

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

*VII Міжнародної науково-практичної
конференції*

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**

9-13 вересня 2019 р.



ОДЕСА
2019

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська
Я.О. Масельська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

- Єгоров** – голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
Богдан Вікторович
- Бурдо** – вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
Олег Григорович
- Атаманюк** – Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
Володимир Михайлович
- Васильєв** – Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
Леонард Леонідович
- Гавва** – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Олександр Миколайович
- Гумницький** – Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
Ярослав Михайлович
- Долинський** – Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
Анатолій Андрійович
- Зав’ялов** – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Владимир Леонідович
- Сукманов** – Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
Валерій Олександрович
- Колтун** – Technident Pty. Ltd., Australia, Dr
Павло Семенович
- Корнієнко** – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
Ярослав Микитович
- Малежик** – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Іван Федорович
- Михайлов** – Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
Валерій Михайлович
- Паламарчук** – Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
Ігор Павлович
- Снежкін** – Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік НАН України
Юрій Федорович
- Сорока** – Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
Петро Гнатович
- Сухий** – ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", д.хім.н., професор
Константин Михайлович
- Тасімов** – Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
Юрій Миколайович
- Товажнянський** – Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
Леонід Леонідович
- Ткаченко** – Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор
Станіслав Йосифович
- Черевко** – Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
Олександр Іванович
- Шит** – Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с
Михайл Львович

СЕКЦІЯ 2.

**ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ
ХІМІЧНИХ І ФАРМАЦЕВТИЧНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

УДК 532.517; 532.528

ВИНИКНЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НАСОСІВ РІЗНОГО ТИПУ

Авдєєва Л.Ю. д-р техн. наук, с.н.с., Макаренко А.А. к.т.н., Жукотський Е.К.,
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

APPEARANCE OF CAVITATION EFFECTS DURING THE WORK OF DIFFERENT TYPES OF PUMPS

Avdieieva L. Yu. Dr.Tech.Sc., Senior Research Officer, Makarenko A. A. Ph. D, Zhukotskyi E. K.
Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Анотація. Насоси широко використовуються в більшості технологічних процесів хімічної і харчової промисловості, в т.ч. в апаратах для інтенсифікації процесу отримання мікро- і наноемульсій за рахунок ефектів гідродинамічної кавітації. Використання кавітаційних технологій дозволяє збільшити продуктивність технологічних процесів, забезпечити значну економію енерговитрат і високу якість обробки дисперсних систем. Від надійної роботи всього обладнання залежить ефективність проходження технологічних процесів і якість харчових продуктів. Однак, некерована кавітація може призвести до серйозних збоїв в роботі обладнання і навіть руйнування конструкції. В технологічних схемах кавітаційних апаратів використовуються насоси різних типів. Виникнення в них кавітаційних ефектів призводить до негативних наслідків в результаті яких відбувається зниження продуктивності і ККД всього пристрою і руйнування поверхонь робочих органів. Найбільшого застосування знайшли динамічні лопатеві і об'ємні (гвинтові або шестеренні) насоси. Робота лопатевих насосів оснований на загальному принципі – силовій взаємодії лопатей робочого колеса з оточуючим потоком рідини, яка постійно сполучена з вхідним і вихідним патрубками насоса. Стабільна робота відцентрового насоса забезпечується в такому режимі, коли абсолютний тиск у всіх точках його внутрішньої порожнини більше тиску насичених парів рідини, що перекачується, при даній температурі. Якщо така умова не виконується, то починається розвиток гідродинамічної кавітації і супутніх до неї ефектів, що призводить до зменшення продуктивності чи навіть припинення роботи насосу. В об'ємних шестеренних насосах робоча рідина подається з робочого об'єму переривчасто, порціями витісняється із зазначеного об'єму силовими елементами таким чином, щоб в цих гідромашинах вхід постійно і дуже герметично роз'єднаний з виходом, за допомогою міцного і герметичного контакту зубів шестерень між собою. Такий спосіб роботи загалом не передбачає умов для виникнення розривів потоку і кавітації, але при певних умовах в зазорах між зубами шестерень можуть виникнути місцеві зони зниженого тиску.

В роботі представлені результати досліджень виникнення кавітаційних ефектів в динамічному відцентровому і в об'ємному шестеренному насосах за зміною температурних і електрохімічних показників води в результаті обробки. Аналіз результатів досліджень температурних показників продемонстрували відмінності принципу дії обраних насосів за їх впливом на оброблюване середовище. В динамічному відцентровому насосі температурні показники швидко наростають, на відміну від об'ємного шестеренного, в якому за 20 хв. роботи підвищення температури практично не відбулося. В результаті активного динамічного впливу на молекулярному рівні при проходженні рідини через відцентровий насос рівень рН збільшується вже з перших секунд обробки. Значення питомої електропровідності води змінюються так само більш виражено для динамічного відцентрового насоса. Отримані результати вказують на активацію води з утворенням електронно-збуджених станів молекул. Таким чином, встановлено виникнення кавітації в динамічному відцентровому насосі при певних умовах і параметрах його роботи.

Abstract. Pumps are widely used in most technological processes of the chemical and food industry, including for the intensification of the process of obtaining micro- and nanoemulsions due to the effects of the hybrid dynamics cavitation. Applied cavitation technologies can increase the productivity of technological processes; provide significant energy savings and high-quality processing of disperse systems. The efficiency of technological processes and the quality of food products depends on the reliable operation of all equipment. However, uncontrolled cavitation can lead to serious failures in the operation of equipment and even the destruction of the structure. In technological schemes of cavitation devices, pumps of different types are used. Creation of cavitation effects in them leads to negative consequences resulting decreasing of productivity and efficiency of the entire device and the destruction of the surfaces of working bodies. The most used are dynamic centrifugal and volumetric (screw or gear) pumps. The operation of centrifugal pumps is based on the general principle - the power interaction of the impellers of the rotor with the surrounding fluid flow, which is constantly connected to the pump inlet and outlet nozzles. Stable operation of the centrifugal pump is provided in such a mode, when the absolute pressure at all points of its inner cavity is greater than the pressure of saturated vapor of the pumped liquid at a given temperature. If this condition is not met, then the development of hydrodynamic cavitation and its associated effects begins, which leads to a decrease in the productivity or even the termination of the pump operation. In volumetric gear pumps, the working fluid is provided, from the working volume intermittently, portions are displaced from the specified volume by the force elements in such a way

that in these hydromachine the input is constantly and very tightly disengaged with the output, by a strong and hermetic contact of gears teeth with each other. Such a method of work in general does not provide conditions for discontinuities in the flow and the occurrence of cavitation, but under certain conditions in the gaps between the teeth of the gears, local areas of reduced pressure may occur.

The paper presents the results of research on the appearance of cavitation effects in dynamic centrifugal and volumetric gear pumps by changing the temperature and electrochemical parameters of water as a result of processing. The analysis of the results of studies of temperature indices showed differences in the principle of the operation of selected pumps for their influence on the processed environment. In a dynamic centrifugal pump, the temperature indices rapidly increase, unlike the volume gear, in which, for 20 minutes, the temperature increase practically did not occur. As a result of the active dynamic effect at the molecular level, when the liquid passes through a centrifugal pump, the pH level increases with the first seconds of processing. The value of the electrical conductivity of the water for a dynamic centrifugal pump varies the same way. The obtained results indicate the activation of water with the formation of electron-excited states of molecules. Thus, it is established that cavitation occurs in a dynamic centrifugal pump under certain conditions and parameters of its operation.

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, кавітаційні технології, насоси, небажані кавітаційні ефекти, електрохімічні властивості

Keywords: hydrodynamic cavitation, cavitation technologies, pumps, unwanted cavitation effects, electrochemical properties.

На сьогодні накопичений значний досвід по використанню гідродинамічної кавітації для інтенсифікації процесів масообміну - перемішування, розчинення, диспергування, емульгування та ін., які відносяться до енерговитратних. Інтенсивність кавітаційного впливу залежить від властивостей середовищ і гідродинамічних умов в потоці, які розрізняються для різних типів місцевих опорів, їх конструктивних особливостей і геометричних характеристик [1, 2].

Необхідним обладнанням для роботи будь-якого гідродинамічного кавітаційного апарату є насоси. Насоси представляють собою гідравлічні машини, які призначені для переміщення рідини під напором, перетворюючи механічну енергію привідного двигуна в механічну енергію рідини, що рухається. Насоси дозволяють піднімати рідину на певну висоту, подавати її на необхідну відстань в горизонтальній площині або циркулювати в певній замкнутій системі. Насоси широко використовуються в більшості технологічних процесів хімічної і харчової промисловості, в т.ч. для інтенсифікації процесу отримання мікро- і наноемульсій за рахунок ефектів гідродинамічної кавітації. Від їх роботи залежить ефективність проходження технологічних процесів і якість харчових продуктів [3, 4].

Всі насоси за принципом дії поділяються на два основних види: динамічні та об'ємні. Динамічні насоси поділяються на лопатеві насоси, насоси тертя та насоси інерційного типу. Найбільшого поширення набули лопатеві насоси. В динамічних лопатевих насосах рідина під впливом гідродинамічних сил переміщується в камері, що постійно сполучена з вхідним і вихідним патрубками насоса [3, 4, 5].

Лопатеві насоси, у свою чергу, діляться на відцентрові й осьові, причому у відцентрових насосах рідина рухається крізь робоче колесо від його центра до периферії, а в осьових - у напрямку осі колеса. За кількістю робочих коліс такі насоси бувають одно-і багатоступінчасті. Одноступінчасті насоси (насоси з одним робочим колесом) здатні забезпечувати невеликий тиск. Якщо необхідний високий напір, то використовують багатоступінчасті агрегати з розташованими послідовно поруч робочих коліс. Виконання насоса може бути з відкритим і закритим робочим колесом. Використання насоса з відкритим робочим колесом виключає утворення застійних зон і забезпечує легку промивність, а також дає можливість перекачувати рідини з високим вмістом зважених частинок. [3, 6]

В харчовій промисловості відцентрові насоси використовуються, як правило, при виробництві мало-і середньо в'язких продуктів – молока і молочних продуктів, пива та безалкогольної продукції і т.д. Не менш часто відцентрові насоси застосовуються на лініях подачі і проштовхування рідин через теплообмінні апарати, фільтри та сепаратори, в установках для циркуляційної безрозбірної промивки і безрозбірної стерилізації (SIP) [3, 7].

В об'ємних насосах рідина переміщується за рахунок періодичної зміни об'єму робочої камери, що поперемінно сполучається з вхідним і вихідним патрубками насоса. До них відносяться поршневі, пластинчасті, мембранні, гвинтові, шестеренні, перистальтичні. Серед об'ємних насосів найбільшого застосування набули гвинтові і шестеренні [4, 8].

Шестеренні насоси - це об'ємні насоси роторного типу, робочими органами яких є дві або більше шестерні, що утворюють зчеплення. Основна група шестеренних насосів складається з двох прямозубих шестерень зовнішнього зачеплення. Застосовуються також інші конструктивні схеми, наприклад, насоси з внутрішнім зчепленням, шестеренні насоси з трьома або більше шестернями. Шестеренні насоси найчастіше використовуються в найпростіших системах з відносно низьким рівнем тиску (близько 140-180 бар або 14-18 МПа). Шестеренні насоси дуже прості за конструкцією, містять малу кількість деталей, відносно дешеві і менш чутливі до забруднень в порівнянні з іншими гідравлічними насосами [8, 9].

Завдяки простоті і технологічності конструкції, шестеренні насоси отримали широке застосування для живлення гідроприводів невеликої потужності, для подачі мастила, а також для живлення систем управління. Шестеренні насоси відрізняються компактністю, малою кількістю рухомих деталей, надійністю в роботі. Найбільшого поширення набули шестеренні насоси з конструкцією, що складається з шестерень з однаковою кількістю зубців. Робоча рідина переноситься із зони всмоктування насоса в зону нагнітання за допомогою порожнин, що утворюються при зачепленні зубців шестернею [3, 8].

Відцентрові та шестерні насоси активно використовуються в технологічних схемах кавітаційних апаратів. Вибір типу проводиться в кожному конкретному випадку з урахуванням його експлуатаційних і конструктивних якостей, а також технологічного призначення насоса [1, 2].

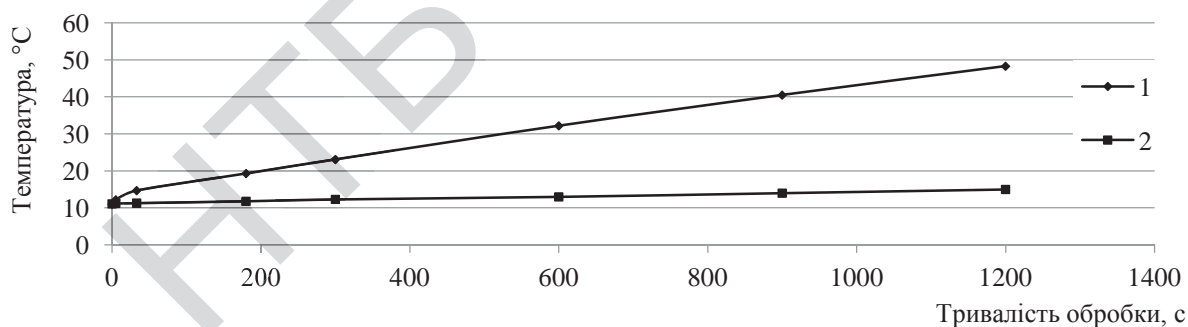
Метою роботи було дослідження виникнення кавітаційних ефектів в насосах різних типів за зміною температурних і електрохімічних показників води в результаті обробки.

Для проведення досліджень були використані гідродинамічний відцентровий і об'ємний шестеренний насоси. Робота лопатевих насосів основана на загальному принципі – силовій взаємодії лопатей робочого колеса з оточуючим потоком рідини, яка постійно сполучена з вхідним і вихідним патрубками насоса. Рідина надходить через отвір в передньому диску робочого колеса по всмоктуючому патрубку і всмоктуючому трубопроводу. Рух рідини по всмоктуючому трубопроводу відбувається внаслідок різниці тисків над вільною поверхнею рідини в приймальному басейні (атмосферний тиск) і в центральній області колеса (зона розрідження)[6]. Стабільна робота відцентрового насоса забезпечується в такому режимі, коли абсолютний тиск у всіх точках його внутрішньої порожнини більше тиску насичених парів рідини, що перекачується, при даній температурі. Якщо така умова не виконується, то починається розвиток явища кавітації, що призводить до зменшення продуктивності чи навіть припинення роботи насосу[3]. Витрати рідини в значній мірі залежать від тиску на виході з насоса, тобто - від зовнішнього навантаження. В об'ємних шестеренних насосах робоча рідина подається з робочого об'єму переривчасто, порціями витісняється із зазначеного об'єму силовими елементами таким чином, щоб в цих гідромашинах вхід постійно і дуже герметично роз'єднаний з виходом, за допомогою міцного і герметичного контакту зубів шестерень між собою[8]. Такий спосіб роботи загалом не передбачає умов для виникнення розривів потоку і кавітації, але при певних умовах роботи насосу в зазорах між зубами шестерень можуть виникнути місцеві зони зниженого тиску [10-12].

При виникненні явища кавітації в насосах відбуваються суттєві зміни їх роботи: знижується продуктивність, тиск, потужність, ККД, відбувається хімічне руйнування і кавітаційна ерозія поверхонь робочих органів, виникає шум і вібрація насоса, в результаті якої порушується герметичність з'єднань і ущільнень насоса, підвищується температура в місцях зхлопування парогазових кавітаційних бульбашок і кумулятивного впливу на поверхню металу[1-4].

В дослідженнях використовувалась свіжо відфільтрована водопровідна вода.

Дослідження зміни температурних показників при роботі насосів різних типів впродовж 20 хв. наведені на рис.1.



1 – динамічний відцентровий насос; 2 – об'ємний шестеренний насос
Рисунок 1. Залежність температури від тривалості обробки води в насосах

Аналіз одержаних результатів (рис.1) продемонстрували відмінності принципу дії обраних насосів за їх впливом на оброблюване середовище. В динамічному відцентровому насосі температурні показники швидко наростають. На відміну від об'ємного шестеренного, в якому за 20 хв. роботи підвищення температури відбувається на 4 °C або в 1,4 рази, у динамічному відцентровому відповідні показники наростають набагато швидше, в 4,4 рази. Різниця температур середовищ, оброблених в насосах різних типів становила більше 30 °C. Значне підвищення температури оброблюваного середовища у відцентровому насосі можна пояснити виникненням розрідження в центральній частині насосу що призводить до розривів суцільності рідини з утворенням парогазових кавітаційних бульбашок. В процесі роботи насосу вони разом із середовищем зносяться по каналах в зону підвищеного тиску до периферії і дифузору. При цьому утворені бульбашки зростають і зхлопуються з виділенням потужного імпульсу енергії, що і призводить до прояву різноманітних кавітаційних ефектів і багатофакторному впливу на оброблюване середовище. В результаті змінюються хімічні, фізичні і структурні властивості оброблюваних рідких дисперсних систем [1, 2, 13, 14]. В об'ємних насосах, на

відміну від відцентрових, рідина рухається циклічно, порціями. При їх роботі рідина всмоктується і заповнює порожнини між зубцями під атмосферним тиском, тому виникнення кавітаційних ефектів майже виключається [10, 11].

Розвиток кавітації у воді призводить до випромінювання значної частини енергії під впливом зхлопування кавітаційних бульбашок. В результаті відбувається розщеплення молекул води і активація води з появою вільних водневих зв'язків, зміна фізико-хімічних і електрохімічних властивостей. До показників, якими характеризуються такі зміни є водневий показник (рН), окисно-відновний потенціал (ОВП), електропровідність та ін. Водневий показник (рН) характеризує концентрацію вільних іонів водню у воді. Величина рН визначається кількісним співвідношенням у воді іонів H^+ і OH^- , що утворюються при дисоціації води. При розчиненні у воді хімічних речовин або під дією різних видів фізичних впливів співвідношення іонів може бути порушено, що приводить до зміни значень рН.

Електропровідність - фізична величина, що кількісно характеризує здатність тіла проводити електричний струм під впливом дії електричного поля. За молекулярною будовою вода теоретично відноситься до полярних діелектриків. Будучи хорошим розчинником, вода є досить хорошим провідником. Електропровідність води обумовлена вмістом в ній електролітів. В залежності від розчинених домішок її електропровідність може змінюватися на багато порядків.

Результати досліджень показників рН та питомої електропровідності води після її обробки в обраних насосах наведені на рис. 2.

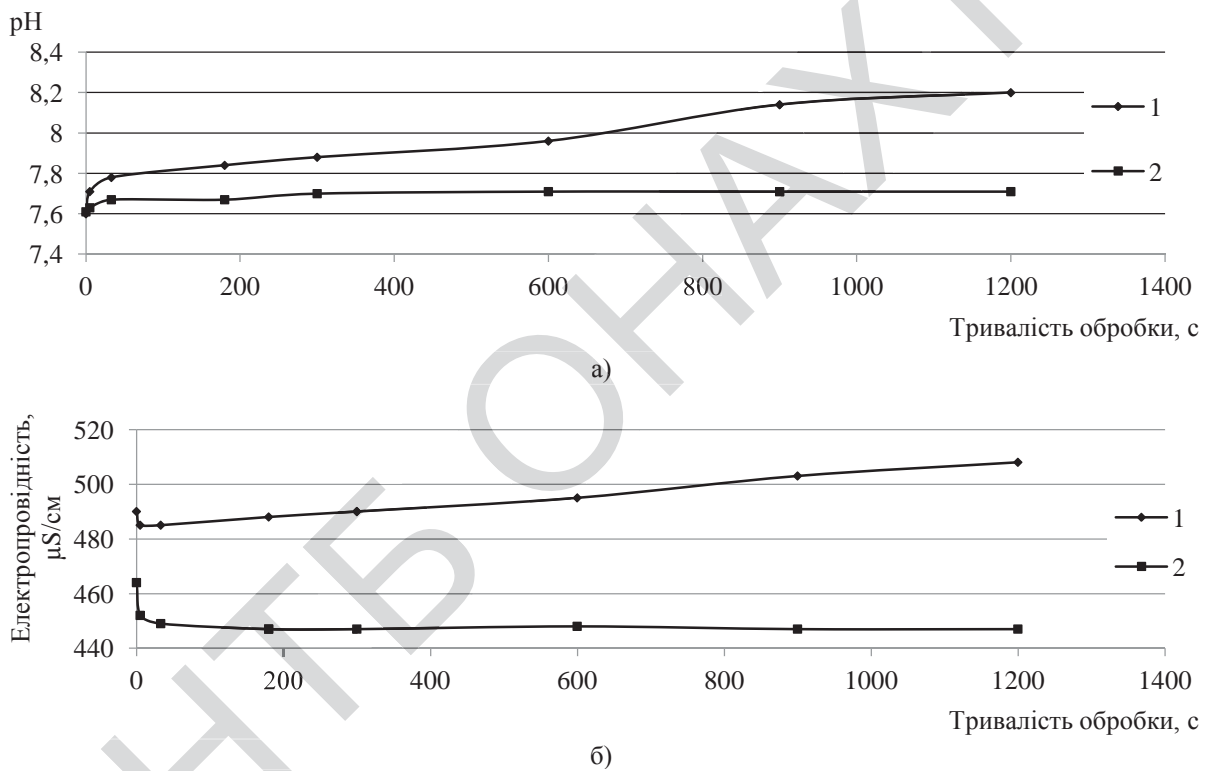
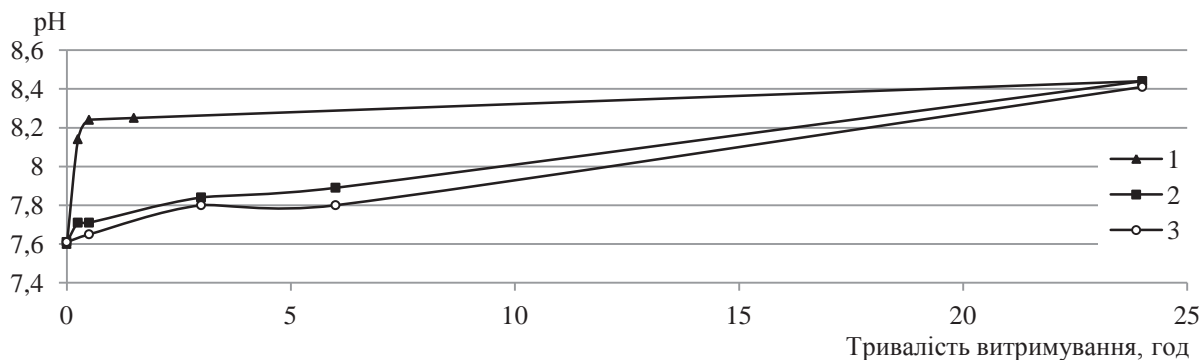


Рисунок 2. Залежність електрохімічних показників водопровідної води від тривалості обробки

На рис.2 представлені результати досліджень рН і електропровідності зразків після обробки в обраних типах насосів. Отримані нами результати досліджень підтвердили висновки про виникнення гідродинамічної кавітації в динамічному відцентровому насосі, яка змінює і електрохімічні показники оброблюваного середовища. Так, в результаті активного динамічного впливу на молекулярному рівні при проходженні рідини через відцентровий насос рівень рН (рис.2 а) змінюється вже з перших секунд обробки. Вже через 5 с значення рН досягають значень цього показника для води при циклічному прокачуванні в об'ємному шестеренному насосі впродовж 20 хв. Значення питомої електропровідності води (рис.2 б) змінюються так само більш виражено для динамічного відцентрового насосу. Отримані результати вказують на активацію води з утворенням електронно-збуджених станів молекул.

Дослідження зміни рН дослідних зразків водопровідної води після обробки в насосах різних типів при подальшій витримці впродовж 24 годин показані на рис. 3.



1 – динамічний відцентровий насос; 2 – об'ємний шестеренний насос, 3- контроль
Рисунок 3. Залежність зміни рН водопровідної води від тривалості відстоювання без обробки та після 15 хв. обробки в насосах

Аналіз одержаних результатів (рис. 3) показав, що рівень рН продовжує поступово незначно підвищуватися як у дослідних, так і у контрольному зразках води. Використання об'ємного шестеренного насоса практично не призводить до зміни рівня рН, порівняно до контролю. Активізація води в результаті обробки у відцентрового насоса зберігається ще впродовж доби, але поступово знижується і після 18-20 годин витримки наближається до відповідних значень контрольного зразка необробленої водопровідної води.

Проведені дослідження показали наявність гідродинамічної кавітації при роботі динамічного відцентрового насоса. Для виключення некерованої кавітації і попередження збоїв в роботі обладнання, особливо в технологічних схемах кавітаційних технологій, бажано використовувати насоси що не піддаються впливу кавітації, наприклад об'ємні. При їх роботі рідина всмоктується і заповнює порожнини між зубцями під атмосферним тиском, тому виникнення кавітаційних ефектів майже виключається. В разі необхідності за експлуатаційними або технічними характеристиками використання динамічних насосів, потрібним є використання обладнання з поліпшеною якістю матеріалів та застосуванням захисних покриттів деталей, найбільш схильних до дії кавітації і стирання або конструкції з антикавітаційними властивостями.

Висновки

Насоси різних типів широко використовуються в технологічних схемах кавітаційних апаратів різного призначення. При цьому є велика ймовірність виникнення негативних кавітаційних ефектів в насосах через зниження продуктивності і ККД всього пристрою, а також руйнування поверхонь робочих органів. Встановлено виникнення кавітації в динамічному відцентровому насосі. На прикладі досліджень температурних показників, а також величини рН і електропровідності показано зміну фізичних і хімічних властивостей середовища викликаних пульсаціями і спаданням кавітаційних бульбашок при роботі цього насоса.

Література.

1. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов Вестник ТГТУ, 2008. Т.14, № 4. С. 861 – 869с.
2. Braeutigam P., Franke M., Zhi-Lin Wu, Ondruschka B. Role of Different Parameters in the Optimization of Hydrodynamic Cavitation. Chem. Eng. Technol. 2010,33. No. 6 P. 932–940.
3. Остриков А. Н., Красовицкий Ю. В., Шевцов А. А. и др. Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] : учеб. для вузов: в 2 кн. под ред. А.Н. Острикова. СПб.: ГИОРД, 2006. Кн. 1. 632 с.
4. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1986. 320 с.
5. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. Л.: Машиностроение, 1988. 256 с.
6. Федорець В.О., Педченко М.Н., Струтинський В.Б. та ін. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика: Підручник. За ред. В. О. Федорця. К:Вища школа, 1995. 463 с.
7. Логинов А. В., Слюсарев М. И., Смирных А. А. Насосы и насосные установки пищевых предприятий [Текст]: учебное пособие. Воронеж. гос. технол. акад., Воронеж, 2001. 220 с
8. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: Підручник. Київ: Фірма «Інкос», Центр навчальної літератури, 2006. 616с.
9. Чумаков Г.А., Луняка К.В., Кривенко С.В. Курс лекцій з дисципліни “Гідравліка і гідро-, пневмопривод”: Навчальний посібник Херсон, видавн. ХНТУ, 2009. 121 с.
10. Яхно О. М., Костюк Д.В., Стричек Я., Антоняк П. Влияние кавитации на величину пульсації подачі шестеренного насоса. Вісник НТУУ «КПІ», Серія Машинобудування №64. 2012. С 132-135.

11. Мирошніченко С.Т., Коваль В.А., Епифанов С.А. Оценка кавитационного процесса в насосном оборудовании методом виброакустической диагностики Вісник НТУУ «КПІ», Серія Машинобудування №59. 2010. С 173-175.
12. Patrick Braeutigam, Zhi-Lin Wu, Annegret Stark, Bernd Ondruschka Roles of Pumps and Bypass in Chemistry Induced by Hydrodynamic Cavitation. Chem. Eng. Technol. 2010, Vol. 33, №2 P. 341-346.
13. Lesya Yu. Avdieieva, Eduard K. Zhukotskyi, Andrii A. Makarenko The Effects of hydrodynamic cavitation for the change of water temperature indicators. XVII International scientific conference "Improvement of processes and equipment in food and chemical industries" Abstracts. Ukraine, Odessa, September 3-8th, 2018. P 12.
14. Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А. Вплив ефектів гідродинамічної кавітації на електрохімічні властивості води. Наукові праці – Одеса, Одеська національна академії харчових технологій: 2017. Том 81, Вип. 1. С. 105-110.

References.

1. Promtov M.A. (2008) Perspektivy primeneniya kavitatsionnykh tekhnologiy dlya intensivatsii khimiko-tekhnologicheskikh protsessov. Vestnik THTU. 14(4) 861-869.
2. Braeutigam P., Franke M., Zhi-Lin Wu, Ondruschka B. (2010) Role of Different Parameters in the Optimization of Hydrodynamic Cavitation. Chem. Eng. Technol., 33(6), 932-940
3. Ostrikov A. N., Krasovitskiy Ju. V., Shevtsov A. A. i dr. (2006) Protsessy i apparaty pischevykh proiz-vodstv. SPb.: GIORD, 1, 632.
4. Karelin V.Ya., Minaev A.V. (1986) Nasosy i nasosnyie stantsii: Ucheb. dlya vuzov. M.: Stroyizdat., 320.
5. Lyamaev B.F. (1988) Gidrostruynnye nasosy i ustanovki. L.: Mashinostroenie, 256.
6. Fedorets' V.O., Pedchenko M.N., Strutinskij V.B. ta in. (1995) Gidroprivodi ta gidropnevmoavtomatika: pidruchnik. K: Vischa shkola, 463.
7. Loginov A. V., Slyusarev M. I., Smirnyih A. A. (2001) Nasosy i nasosnyie ustanovki pischevykh predpriyatiy [Tekst]: Uchebnoe posobie. Voronezh. gos. tehnol. akad., Voronezh. 220
8. Kulinchenko V. R. Gidravlika, gidravlichni mashini i gidroprivid: Pidruchnik. (2006) Kiiv: «Inkos», Tsentr navchal'noi literaturi, 616.
9. Chumakov G.A., Lunjaka K.V., Krivenko S.V. (2009) Kurs lektsiy z distsiplini "Gidravlika i gidro-, pnevmoprivod": Navchal'nij posibnik Herson, HNTU, 121.
10. Jahno O. M., Kostjuk D.V., Strichek Ja., Antonjak P. (2012) Vlijanie kavitatsii na velichinu pul'satsiy podachi shesterennogo nasosa. Visnik NTUU «KPI», Serija Mashinobuduvannja, 64, 132-135.
11. Miroshnichenko S.T., Koval' V.A., Epifanov S.A. (2010) Otsenka kavitatsionnogo protsessa v nasosnom oborudovanii metodom vibroakusticheskoy diagnostiki. Visnik NTUU «KPI», Serija Mashinobuduvannja, 59, 173-175.
12. Patrick Braeutigam, Zhi-Lin Wu, Annegret Stark, Bernd Ondruschka (2010) Roles of Pumps and Bypass in Chemistry Induced by Hydrodynamic Cavitation. Chem. Eng. Technol., 33(2), 341-346.
13. Lesya Yu. Avdeeva, Eduard K. Zhukotskyi, Andrii A. Makarenko (2018) The Effects of hydrodynamic cavitation for the change of water temperature indicators. XVII International scientific conference "Improvement of processes and equipment in food and chemical industries" Abstracts. Ukraine, Odessa, September 3-8th., P 12.
14. Avdeeva L.Ju., Makarenko A.A. (2017) Vpliv effektiv gidrodinamichnoi kavitatsii na elektrohimični vlastivosti vodi. Naukovi pratsi Odesa, 81(1), 105-110.

УДК 536.423.1

ГІДРОДИНАМІКА ГАЗОРІДИННИХ ПОТОКІВ НА КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ СТРУКТУРАХ

д.т.н. Туз¹ В.О., к.т.н. Лебедь¹ Н.Л., Трокоз¹ Я.С.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Україна, Київ

HYDRODYNAMICS OF GAS-LIQUID FLOWS AT THE CAPILLARY-POROUS STRUCTURES

doctor of science V.O.Tuz¹, candidate of technical sciences N.L.Lebed¹, Ya.E.Trokoz

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute" Ukraine, Kyiv

Анотація. Перспективним напрямком підвищення енергоефективності і зменшення малогабаритних характеристик тепломасообмінного обладнання, яке використовується в хімічній, харчовій та ін. галузях є застосування методів, які забезпечують оптимізацію параметрів процесів в обладнанні.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ВИРІШЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ КРУП'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА	
Хоренжий Н.В., Лапінська А.П.	5
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОСТИ В КАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЯХ. ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Иваницкий Г.К., Целень Б.Я., Недбайло А.Е., Коник А.В.	11
ІННОВАЦІЙНІ СПОСОБИ ЕНЕРГОПІДВОДУ У ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНОЇ СИРОВИНИ	
Яровий І.І., Кашкано М.А., Маренченко О. І., Пилипенко Є.О.	17
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ТЕПЛОНОСІВ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ КОНТАКТНОГО АПАРАТУ	
Кузьменко І.М.	24
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ ПРИ КОНВЕКТИВНОМУ СУШІННІ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ	
Ощипок І. М.	29
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАЦІЇ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВИДКІСНОГО ТРАМВАЮ М. КРИВИЙ РІГ	
Кухта О.О.	33
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ПРОЦЕСІ ЖАРІННЯ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ	
Сорокова Н.М., Дідур В.В.	37
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМЕННЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД	
Холявченко Л.Т., Опарин С.А., Давыдов С.Л.	42
ПРОБЛЕМИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ	
Бундюк А.М., Подпалова Ю.В., Коваленко А.К.	46
ENERGY POLICY OPPORTUNITIES. HOW TO FACE CHALLENGES	
Bezhan V., Zhytarenko V., Ostapenko O., Yakovleva O.	48

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНИХ І
ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУППОЗИТОРИЕВ	
Шмагток А.И., Степанова О.Е., Сильнягина Н.Б.	54
ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ГРАНУЛЬОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ ЗМІННОЇ ГАЗОВОЇ АТМОСФЕРИ	
Корінчевська Т.В., Михайлик В.А., Корінчук Д.М.	59
АКТИВАТОРИ ПРОЦЕСУ ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ	
Дячок В.В., Мандрик С.Т., Гуглич С.І.	64
РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОГО ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
Грабова Т. Л., Шмагток О.І., Сильнягина Н.Б.	70
ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В НАСОСАХ РІЗНИХ ТИПІВ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	77
ВИНИКНЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НАСОСІВ РІЗНОГО ТИПУ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	80
ГІДРОДИНАМІКА ГАЗОРІДНИХ ПОТОКІВ НА КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ СТРУКТУРАХ	
Туз В.О., Лебедь Н.Л., Трокоз Я.Є.	85
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРАКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРОДУКТОВ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА	
Челтонов М.М., Опарин С.А., Матросов А.С., Кириченко А.Л.	91
МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	
Бунецкий В.А., Бурдо О.Г., Зыков А.В., Войтенко А.К., Безбах И.В., Кашкарев А.А.	94
ARTIFICIAL MICRO RNA (AMIRNA): A POTENT TOOL FOR GENE SILENCING IN PLANT	