

UDC 532.528, 529.5:536.423

**SIMULATION OF THE PROCESS OF HYDRODYNAMIC CAVITATION
FOR THE PURPOSE OF DEVELOPING TECHNOLOGIES FOR
OBTAINING FUEL EMULSIONS****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***Ivanitsky 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***Radchenko N.L.***c.t.s., senior researcher**ORCID: 0000-0002-5315-1609***Nedbailo A.Y.***c.t.s., senior researcher**ORCID: 0000-0002-8590-5823***Shulyak V.V.***chief mechanic***Shchepkin V.I.***chief technologist**Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Science of Ukraine,
Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist, 2a, 03057*

Abstract. Today, the development of technologies for obtaining water-oil fuels is a relevant area of research. In addition to the composition, the methods of obtaining finely dispersed emulsions are of significant research interest. The Institute of Technical Thermophysics has conducted a number of studies on obtaining such water-oil fuels by the method of hydrodynamic cavitation. These studies have shown the effectiveness of this treatment method. For the further development of technology and equipment to produce such fuels, their mathematical analysis is of significant interest, which will allow to give a correct assessment of the parameters during the design of equipment and processing modes. The article presents a mathematical model that allows to estimate the intensity of the hydrodynamic cavitation process depending on the conditions of the process.

Key words hydrodynamic cavitation, water-oil fuel, heat and mass transfer, hydrodynamics.

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 закипання локалізуються переважно на межі 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 відбувається 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 легка рідина з низькою температурою кипіння (вода), а безперервна фаза – рідина з суттєво вищою температурою кипіння (наприклад, мазут).

В таких системах скидання тиску в дуже перегрітій емульсії призводить 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 всередині краплин легкої рідини, останні подрібнюються на найдрібніші мікрокраплинки, що розпорошуються в нелеткій навколишній рідині.

На основі механізму кавітаційного вибухового закипання запропоновано також принципово новий клас апаратів для приготування 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 закипання води завдяки різкому зменшенню тиску, тобто виключно за рахунок використання внутрішньої енергії самої системи [3, 4].

Для розроблення технологій виробництва такого роду палив необхідне теоретичне розуміння процесів, що відбуваються в двофазних потоках, їх математичний опис, безпосередній вплив на рідку фазу і дисперсні частинки системи [2]. Актуальність цього напрямку досліджень підтверджується наявністю ряду робіт [2–4], 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. [5–7]. 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, кавітація, що формують основу багатьох теплотехнологічних процесів. Для опису еволюції парогазової бульбашки необхідно враховувати сукупність взаємопов'язаних процесів: гідродинамічних, тепломасообмінних, хімічних, акустичних та ін.

Математична модель, що описує процеси вибухового закипання базується на моделі динаміки одиначної бульбашки [8]. Вона містить систему диференціальних рівнянь з відповідними початковими умовами та замикаючими алгебраїчними рівняннями, а також співвідношеннями, що апроксимують температурні залежності теплофізичних параметрів. Основними рівняннями моделі одиначної бульбашки є зміна швидкості радіального руху рідини біля поверхні бульбашки, динаміка радіуса бульбашки, зміна температури парогазового середовища в бульбашці, зміна густини нейтрального газу та пари в бульбашці, зміна кількості теплоти, що передана бульбашці. Інтегруючи модель одиначної бульбашки в коміркову модель, яка включає в себе рівняння об'ємного паровмісту для монодисперсної системи, сферично-симетричне розподілення тиску в межах елементарної комірки з елементарним радіусом, рівняння для визначення тиску на зовнішній межі комірки, середній тиск в рідині в межах комірки, зміну тепловмісту рідини в комірці та її середньої температури, отримаємо модель, яка дозволяє аналізувати динамічні та теплофізичні параметри потоку в довільній його точці.

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 емульсії. 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/ttpe.1.2021.4>.
3. Ivanitsky G., Tselen 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/ttpe.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. 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.