

УДК 536.423+532.528

## ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ АПАРАТІВ, ПРИНЦИП РОБОТИ ЯКИХ ҐРУНТУЄТЬСЯ НА МЕХАНІЗМАХ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Долінський А.А., академік НАН України, Коник А.В., канд. техн. наук, Радченко Н.Л., канд. техн. наук, Целень Б.Я., канд. техн. наук, Гоженко Л.П., канд. техн. наук

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна*

В статті представлено останні розробки апаратів ДІВЕ, зокрема, установка для безреагентної нейтралізації кислих конденсатів продуктів згоряння газу в опалювальних і промислових котельнях та екстрактор кавітаційного типу. Наведено особливості та принцип їх роботи, а результатами експериментальних досліджень підтверджено ефективність їх застосування в різних галузях промисловості.

В статье представлены последние разработки, в частности, установка для безреагентной нейтрализации кислых конденсатов продуктов сгорания газа в отопительных и промышленных котельных, а также новый экстрактор кавитационного типа. Представлены особенности и принцип работы, а результатами экспериментальных исследований подтверждена эффективность применения оборудования в различных отраслях промышленности.

The article presents new developments, in particular, is equipment for neutralization of acid condensates of gas combustion products in heating and industrial boiler houses and a new cavitation type extractor. The article described principle of work and the results of experimental studies are presented which confirm the effectiveness to application of equipment in various industries.

Бібл. 6, рис. 7.

**Ключові слова:** дискретно-імпульсне введення енергії, водні системи, установка нейтралізації конденсату, нейтралізатор безреагентний, кавітаційний екстрактор.

ДІВЕ – дискретно-імпульсне введення енергії;  
УНК – установка нейтралізації конденсату;  
НБ – нейтралізатор безреагентний;

РПА – роторно-пульсаційний апарат;  
ВВН – вакуумний насос.

Розробка енергоефективних технологій базується на підвищенні техніко-економічних показників виробництва при обробці водних систем та переробці сировини. Створення та впровадження ефективних апаратів з малою питомою енергоємністю і матеріалоємністю, високим ступенем впливу на оброблювані речовини є одними з головних умов підвищення продуктивності обладнання і зниження енерговитрат на проведення технологічних операцій. Аналіз зарубіжної літератури та патентний пошук показали, що переважна більшість наукових робіт спрямована на пошук нових методів впливу на середовище при обробці водних систем, в процесах диспергування, гомогенізації, екстракції тощо. В більшості робіт основна увага акцентована на інтенсифікації процесів тепломасообміну і гідродинаміки із застосуванням апаратів, в яких реалізується механізм знакоперемінного тиску [1, 2].

В межах наукового напрямку дискретно-імпульсного введення енергії в Інституті технічної теплофізики НАН України проводяться експериментальні та теоретичні дослідження впливу ефектів, що виникають при обробці водних систем. На підґрунті проведених експериментальних досліджень і отриманих результатів проводиться модернізація діючого обладнання, а також розробляються принципово нові апарати. Суть методу ДІВЕ полягає у створенні умов, що забезпечують

при локальному введенні енергії в технологічну систему, її дискретний розподіл у просторі й імпульсну дію в часі. Енергія, що вводиться в систему може бути в різноманітних формах, зокрема, тепловою, механічною, електричною, електромагнітною та ін. Поняття дискретності полягає у розподілі стисливої фази за розрахунковим числом точок технологічного об'єму, а імпульсність – у реалізації умов, при яких навколо вказаних точок виникають градієнти або розриви значень технологічних параметрів (тиску, швидкості, температури, концентрації і т.п.) [3]. Основні механізми, що використовуються: ефекти пов'язані з прискоренням руху неперервної фази, дія напружень зсуву, кавітаційні механізми, механізм вибухового закипання, комплексні ефекти в ансамблі бульбашок, збурювання міжфазної поверхні в газорідних бульбашкових середовищах.

Проведено комплекс досліджень впливу миттєвого скидання тиску, високочастотних гідродинамічних коливань та адіабатичного закипання на властивості води і водних систем, зокрема, на її фізико-хімічні і органолептичні властивості, дисперсність і мікроструктуру сухого залишку та ін. [4, 5]. На основі одержаних результатів [6] виготовлено нове обладнання – установка нейтралізації рис. 1 та нейтралізатор безреагентний рис. 2, які дозволяють підвищувати водневий показник водних систем, зокрема, кислого конденсату.



Рис. 1. Установка нейтрализации конденсата.



Рис. 2. Нейтрализатор безреагентный.

Однією з нових розробок Інституту є установка нейтралізатора безреагентного продуктивністю до 400 л/год, орієнтована на міські котельні потужністю до 10 МВт. Принцип роботи полягає в тому, що кислий конденсат після економайзера системи глибокої утилізації теплоти димових газів надходить на обробку, де піддається інтенсивному гідродинамічному впливу, що призводить до розпаду вугільної кислоти і вилучення розчиненого діоксиду вуглецю в конденсаті. Перевага даного способу обробки полягає в тому, що швидкість вилучення діоксиду вуглецю значно вища ніж при класичній деаерації, оскільки, має місце інверсія фаз. На виготовленому нейтралізаторі безреагентному проведено комплекс експериментальних досліджень рис. 3...6 з метою підтвердження ефективності його

роботи. Встановлено залежність зміни водневого показника конденсату від тривалості його обробки рис. 3. Отримані результати показують, що основна зміна рН відбувається протягом перших двох хвилин обробки, а подальше підвищення не суттєве. Слід зауважити, що оброблена рідина перебуває у нестабільному стані (продовжується перебіг процесів десорбції діоксиду вуглецю в навколишнє середовище) протягом кількох годин (не більше доби). За цей час рН зростає вище 6,0. Згідно теоретичних даних залежності рН від вмісту вуглекислоти у воді при рН рівному 6,5 вміст вуглекислоти практично відсутній (0,03 мг/л). Тому можна стверджувати, що під час обробки відбувається практично повне вилучення вугільної кислоти.

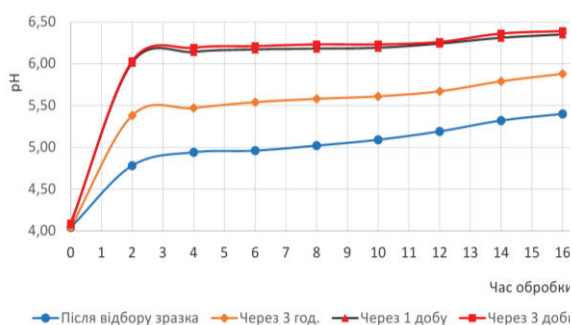


Рис. 3. Зміна водневого показника рН конденсату в залежності від часу обробки.

Показники, що створюють шкідливий вплив на якість води в процесі водопідготовки для промислових потреб: надлишок заліза, наявність солей жорсткості (солі кальцію і магнію), лужність, загальна мінералізація, сульфати, нітрати, солі амонію з'єднання бору, фтору, кремнію, природні органічні з'єднання, бактеріологічне забруднення, органолептика (колір, смак, запах, мутність, прозорість, піноутворення). Ви-

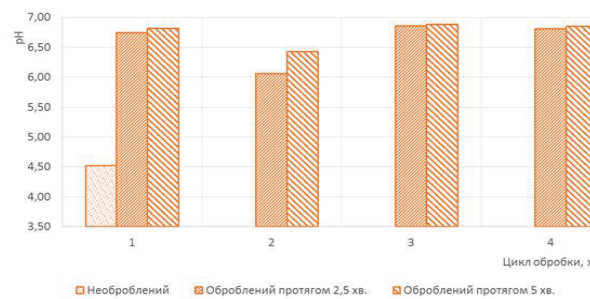


Рис. 4. Зміна водневого показника рН конденсату в часі.

користання в технологічних лініях водопідготовки створеного в нашому Інституті обладнання дозволяє досягти поліпшення ряду показників якості обробки, зокрема, зниження вмісту заліза, корегування водневого показника (рН) до заданого значення, знезараження та пом'якшення, дегазації, а також покращення органолептичних показників. Перелічені можливості апарата дозволяють розширити сферу його застосування, зокре-

ма, використання на етапах корегування рН, видалення заліза та дезодорації в лініях виробництва пива, безалкогольних напоїв та соків у спиртовій і лікєро-горілчаній

промисловості, молочній, плодоовочевій, цукровій і консервній, а також при очистці води у басейнах та промислових стічних вод.

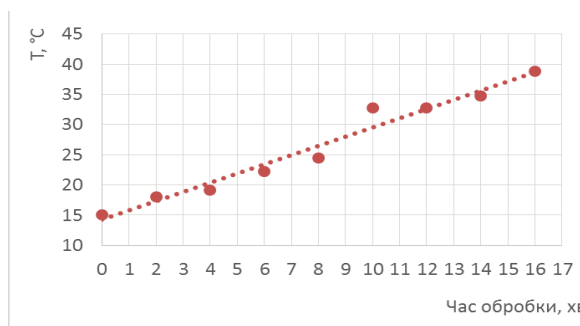


Рис. 5. Зміна температури конденсату в залежності від часу обробки.

Другий напрямок, за яким проводяться роботи, – це процес екстрагування з рослинної сировини при якому ініціюються аналогічні ефекти ДІВЕ. В Інституті розроблено нове обладнання – кавітаційний екстрактор рис. 7.

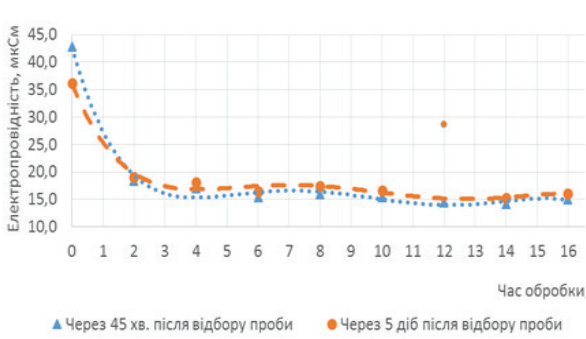
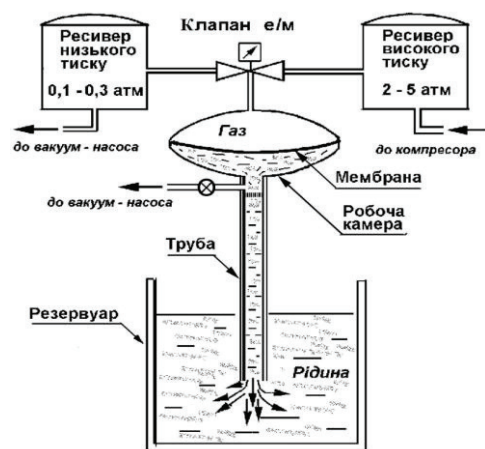


Рис. 6. Зміна електропровідності конденсату.

Апарат рис. 7,а складається із завантажувальної ємності, робочої камери пульсатора, розділеної двома гнучкими мембранами на три змінні об'єми, з яких два зовнішні відносяться до газового тракту апарата, а середній, тобто внутрішній – до рідинного тракту.



а)

б)

Рис. 7. Екстрактор кавітаційного типу: схема (а) та фото дослідно-лабораторного стенда (б).

Проведено комплексне дослідження процесу екстракції на модельних об'єктах рослинної сировини, зокрема, дослідження частинок сферичної форми на прикладі калини, шипшини та насіння льону, циліндричної форми – звіробію, кореневище валеріани, а також проведено дослідження сировини з абразивними властивостями – торф фрезерний. В результаті досліджень встановлено інтенсифікуючий вплив кавітаційного механізму при обробці дисперсних систем [6].

На основі отриманих результатів проводиться розробка нового екстрактора кавітаційного типу прин-

ципово нової конструкції. Що передбачає збільшення продуктивності обладнання, а також підвищення ефективності роботи за рахунок скорочення тривалості обробки сировини внаслідок ініціювання кавітаційних ефектів, зумовлених конструктивними особливостями і режимними параметрами роботи апарата.

Широкий діапазон сировини, що використовується для проведення досліджень розкриває широкі перспективи по впровадженню обладнання у різні галузі промисловості. Так, наприклад, у фармацевтичній промисловості при виготовленні настоек лікарських трав валеріани, чистотілу, глоду, та ін. використовують-

ся методи мацерації та перколяції. Ці методи є довготривалими і економічно недоцільними на сьогоднішній день.

В харчовій промисловості широко використовується екстракція при виготовленні біологічно активних добавок і концентратів різного призначення. Наприклад, при виготовленні хлібо-булочних виробів використовуються екстракти, що покращують органолептичні властивості, при виготовленні кисломолочної продукції, такої, як кефіри та йогурти застосовуються фруктові-ягідні наповнювачі та ін. Для покращення смакових характеристик, а саме при обробці винограду використовується екстракція у лікєро-горіччаній промисловості при виготовленні вин, лікерів, настоек та коньяків. Окремо необхідно відзначити використання процесу екстракції при приготуванні плодово-ягідних напоїв, зокрема, концентратів, слабоалкогольних напоїв та ін. У агропромисловому комплексі екстраговані концентрати використовують як добавки в мінеральні добрива та добавки для тваринництва. Зокрема, гумінова складова використовується для збагачення органомінераловмісних добрив. Проте найбільш розповсюджене використання екстракційних концентратів у косметичній промисловості. Так, у категорії «засоби гігієни» це продукція: миючі засоби, гелі для душу, шампуні, антипреспіранти та багато іншого, які містять екстракти лікарських трав, ягід, плодів для покращення очищувального та збагачувального ефекту. У косметичних засобах: кремах, лосьйонах, масках – їх використовують для пом'якшення, збагачення цінними компонентами та досягнення інших косметичних ефектів.

### Висновки

В результаті проведеного комплексу досліджень розроблено та виготовлено нейтралізатор для безреагентної нейтралізації кислих конденсатів продуктів згоряння газу в опалювальних і промислових котельнях та

продовжується розробка нової конструкції екстрактора кавітаційного типу. Експериментально підтверджено ефективність роботи нового обладнання та встановлено найбільш перспективні сфери застосування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. P.R. Gogate, S. Mededovic-Thagard, D. McGuire, G. Chapas, J. Blackmon, R. Cathey, Hybrid reactor based on combined cavitation and ozonation: from concept to practical reality, *Ultrason. Sonochem.* 21 (2014) 590–598.
2. Shahin Roohinejad, Mohamed Koubaa, Francisco J. Barba, Ralf Greiner, Vibeke Orlien, Nikolai I. Lebovka, Negative pressure cavitation extraction: A novel method for extraction of food bioactive compounds from plant materials *Review Article Trends in Food Science & Technology* Volume 52, June 2016, Pages 98-108.
3. Долинский А.А. Иваницкий Г.К. Тепло массообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии. – Киев: Наукова думка, 2008. – 381 с.
4. Використання механізмів дискретно-імпульсного введення енергії для обробки води: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Сланік Аліна Василівна; НАН України, Ін-т техн. теплофізики. – К., 2010. – 203 арк.
5. Вплив миттєвого зниження тиску на властивості води високочастотні гідродинамічні коливання / Долинский А.А., Коник А.В., Радченко Н.Л. – Наукові праці Національного університету харчових технологій том 22 №3, 2016 С.157-165.
6. Інтенсифікація тепломасообмінних та гідродинамічних процесів при екстрагуванні рослинної сировини із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії: дис. канд. техн. наук: 05.14.06 / Гоженко Любов Петрівна; НАН України, Ін-т техн. теплофізики. – К., 2016. – 158 арк.

**PERSPECTIVENESS AND DEVELOPMENT OF APPARATUS THE PRINCIPLE OF WORK IS BASED ON THE MECHANISMS OF DISCRETE-PULSE ENERGY INPUT**

**Dolinskiy A.A., Konyk A.V., Radchenko N.L., Tselen B.Ya., Gozhenko L.P.**

Institute of Engineering Thermophysics of the Nation of Academy of Sciences of Ukraine,  
vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

The article discusses new developments of the Institute in which the DPEI method for the processing of water systems is implemented. The installation, which allows to raise the hydrogen index of water systems, is presented. The principle of operation of the installation of a neutralizer with a productivity up to 400 l/h is described, which is oriented on a city boiler house with the capacity of up to 10 MW. A significant advantage of the processing method in the present installation is that the rate of carbon dioxide extraction is much higher than that of classical deaeration. The results of a complex of experimental researches on the produced non-reagent neutralizer are shown and substantiated, which allows to predict the process of processing of water systems. It has been verified and found that the use of water treatment processes in our equipment institute allows us to achieve improvements in a number of quality indicators of processing: reducing iron content, adjusting the hydrogen index (pH) to a given value, disinfecting and mitigating, degassing, and improving organoleptic parameters. Areas of application of the reagent neutralizer installation are: use at the stages of pH adjustment, removal of iron and deodorization in beer, soft drinks and juices in the alcohol and alcoholic beverage industry, dairy, fruit and vegetable, sugar and cannery, as well as in the purification of water in swimming pools and industrial waste water. Also, the cavitation extractor for the extraction of plant material is described in the article. It is substantiated with the help of

the obtained results of experimental research in the field of application of equipment and products from plant raw materials.

References 6, figures 7.

**Key words:** discrete-pulse energy input, water systems, installation of condensate neutralization, neutralizer is not reagent, cavitation extractor.

1. P.R. Gogate, S. Mededovic-Thagard, D. McGuire, G. Chapas, J. Blackmon, R. Cathey, Hybrid reactor based on combined cavitation and ozonation: from concept to practical reality, *Ultrason. Sonochem.* 21 (2014) 590–598.

2. Shahin Roohinejad, Mohamed Koubaa, Francisco J. Barba, Ralf Greiner, Vibeke Orlien, Nikolai I. Lebovka, Negative pressure cavitation extraction: A novel method for extraction of food bioactive compounds from plant materials *Review Article Trends in Food Science & Technology.* Volume 52, June 2016, Pages 98-108.

3. Dolinskiy A. A., Ivanytskiy G. K. [Heat and mass transfer and hydrodynamics in steam-liquid disperse systems. Physical foundations of the discrete and pulse input principle]. – Kiev: Naukova dumka, 2008. – 381 p. (Rus.)

4. [The using the mechanisms of discrete-pulse input of energy for water treatment]: dis. of PhD: 05.14.06 / Slanik Alina Vasylyivna, NAN of Ukraine, Institute of Engineering Thermophysics. – K., 2010. – 203 p. (Ukr.)

5. [The impact of instant pressure reduction on water properties. high-frequency hydrodynamic oscillations] / Dolinskiy A. A., Konyk A. V., Radchenko N. L. – *Naukovi pratsi NUFT* t. 22, № 3, 2016, pp. 157 – 165. (Ukr.)

6. [The intensification of heat and mass transfer and hydrodynamic processes at the extraction of plant raw material using the method of discrete input pulse energy]: – dis. of PhD: 05.14.06 /Gozhenko Liubov Petrivna, NAN of Ukraine, Institute of Engineering Thermophysics. – K., 2017. – 158 p. (Ukr.)

Получено 17.10.2017

Received 17.10.2017