

УДК 543.8 + 541.13

Кривошеев В.Є., Жицька Я.С., Ночніченко І.В.,  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### Експериментальне дослідження гідродинамічної люмінесценції при кавітації в потоці рідини насиченої інертними газами

Аналіз інформаційних джерел двадцятого століття встановив, що визначення сонолюмінесценція, трактується як світловипромінювання рідини (люмінесценція) при впливі на неї ультразвукових коливань, або світловипромінювання викликане в середовищі при механічному або гідромеханічному обуренні. Таке теоретичне представлення було обумовлено невеликою кількістю прикладних робіт в даній області фізико-хімії та звукової хімії. Також відомі роботи в яких світловипромінювання в середовищі спостерігалось без ультразвукової обробки речовини під дією хвиль з частотою коливань в діапазоні 18-24 кГц. Аналіз джерел та публікації, за останні роки показав, що ряд класичних робіт присвячено саме вивченню, як в теоретичному так і експериментальному характері гідродинамічної люмінесценції (гідроломінесценція), що викликане різким збільшення вектору швидкості рідини в вузьких каналах та дроселях при певних умовах перепаду тиску та реологічних властивостях речовини [1].

242

Таким чином, з'ясуємо різницю між сонолюмінесценцією та гідроломінесценцією.

Сонолюмінесценція – світловипромінювання речовиною за рахунок проходження ультразвукових хвиль, що викликане кавітацією у бульбашці, звуковими коливаннями, які при критичних умовах, випромінюють світло.

Аналогічне за своєю природою світловипромінювання, можна спостерігати також при гідромеханічному впливі на речовину. Наприклад, при течії робочої рідини крізь дроселі чи звуження, та при обтіканні тіл. Оскільки робочі процеси відповідають гідродинамічному характеру, то їх ще називають гідродинамічною люмінесценцією або гідроломінесценцією [2].

Гідроломінесценція – світловипромінювання рідиною, що викликане кавітацією бульбашок при потоці рідини при певних умовах. Таким чином, існує два фізичні процеси у речовині при певних умовах сонолюмінесценція і гідроломінесценція.

На сьогоднішній час існує дві основні теорії виникнення сонолюмінесценції і гідроломінесценції це «теплова» та «електрична».

Теплова теорія базується на тому, що при кавітації утворюються високі температури, які викликають при зхлопуванні бульбашки світловипромінювання. Електрична теорія базується на електричних процесах всередині бульбашки або взаємодії з близько кавітуючими бульбашками.

Як обґрунтування теорій першого типу певну роль відіграють повідомлення про відповідність суцільного спектра, що спостерігається при сонолюмінесценції, спектру випромінювання абсолютно чорного тіла. Взагалі, питання про ідентичність СЛ і ГЛ залишається відкритим, хоча встановлено, що багато закономірностей сонолюмінесценції і гідроломінесценції збігаються [1].

Однією з можливих причин сонолюмінесценції [3] - світловипромінювання рідин при впливі на них ультразвуком - є електризація рідин. Мабуть, вперше подібну гіпотезу висловив Я.І. Френкель в роботі [4], отримані ним значення напруженості електричного поля склали 600 В / см. Незважаючи на те що теорія Френкеля як така пізніше піддавалась критиці, сама ідея про електричну природу порушення світловипромінювання має багато прибічників. Зокрема, інший механізм електризації розглядається в [5], де отримані теоретичні оцінки істотно більш високих полів - до 107 В / см.

Спектроскопія ГЛ дає нам інформацію про умови в люмінесцентній рідині - точно, про умови в бульбашках, тому що основним джерелом випромінювання світла є викиди газу всередину повітряних бульбашок. Спектр ГЛ дає чітке свідчення не рівноважної плазми в бульбашках.

Для візуалізації використовувався зразок, який має прозорий циліндр з оргскла (рис.1). Експерименти проводилися при перепаді тиску до 5 МПа і витраті до 10-5 м<sup>3</sup>/с [6-9].

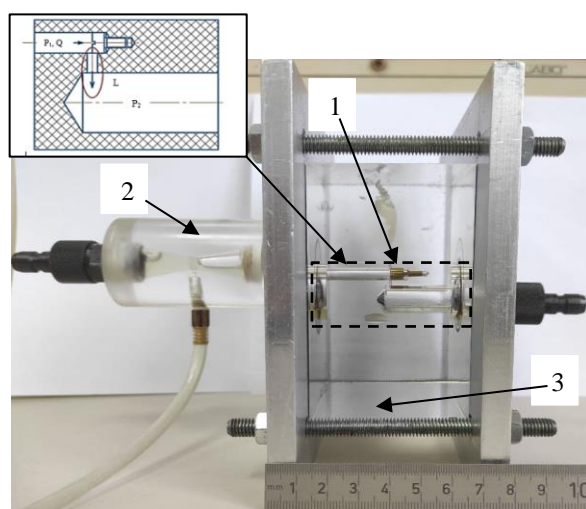


Рис.1. Дизайн моделі (зразка) дослідження: 1 – реактор, 2 – ежектор, 3 – корпус

Зразок був підключений до гідросистеми за схемою (рис.2)

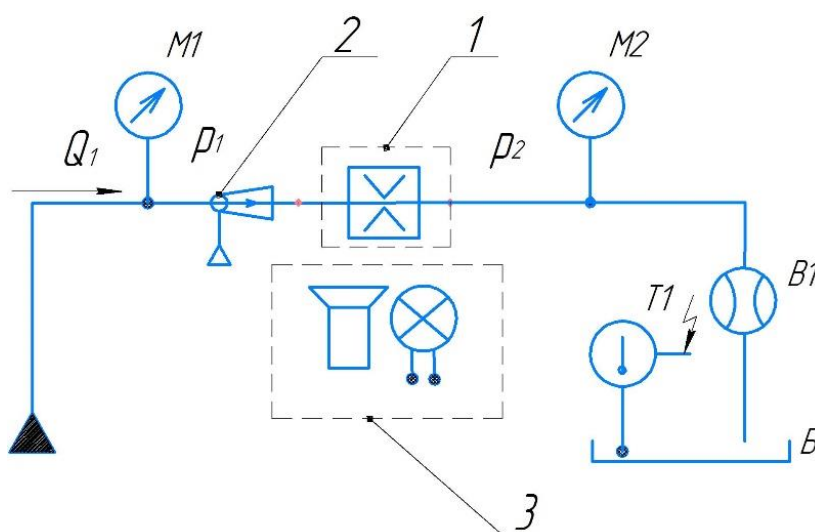


Рис. 2. Принципова гідравлічна схема випробувального стенду (1-кавітатор, 2-ежектор, 3- високошвидкісна відео камера)

Основні параметри, які контролювалися: рівень тиску на вході, перепад тиску на вході і виході зразка, витрата і температура на виході. Температура робочої рідини контролювалася в апараті за допомогою еталонної термопари. Проведено експериментальні дослідження на поворотному режимі з використанням робочої рідини типу «Н-Л». Зйомка процесів на зразку поршневого клапана проводилася камерою зі швидкістю 120 ... 1000 кадрів в секунду [6-9]. Були проведені дослідження для отримання даних, що описують особливості структури і параметрів потоку (рис.3).

244

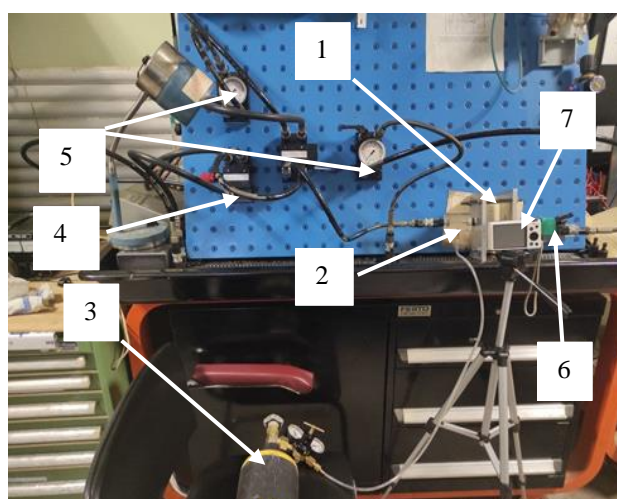


Рис. 3. Принципова гідравлічна схема випробувального стенду: 1-кавітатор, 2-ежектор, 3- система для насичення потоку рідини благородними газами, 4 - запобіжний клапан, 5 - манометри на вході і виході, 6 - датчики температури, 7- високошвидкісна камера

За результатами дослідження було отримано ряд характеристик, наведених в таблиці 1.

Табл.1 Умови при проведення експериментів

Умови проведення експерименту	Параметри	Рис.
Без насичення	$\Delta p = 5 \text{ МПа}$ , $t_m = 33^\circ\text{C}$ , $Q = 0.0000004 \text{ м}^3/\text{с}$ , $v = 100 \text{ м/с}$	Рис.4 (а)
Суміш газів Азот+Аргон	$\Delta p = 5 \text{ МПа}$ , $t_m = 33^\circ\text{C}$ , $Q = 0.0000004 \text{ м}^3/\text{с}$ , $v = 100 \text{ м/с}$	Рис.4 (б)

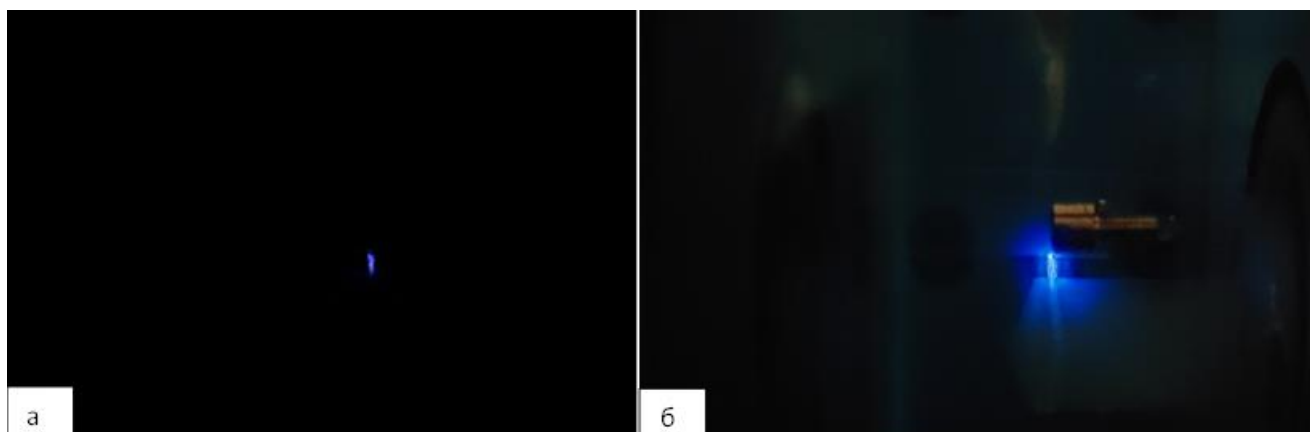


Рис.4. Випромінювання світла в кавітаційному потоці мінеральної оливи (а – без насичення, б - суміш газів Азот+Аргон)

245

Таким чином, вдалося зробити припущення, що феномен гідролюмінесценції має електричний характер. Матеріал вставки, в зоні інтенсивної кавітації, випромінює електрони, які переносяться потоком, а на вхідній кромці отворів утворюється позитивний заряд великої щільності, потенціал якого щодо землі може досягати кіловольт [7].

Питання пов'язані з описом етапів виникнення люмінесценції у потоці рідини при гідродинамічній кавітації, являється досить складними, що до останнього часу залишаються повністю не вивченими. Особливо це стосується багатокомпонентного середовища, до яких відноситься нафта та отримані з неї нафтопродукти (гідролічні рідини) [8].

За результатами опрацювання та аналізу проведених експериментальних досліджень побудована концептуальна модель етапів виникнення і розвитку процесу кавітації і супутніх цьому ефектів (рис. 5)

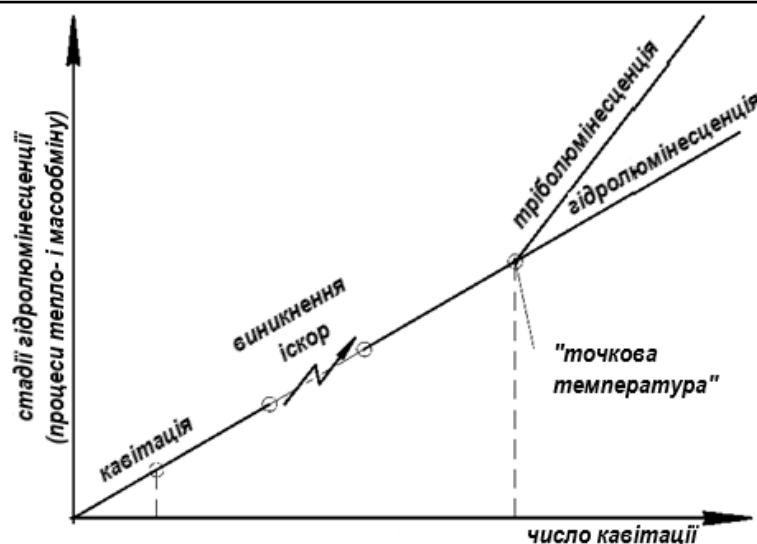


Рис. 5. Виникнення кавітації і супутні їй фізичні процеси в потоці рідини

Вивчення природи гідродинамічної люмінесценції можна порівняти з вогнем: спочатку це слабка іскра, потім мерехтливе полум'я, а потім потужне полум'я, наділене швидкістю і силою.

Проведені дослідження дозволили виявити кавітаційні зони, що виникають в кавітаторі. За допомогою швидкісної відеозйомки були виявлені області кавітації і досліджено механізм її розвитку. Крім того, отримані за рахунок візуалізації характеристики замкнутого обсягу певною мірою прояснюють існуючі уявлення про поведінку рідини в соплі.

246

#### Висновки:

1. Огляд досліджень показав, що світловипромінювання залежить від реологічних властивостей рідини. Більш інтенсивна там - де менша в'язкість. Газо-масляна суміш здійснює суттєвий вплив, спостерігалось більше випромінювання. Концентрація розчиненого благородного газу (Ar) Аргон, (N) Азот, при гідродинамічній люмінесценції значно впливає на світловипромінювання, що виникає при кавітації на кромці дроселя.

2. Експериментальні дослідження дозволили встановити, що температура робочого тіла істотно впливає на витратні характеристики дроселя. Результатом нагріву є зменшення в'язкості робочого тіла, що призводить до збільшення числа Рейнольдса і, відповідно, коефіцієнта витрати. Отримані експериментальні дані були апроксимовані на можливість використання математичної моделі гідродинамічного кавітаційного генератора і дозволили врахувати властивості робочого тіла.

3. Таким чином при гідролюмінесценції першочергово виникає збудження доданих інертних газів, які потім, в результаті ударів другого порядку Франка-Герца, передають збурення молекулам масла. Збільшується по мірі

зменшення іонізованого потенціалу (потенціалу збурення). На підставі виконаної роботи можна зробити висновок про те, що причиною виникнення гідродинамічної люмінесценції є тертя рідини об стінки каналу і світловипромінювання подвійних електричних шарів. Отже, причиною виникнення гідродинамічної люмінесценції є локальне підвищення напруженості електричного поля, що виникає при порушенні електронейтральності всередині каверни.

#### Список використаних джерел

1. Свечение жидкости в узком канале как триболоминесценция / Д.А. Бирюков и др. Оптика и спектроскопия. 2013. Т.114, № 5. С. 768-772. DOI: <http://dx.doi.org/10.7868/S0030403413050048>
2. Бирюков Д.А. Экспериментальное исследование люминесценции в жидкости: дис. ... к-та техн. наук : 01.04.14 / ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». Москва, 2014. 105 с.
3. Яхно О.М. Кавитация в переработке нефти / О.М. Яхно, А.Д. Коваль, Л.И. Пищенко, В.П. Паскалов, Н.Н. Яске. - К.: Світ, 1999. - 264 с. - Библиогр.: 90 назв. - рус.
4. Frenkel, Y. I., "Electrical phenomena connected with cavitation caused by ultrasonic oscillations in a liquid" Russ. J. Phys. Chem. 14 (1940): pp 305–308.
5. V. N. Pilgunov. D. Efremova. Light Emission and Electrical Processes in a Cavitating Mineral Oil Stream # 03, 2013. 31-62 DOI: 10.7463 / 0313.0535547.
6. Nochnichenko I.V., Luhovskyi O.F., Kostiuk D.V. (2019) Study of hydrodynamic luminescence in a cavitation liquid medium // Naukovo-tehnichniy zhurnal «Problemy tertia ta znoshuvannia» # 3(84). – S.57-62 doi:10.18372/0370-2197.3(84).13853.(Index Copernicus - ISSN: 0370-2197).
7. I. Nochnichenko, O. Luhovskyi, D. Kostiuk, O. Jakhno Research of the Influence of Hydraulic Orifice Material on the Hydrodynamic Cavitation Processes Accompanied by Luminescence, International Scientific-Technical Conference on Hydraulic and Pneumatic Drives and Control, 2020, Springer Cham, pp. 293-300.
8. Ihor V. Nochnichenko; Alexandr F. Luhovskyi; Oleg M. Jakhno; Dmytro V. Kostiuk; Paweł Komada; Ainur Kozbakova (2019) Experimental research of hydroluminescence in the cavitating flow of mineral oil, Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, Vol. 1117615 (6 November 2019); doi: 10.1117/12.2536946. PDF: 8 pages (Scopus -ISSN: 2577-5421).
9. Кривошеев В.С., Костюк Д.В., Ночніченко І.В. Інновації молоді в машинобудуванні – 2020. - №2, С. 283-286.