульбашкою та оточуючою рідиною, та неконденсований газ (або суміш газів), маса якого залишається постійною протягом всього часу існування бульбашки.
4. Пара і компоненти газового середовища розглядаються як реальні гази.

Постановка задачі.

Бульбашка радіусом R_0 містить пару і неконденсований газ з парціальним тиском p_{g0} та існує в рівновазі з рідиною при температурі $T_{10} = \text{const}$. Умови рівняння парогазової бульбашки в рідині визначаються рівняннями:

роботи по зміні об'єму V та площі поверхні розділу фаз при розширенні бульбашкової системи:

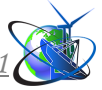
$$dA = pdV + \sigma \cdot dS = (p + \sigma \cdot dS/dV) \cdot dV;$$

та умовою загальної термодинамічної рівноваги в однокомпонентній системі:

$$T_{v0} - T_{10} = 0, \mu_{v0} - \mu_{10} = 0, p_{v0} - p_{10} - 2\sigma/R = 0.$$

З цих рівнянь випливає, що початковий тиск в рідині $p_{10} = p_{b0} - \frac{2\sigma}{R_0} = p_{g0} + p_{sat}(T_{10}) - \frac{2\sigma}{R_0}$. Починаючи з моменту $\tau = 0$, тиск в рідині p_1 за час $\Delta\tau = 0$ змінюється від значення p_{10} до заданого кінцевого значення p_{1f} і в залежності від знака $p_{10} - p_{1f}$ бульбашка починає зростати або стискатись. Часовий інтервал $\Delta\tau$ визначає тривалість акумулювання енергії. Як частковий випадок, розглядається миттєве зростання тиску в рідині ($\Delta\tau = 0$).

Дана модель дає можливість отримати інформацію, що стосується кінематичних, динамічних та енергетичних характеристик бульбашки, що



зростає або стискається: визначити локальні швидкості $w(r, \tau)$, прискорення $dw/d\tau$, тиск $p_l(r, \tau)$, щільність кінетичної енергії $\varepsilon_k(r, \tau)$ в довільній точці об'єму рідини поблизу бульбашки в процесі її динамічного розвитку залежно від вихідних режимних параметрів $T_{l0}, p_{l0}, p_{ly}, R_0, m_g, \Delta t$. Крім цього, визначаються поточні теплофізичні параметри пари або парогазової суміші в бульбашці ($T_b, T_s, p_v, p_g, p_b, \rho_v, \rho_g, \rho_b$), товщина примежового теплового шару q , швидкості теплопереносу j та масопереносу через одиницю площі межі розділу фаз.

Наведені рівняння описують поведінку бульбашки, виведеної зі стану рівноваги у системі «бульбашка-рідина» в процесі її релаксації до нового термодинамічного рівноважного стану.

Основні рівняння моделі.

Модель містить систему диференціальних рівнянь з відповідними початковими умовами та замикаючими алгебраїчними рівняннями, а також співвідношеннями, що апроксимують температурні залежності теплофізичних параметрів. Припускається, що у всіх випадках відома температура рідини T_{l0} на відстані від бульбашки. Початковий рівноважний тиск в рідині також є відомим параметром. Наступна зміна тиску протягом визначеного проміжку часу Δt до заданого кінцевого значення p_{ly} визначає подальшу поведінку бульбашки. В умовах термічної рівноваги значення p_{l0} і T_{l0} визначають початкові умови для температури, густини та тиску пари і газу всередині бульбашки. Якщо в бульбашці присутня тільки пара, то початковий радіус бульбашки R_0 однозначно визначається з умови $p_v = p_{sat}(T_{l0}) = p_{l0} + 2\sigma/R_0$. При наявності в бульбашці відомої кількості неконденсованого газу m_g початковий радіус рівноважної бульбашки буде залежати також від парціального тиску газу $p_g = 3m_g T_{l0} / 4\pi R_0^3 M_g$, так що значення R_0 можна варіювати, задаючи значення m_g (або p_{g0}). Тоді R_0 визначається з умови $p_g + p_{sat}(T_{l0}) = p_{l0} + 2\sigma/R_0$. При аналізі процесу зростання парових зародків початковий вміст газу практично не впливає на наступну поведінку зростаючої бульбашки. При стисканні бульбашок вміст газу в бульбашці стає основним фактором і навіть дуже мала присутність стороннього газу в початковій бульбашці значним чином впливає на характер її колапсу.

Нижче наведені основні рівняння моделі.

Зміна швидкості радіального руху рідини біля поверхні бульбашки:

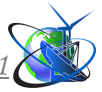
$$\frac{dw_R}{d\tau} = \frac{p_R - p_{\infty} - 1,5p_l w_R^2 - \frac{2\sigma}{R} - \frac{4\mu_l w_R}{R}}{p_l R}. \quad (1)$$

Зміна радіуса бульбашки:

$$\frac{dR}{d\tau} = w_R + \frac{j}{p_l}. \quad (2)$$

Зміна температури парогазового середовища в бульбашці:

$$\frac{dT_b}{d\tau} = \frac{3}{\rho_g c_g + \rho_v c_v} \cdot \left(q - j c_v T_b - p_b \frac{dR}{d\tau} \right). \quad (3)$$



Зміна на густини нейтрального газу в бульбашці:

$$\frac{d\rho_g}{d\tau} = -\frac{3\rho_g}{R} \frac{dR}{d\tau} \quad (4)$$

Зміна густини пари в бульбашці:

$$\frac{d\rho_v}{d\tau} = -\frac{3}{R} \left(j - \rho_v \frac{dR}{d\tau} \right) \quad (5)$$

Зміна кількості теплоти, що передана бульбашці:

$$\frac{H_l}{d\tau} = -4\pi R^2 [jL(T_s) - q] \quad (6)$$

Початкові умови при цьому наступні:

$$w_R(0) = w_{R0}, R(0) = R_0; T_{b0}(0) = T_{b0}, \rho_v(0) = \rho_{v0}; \\ \rho_g(0) = \frac{m_g}{4/3\pi R^3}, H_l(0) = H_{l0}$$

Додаткові рівняння:

Тиск газу в бульбашці:

$$p_g = \frac{B\rho_g T_b}{m_g - \rho_g b_g} - \frac{a_g \rho_g^2}{M_g^2} \quad (7)$$

Тиск пари в бульбашці:

$$p_v = \frac{B\rho_v T_b}{m_v - \rho_v b_v} - \frac{a_v \rho_v^2}{M_v^2} \quad (8)$$

Тиск парогазового середовища в бульбашці:

$$p_b = p_g + p_v \quad (9)$$

Швидкість масопереносу через межу розділу фаз:

$$j = 0,25\alpha_m [\rho_s u_s(T_s) - \rho_v u_v(T_b)] \quad (10)$$

Швидкість теплопереносу через межу розділу фаз:

$$q = 0,25(\rho_v u_v c_v - \rho_g u_g c_g)(T_s - T_b) + j c_v T_s \quad (11)$$

Швидкість молекулярно кінетичного руху молекул пари і газу

$$u_v(T_b) = \left(\frac{8BT_b}{\pi M_v} \right)^{0,5}, u_v(T_s) = \left(\frac{8BT_s}{\pi M_v} \right)^{0,5}, u_g(T_b) = \left(\frac{8BT_b}{\pi M_g} \right)^{0,5} \quad (12)$$

Рівняння балансу теплоти:

$$(T_0 - T_s)\lambda_1 \left(\frac{2}{\delta} + \frac{1}{R} \right) = -j(T_s)L(T_s) - q(T_s) \quad (13)$$

Зміна тепловмісту в тепловому шарі в рідині біля бульбашки:

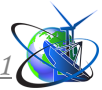
$$\frac{dH_l}{d\tau} = -4\pi R^2 [jL(T_s) - q] \quad (14)$$

Поточна товщина теплового межового шару:

$$\delta = 2 \cdot R \left(\sqrt{1 + \frac{3H_l}{4\pi R^3 \rho_l c_l (T_s - T_l)}} - 1 \right) \quad (15)$$

Система наведених рівнянь має бути доповнена співвідношеннями, що адекватно описують температурні залежності теплофізичних параметрів рідини, пари та неконденсованого газу. Розглянута в даній роботі модель без введення додаткових обмежень та без зміни базових рівнянь може адекватно описувати поведінку парових бульбашок не тільки у воді, але й у будь-якій іншій рідині, якщо є отримані емпіричні співвідношення для точного опису залежності відповідних теплофізичних параметрів від температури.

Для переходу від моделі динаміки одиничної бульбашки до аналізу стану



поток з ансамблем бульбашок можна використовувати коміркову модель. Так, в роботі Р. Нігматуліна [8] описана поведінка бульбашки в ансамблі за допомогою коміркової моделі. Існує сучасна модифікація даної моделі [9], основними рівняннями якої є наступні.

Об'ємний паровміст пов'язано з розміром і концентрацією бульбашки для монодисперсної системи та визначається виразом:

$$\beta = \frac{4\pi R^3 N_b \rho_l}{3 + 4\pi R^3 N_b \rho_l}. \quad (16)$$

Біля кожної бульбашки в межах елементарної комірки з радіусом $\xi(\tau) = R(\tau)/\beta^{0,33}$ існує сферично-симетричне розподілення тиску $p_l(r, \tau)$, яке можна знайти шляхом підстановки в рівняння (4) однієї з граничних умов для тиску. Використовуючи умову $p(\xi) = p_c$ при визначенні функції $f(\tau)$ в правій частині (4) отримуємо розподілення тиску в формулі

$$p_l(r) = p_R - \rho_l \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \tau} - \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} \Big|_{r=\xi} + \frac{w^2}{2} - \frac{w^2}{2} \Big|_{r=\xi} \right). \quad (17)$$

Якщо при визначенні $f(\tau)$ використати граничну умову $p(R) = p_R$ розподілення тиску в комірці буде мати наступний вигляд:

$$p_l(r) = p_R - \rho_l \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \tau} - \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} \Big|_{r=R} + \frac{w^2}{2} - \frac{w^2}{2} \Big|_{r=R} \right). \quad (18)$$

Визначаючи величини в правій частині (18) з урахуванням співвідношень (5) приводимо рівняння (18) до вигляду:

$$p_l(r, \tau) = p_R - p_l \left(R \frac{dw_R}{d\tau} + 2w_R^2 \right) (1 - \beta^{0,33}) + 0,5\rho_l w_R^2 (1 - \beta^{1,33}). \quad (19)$$

При $r = \xi$ рівняння (19) зводиться до рівняння для визначення тиску на зовнішній межі комірки:

$$p_c = p_l(\xi, \tau) = p_R - p_l \left(\frac{p_R - p_c + 0,5\rho_l w_R^2 (1 - \beta^{1,33})}{1 - \beta^{0,33}} \right) \left(1 - \frac{R}{r} \right) + 0,5\rho_l w_R^2 \left(1 - \frac{R^4}{r^4} \right) \quad (20)$$

Середній тиск в рідині в межах комірки визнається за рівнянням:

$$\bar{p}_l(\tau) = \frac{3}{4\pi(\xi^3 - R^3)} \int_R^\xi 4\pi p(r, \tau) r^2 dr.$$

Проводячи інтегрування в правій частині отримуємо:

$$\bar{p}_l(\tau) = p_c \frac{\rho^{0,33} [p_R - p_c + 0,5\rho_l w_R^2 (1 - \beta^{1,33})]}{1 - \beta^{0,33}} \left[\frac{1,5(1 - \beta^{0,66})}{1 - \beta} - 1 \right] - 0,5\rho_l w_R^2 \left(\frac{3\beta \cdot (1 - \beta^{0,33})}{1 - \beta} - \beta^{1,33} \right). \quad (21)$$

Усреднення тиску відноситься як до елементарної комірки так і до всього об'єму рідини в між бульбашковому просторі.

Кількість переданої теплоти через поверхню бульбашки при фазовому переході і теплообміні $4\pi R^2(jL + q)$, однозначно визначає зміну тепловмісту рідини в комірці та її середньої температури. Тоді можна записати

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\tau} \left[\frac{3}{4} \pi \rho_l c_l (\xi^3 - R^3) \bar{T}_l \right] &\equiv \frac{d}{d\tau} \left[\frac{3}{4} \pi \rho_l c_l \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right) \bar{T}_l \right] = \\ &= 4\pi R^2 (jR + q) \end{aligned} \quad (22)$$



Підставляючи в (22) замість β праву частину (16) і виконуючи необхідні перетворення отримаємо просте рівняння для визначення середньої температури рідини міжбульбашковому просторі ансамбля бульбашок:

Рівняння (16), (17) (20) (21), (22) доповнюють систему рівнянь динаміки одиначної бульбашки. Єдиним новим параметром, що доповнює початкові умови є концентрація бульбашок в одиниці маси системи $N_b = \text{const}$.

Висновки.

Описана в даній роботі модель дозволяє аналізувати поведінку двофазного потоку рідини в кавітаційній течії та її основні параметри такі як тиск, температура, швидкість потоку і швидкості зміни цих параметрів в кожній точці системи в залежності від умов ведення процесу. Можливість отримання уявлення про вектори швидкостей мікротечій всередині ансамблю бульбашок та біля нього дає інформацію про величини зсувних напружень та час впливу, яким піддається дисперсна фаза суспензії. Така інформація є основою для проектування обладнання та розроблення технологічних параметрів отримання монодисперсних сумішей. Попередні розрахунки параметрів гідродинамічної кавітації доводять, що локальна область поблизу колапсуючої кавітаційної мікробульбашки є унікальним реактором для проведення різних реакцій та технологічних процесів в підготовці паливних композицій.

References:

1. Dengaev A., Verbitsky V. Eremenko O., Novikova A., Getalov A., Sargin B. (2022). Water-in-oil emulsions separation using a controlled multi-frequency acoustic field at an operating facility. *Energies* 2022, 15, 63-69. <https://doi.org/10.3390/15176369>
2. Ivanitsky G., Tselen B., Radchenko N., Gozhenko L. (2021). Analytical study of the mechanism of droplet deformation and breakup in shear flows. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 43(1), 30–37. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2021.4>.
3. Ivanitsky G., Tcelen B., Nedbaylo A., Konuk A. (2019) Modelling the kinetics of cavitation boiling up of liquid. *Physics of aerodynamic systems*, 57, 136-146. <https://doi.org/10.18524/0367-1631.2019.57.191970>.
4. Ivanitsky G., Tcelen B., Nedbaylo A., Gozhenko L. (2020). The ways of producing an unified mathematical model for the cavitating flow in hydrodynamic cavitation reactors. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 42(2), 31-38. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/tpe.2.2020.3>
5. Vignoli, Lucas, Barros, A., Thomé, Roberto, Nogueira, A., Paschoal, Ricardo, Rodrigues, Hilario. (2013) Modeling the dynamics of single-bubble sonoluminescence. *European Journal of Physics*. 34(3), 679. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/34/3/679>
6. Guillermo Hauke, Daniel Fuster, Cesar Dopazo (2007) Dynamics of a single cavitating and reacting bubble. *Phys. Rev. E*. 75(6), 066310. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.75>
7. Shima A., Tomita Y., Ohno T. (1988) Temperature effects on single bubble collapse and induced impulsive pressure. *J. Fluid Engng.* 110(2), 194 199.



8. Nigmatulin R.I. Khabeev N.S. Nagiev F.B. (1981) Dynamics, heat and mass transfer of vapor-gas bubbles in liquid. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 24(6), 1033–1041.

9. Dolinsky A. A., Ivanitsky G. K. Heat and mass transfer and hydrodynamics in vapor-liquid environments. *Thermophysical fundamentals of discrete-pulse input of energy*. Kyiv: Naukova Dumka, 2008. - 381 p.

***Abstract.** Today, in connection with the global energy crisis, the issue of developing technologies for new types of fuels is becoming urgent. An alternative to traditional fuels used at thermal power facilities is water-oil fuel, the use of which is expedient from an economic and ecological point of view. In the production of such fuels, it is important to obtain a sedimentation-resistant monodisperse emulsion with a standardized particle size while minimizing current production costs. The Institute of Technical Thermal Physics is working on the development of technology and equipment for the production of such fuel with the use of hydrodynamic cavitation, which has proven to be effective in laboratory conditions. Valuable for the development of such technologies is the mathematical description of cavitation processes, which will allow to give a correct assessment of the parameters in the design of equipment and processing modes. The article presents a mathematical model that allows estimating the intensity of the hydrodynamic cavitation process depending on the conditions of the process.*

***Key words:** hydrodynamic cavitation, wateroil fuel, heat and mass transfer, hydrodynamics*