

2. Stecenko O. V. Vynogradova R. P. (1992). Bioorganichna ximiya. K.: Vyshcha shkola, 278.
3. Gubs'kyj Yu. I. Biologichna ximiya. (2007). K.: Nova Knyga. 137.
4. Zolotar'ova O. K., Shnyukova Ye. I., Syvash O. O., Myxajlenko N. F. (2008). Perspektyvy vykorystannya mikrovodorostej u biotexnologiyi. K.: Al'terpres. 234.
5. Ky'sly'chenko, V. S. Zhuravel I. O., Buxarina O. V. ta in. (2009) Syrovynni dzherela produktiv biotexnologiyi ta yix analiz : navch. posib. dlya stud. vyshh. navch. zakl. X. : NFaU : Zoloti storinky, 304.
6. Dyachok, V., Ilkiv I. (2013) The mechanism of extraction from solid bodies cellular structure, 7,1, 23-27.
7. Dyachok V., Huhlych S., Yatchyshyn Y., Zaporochets Y., Katysheva V. (2017) About the problem of biological processes complicated by mass transfer. 11,1, 111-116.
8. Yang, Y., Gao K. (2003) Effects of CO<sub>2</sub> concentrations on fresh water microalgae Chlamydomonas reinhardtii, Chlorella pyrenoidosa and Scenedesmus obliquus (chlorophyta), 00, 1-11.
9. Stepan, D. J. Shockey R. E., Moe T. A., Dorn R. I. (2002) 2.3 carbon dioxide sequestration using microalgae systems, 1, 1-27.
10. Miyachi S., Iwasaki I., Shiraiwa Y. (2003) Historical perspective on microalgal and cyanobacterial acclimation to low- and extremely high-CO<sub>2</sub> conditions, 77, 139-153.

УДК 532.528:66.061

## ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЕКСТРАКТУ ЧИСТОТІЛУ

Гоженко Л. П., к. т. н., Коник А. В. к. т. н., Радченко Н. Л. к. т. н., Целень Б. Я., к. т. н.,  
Недбайло А. Є. к. т. н.

Інститут технічної теплофізики НАН України

## APPLICATION ENERGY-EFFICIENT EQUIPMENT FOR OBTAINING CELANDINE EXTRACT

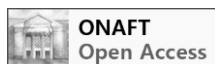
Hozhenko L. Ph.D., Konyk A. Ph.D., senior researcher, Radchenko N. Ph.D., senior researcher,  
Tselen B. Ph.D., senior researcher, Nedbailo A. Ph.D.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Анотація.** Статтю присвячено застосуванню потужних кавітаційних механізмів, які на сьогодні є одним з найбільш діючих способів досягнення високих енергетичних показників у технологіях обробки рідинних дисперсних середовищ. На базі літературного огляду встановлено, що застосування кавітаційних пристроїв дозволяє радикально впливати на характер протікання тепломасообмінних, гідродинамічних, хімічних та біофізичних процесів на мікро- та нанорівнях. Описано принцип роботи розробленого в Інституті технічної теплофізики НАН України кавітаційного реактора пульсаційного типу для екстракції рослинної сировини. Проаналізовано основні динамічні ефекти, які інтенсифікують процеси гідродинаміки і тепломасообміну в пульсаційному апараті. Представлено результати експериментальних досліджень водної екстракції чистотілу при застосуванні кавітаційного механізму. Обґрунтовано та встановлено раціональний ступінь подрібнення трави чистотілу для подальшої обробки в апараті пульсаційного типу. Наведено фізико-хімічні параметри водного екстракту чистотілу залежно від температурних режимів обробки. Визначено залежності солемісту, електропровідності, окисно-відновного потенціалу, водневого показника водної системи (pH), кількості сухих речовин в отриманому екстракті від тривалості кавітаційної обробки. Встановлено, що кавітаційний вплив на середовище приводить до зниження окисно-відновного потенціалу водної системи пропорційно зниженню імпульсів тиску. На основі отриманих результатів досліджень процесу кавітаційної екстракції чистотілу показано, що застосування кавітаційного реактора пульсаційного типу забезпечує максимальний вихід цільових компонентів за короткий час при порівняно низьких температурах. Надано рекомендації щодо температурних режимів процесу екстракції трави чистотілу за умови ініціювання кавітаційних механізмів при оптимальних технологічних параметрах процесу і режимах роботи пульсаційного апарата. Проведено оцінювання ефективності процесу екстракції в кавітаційному реакторі пульсаційного типу та доведено його енергоефективне застосування в різних галузях промисловості. Встановлено, що найбільш економичною сферою застосування дослідженого екстракту чистотілу, отриманого в кавітаційному реакторі пульсаційного типу, є косметична промисловість.

**Abstract.** The article is devoted to the use of powerful cavitations mechanisms which today is one of the most effective ways to achieve high energy performance processing technologies in liquid dispersion media. Based on the literature review it is found that the application of cavitations devices can drastically affect the character of heat and mass transfer, hydrodynamic, chemical and biophysical processes at the micro- and nanoscale. The work of developed by the Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine pulsating cavitations reactor type extraction plant materials is described. The basic dynamic effects that intensify the processes of hydrodynamics and heat transfer in the pulsating apparatus are analyzed. The results of experimental studies Celandine water extraction in the application of cavitations mechanism are shown. Reasonable degree of grinding celandine herbs for further processing in the apparatus pulsating type is grounded and set. Physico-chemical parameters of aqueous extract of celandine depending on the temperature conditions of processing are shown. The dependence of salt content, conductivity, redox potential, pH of the water system, the amount of solids in the extract on the duration of cavitations treatment is obtained. It is established that the cavitations effect on the environment resulting in lower redox potential of the water system proportionally reduce pressure pulses. Based on the research results cavitations extraction process celandine has shown that the application of cavitations reactor pulsating type provides maximum yield components in a short time at relatively low temperatures. The recommendations on the celandine herbs extraction process temperature regimes under conditions of cavitations mechanisms initiation for optimal technological parameters of the process and pulsating modes of the machine are given. An evaluation of the efficiency of the extraction process in a pulsating cavitations type reactor and its proven energy efficient use in various industries is carried out. It has been established that the most economically feasible field of application of the investigated extract of celandine obtained in the cavitations reactor of the pulsating type is the cosmetic industry.

**Ключові слова:** кавітація, екстракція, пульсаційний апарат, рослинна сировина.

**Keywords:** cavitation, extraction, pulsation device, plant raw material.

**Основна частина.** Основним завданням при розробці енергоефективних технологій є підвищення техніко-економічних показників виробництва при переробці сировини. Зокрема, підвищення продуктивності обладнання і зниження енерговитрат на проведення технологічних операцій передбачає створення та впровадження ефективних апаратів з малою питомою енергоємністю і матеріалоемністю, високим ступенем впливу на оброблювані речовини. Аналіз зарубіжної літератури та патентний пошук показав, що переважна більшість наукових робіт спрямована на пошук нових методів впливу на середовище в процесах диспергування, гомогенізації, екстракції тощо. В більшості робіт основна увага акцентована на інтенсифікації процесів екстракції та диспергування з застосуванням апаратів, в яких реалізується механізм знакоперемінного тиску [1 – 7]. В публікаціях [3, 5, 8, 9] детально розглянуто пульсаційний вплив на середовище в процесі обробки і представлено широке впровадження результатів в різних ресурсо-енергоощадних технологіях.

Актуальною проблемою завжди залишається економічне, раціональне, ресурсозбережне та енергоефективне отримання біологічно активних компонентів природного походження для подальшого застосування у різних галузях промисловості. В провідних економічно розвинених країнах світу рослинні екстракти віднесені до групи косметично-активних речовин і широко використовуються при виробництві косметичних товарів та продаються як сировина для їх одержання. В статті наведено результати комплексного дослідження технологічних режимів отримання біологічно активних компонентів на прикладі чистотілу, оскільки його водний екстракт має одночасно протимікробну, фагоцитарну, мітотичну і антиоксидантну активність і може використовуватись в різних галузях.

Експериментальні дослідження процесу екстракції чистотілу проводились на розробленому в ІТТФ НАН України енергоефективному кавітаційному реакторі пульсаційного типу. Принципову схему представлено на рис. 1. Принцип роботи апарата полягає в наступному: суміш екстрагента з подрібненою рослинною сировиною знаходиться у завантажувальному резервуарі під атмосферним тиском  $p_a$  при температурі  $T_f$ . В процесі роботи екстрактора рідинна суміш надходить в робочу камеру із резервуара або витікає з камери в резервуар через циліндричну трубу, яка герметично з'єднана з нижньою поверхнею камери. Верхня і нижня поверхні робочої камери мають форму кульового сегмента, між якими знаходиться еластична мембрана, що відокремлює рідинний та газовий тракти апарата. Через отвір на верхній поверхні робоча камера з'єднується із газовим трактом. Трьох ходовий електромагнітний клапан УЕ 24/1-2 періодично з заданими інтервалами часу підключає камеру до ресивера високого тиску (РВТ), з'єданого з компресором РМ-3102.00, або ж до ресивера низького тиску (РНТ), підключеного до вакуумного насоса рідинно кільцевого типу ВВН-1,5/0,4. Величини тиску в РВТ задаються в інтервалі  $p_{comp} \cong 0,2 \div 0,5$  МПа, а в РНТ – в інтервалі  $p_{vac} = 0,001 \div 0,003$  МПа. На стадії підключення камери до РВТ мембрана під дією високого тиску інтенсивно виштовхує рідину з камери через трубу в резервуар. При перекритті мембраною отвору на нижній поверхні камери вся рідина виходить з камери. В цей момент швидкість течії в трубі досягає максимального значення (близько 10 м/с) і рідина продовжує рухатися вниз по трубі за інерцією (без контакту з мембраною). Після відриву рідинної суміші від мембрани у верхній час-

тині труби утворюється порожнина під вакуумом з безперервно зростаючим об'ємом, що поступово заповнюється паром. Встановлено, що внаслідок швидкого руху стовпа рідини тиск пари в порожнині суттєво нижчий тиску насиченої пари  $p_{sat}(T_l)$ . Тиск в рідині на границі з порожниною миттєво понижується від величини  $p_{comp} \approx 0,3$  МПа до  $p_l < p_{sat}(T_l) \approx 0,002$  МПа, що приводить до закипання рідинної суміші поблизу вільної поверхні.

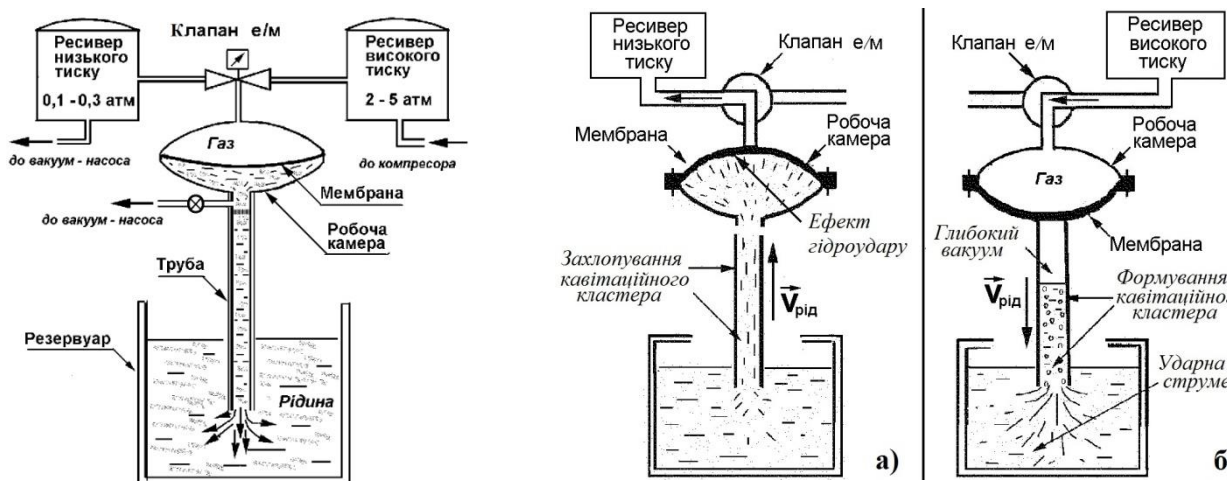


Рис. 1. Принципова схема кавітаційного реактора пульсаційного типу та основні динамічні ефекти: а) стадія впуску рідини в робочу камеру; б) стадія виштовхування рідини з камери.

Встановлена різниця тисків  $p_a - p_{sat}(T_l)$  та дія сили тертя об стінку спричиняють різке гальмування рідинної суміші в трубці, яка потім змінюючи напрям, рухається зі зростаючою швидкістю до камери доки не дійде вхідного отвору в камеру. Якщо до цього моменту камера все ще підключена до РВТ, то вхід в камеру перекритий, і рідинна суміш, що рухається відразу зупиняється. Якщо ж камера з'єднана з РНТ, то рідинна суміш із труби швидко заповнює камеру і зупиняється на мембрані, що прилягає до верхньої поверхні камери. В обох випадках миттєва зупинка потоку ініціює явище гідрравлічного удару. При наступному підключенні камери до РВТ цикл повторюється. Частота повторень циклів в залежності від режиму, знаходиться в діапазоні  $0,5 \div 1,5$  Гц.

На рис. 1 показані основні динамічні ефекти, що реалізуються в кавітаційному екстракторі. До них відносяться: динамічний вплив струменя, що витікає з труби в резервуар і сприяє інтенсивному турбулентному перемішуванню суміші; вплив гідрравлічного удару, що виникає внаслідок гальмування зворотного потоку на поверхні мембрани, який супроводжується високочастотним змінням стиснення та розрідження в камері й трубці та, як наслідок, виникненням вторинних кавітаційних ефектів. Найбільш потужні кавітаційні ефекти виникають після виходу рідини з камери в трубу внаслідок порушення суцільності потоку в момент перекриття отвору мембраною. При цьому тиск на верхній границі рідини  $p_{l0} = 0,3$  МПа миттєво спадає до від'ємного значення з амплітудою –  $0,3$  МПа. Падіння тиску обумовлено ефектом розтягу вільного стовпа рідини, яка до цього була стиснена. Явище, що виникає в момент миттєвого перекриття вхідного отвору, за своєю природою властиве другій і третій стадіям гідрравлічного удару. Імпульс від'ємного тиску від вільної поверхні рідини розповсюджується вздовж труби до вихідного перерізу каналу зі швидкістю звуку в рідині  $c_{ac}$ , а потім повертається у формі імпульсу стиснення. При довжині труби  $L = 60$  см імпульс проходить цю відстань за  $0,4$  мс. Відповідно до теорії гідрравлічного удару час існування імпульсу від'ємного тиску всередині труби визначається співвідношенням  $\Delta\tau_{Pmin} = 2L/c_{ac}$  і складає приблизно  $0,8$  мс. За цей проміжок часу рідина в трубці встигає переміститися лише на  $8$  мм. З цього випливає, що фаза розтягу в зоні рідини поблизу її вільної поверхні продовжується близько  $0,8$  мс, а потім настає фаза стиснення, при якій  $p_l \gg p_a$ .

Отже, в результаті розриву суцільності потоку і раптового розтягу рідини вниз по трубці проходить імпульс від'ємного тиску. При цьому виникають і формуються з інтенсивним зростанням парові бульбашки в екстрагенті протягом часу, за який фронт розрідження досягне вихідного перерізу труби. Наступний фронт стиснення, що розповсюджується в напрямі камери приводить до миттєвого захоплення бульбашок з виникненням потужних мікро масштабних кавітаційних ефектів. Якщо декремент затухання

коливань знакозмінного тиску невеликий, то процес зростання і захоплення парових бульбашок за час перекриття отвору камери мембраною буде спостерігатися багаторазово.

У вище описаному фізичному змісті полягає ініціювання основного та найпотужнішого кавітаційного механізму в пульсаційному апараті при застосуванні методу дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). На представлений фізичній моделі базується проектування енергоефективного кавітаційного обладнання пульсаційного типу для екстракції рослинної сировини різними екстрагентами.

Проведення процесу екстракції із застосуванням тільки інтенсивного перемішування середовища забезпечує умову зростання коефіцієнта конвективної дифузії до нескінченності, тобто конвективне масоперенесення здійснюється миттєво, і коефіцієнт масопередачі визначається тільки коефіцієнтом дифузії в порах рослинної сировини. Ініціювання кавітаційного механізму при обробці в реакторі призводить до значного прискорення процесу на найбільш його повільній стадії, тобто дозволяє впливати на коефіцієнт внутрішньої дифузії. За рахунок інтенсивного коливання частинок системи «тверде тіло – рідина» в місцях тертя відбувається локальне підвищення температури, зменшення в'язкості екстрагента, а отже, і підвищення коефіцієнта внутрішньої дифузії.

Оскільки дослідження проводили з використанням апарата, в якому реалізуються одночасно процеси диспергування і екстракції, то для отримання не забрудненого екстракту трави чистотілу сировину завантажували подрібненою до оптимальних розмірів  $l=3\div5$  см. В ході проведення досліджень встановлено, що при менш тонкому подрібненні різко збільшується кількість розірваних клітин. Це стає причиною вимивання супутніх речовин, які забруднюють водну систему (білки, слизи, пектини та інші високомолекулярні сполуки), що візуально спостерігається при обробці. У результаті проведених експериментальних досліджень отримано водні системи не каламутні, які легко фільтруються.

На основі аналізу економічних і технологічних аспектів відпрацювання процесу екстракції трави чистотілу проводились при температурах 6 і 27 °C та гідромодулі 1:8. Зразки водної системи відбирались в процесі обробки з п'яти хвилинним інтервалом для подальшого визначення фізико-хімічних властивостей за допомогою вимірювального комплексу EZODO PCT-407. У всіх відібраних пробах значення водного показника знаходилося в межах  $pH=6,5\div6,78$  (рис.2).

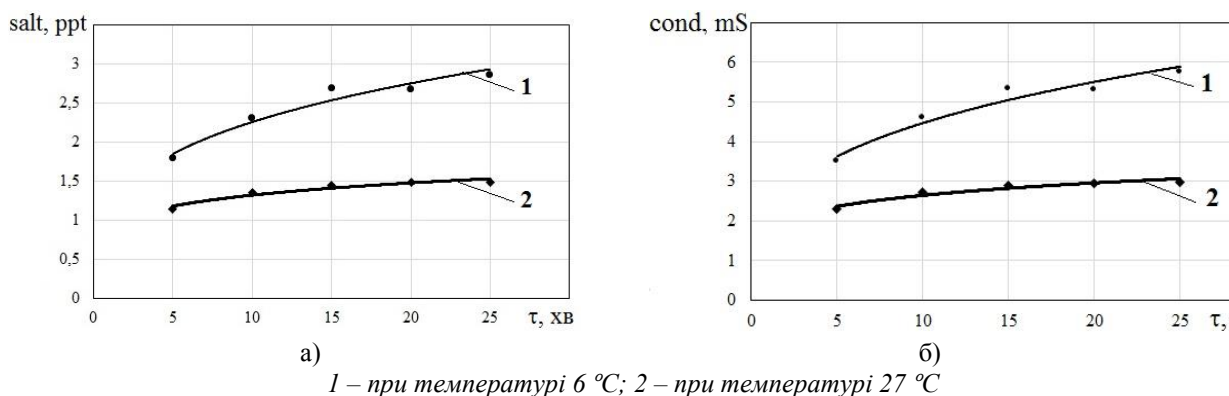
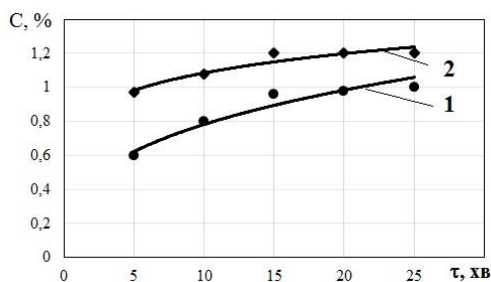


Рис. 2. Залежність солевмісту (а) та електропровідності (б) водного екстракту чистотілу від тривалості обробки.

Однак значення солевмісту (рис. 2 а) та електропровідності (рис. 2 б) при температурі екстракції 27 °C носять стабільніший характер ніж у зразках отриманих при 6 °C. Це можна пояснити не насиченістю розчину при температурі 6 °C, оскільки під час ведення процесу екстракції спостерігається значне локальне підвищення температури і, відповідно, зростання коефіцієнта внутрішньої дифузії. При температурі 27 °C середовища спостерігалось помірне локальне підвищення температури. Проте в обох випадках мало місце нагрівання середовища за рахунок використання методу ДІВЕ та реалізації його найпотужнішого кавітаційного механізму.

Визначення кількості сухих речовин в отриманих зразках проводили відповідно до методики за ГОСТ 28561-90. Отримані результати наведено на рис. 3. Представлені залежності свідчать, що 15 хв обробка в кавітаційному реакторі забезпечує рівноважність концентрацій цільових речовин в сировині та екстракті як при температурі 6 °C, так і 27 °C. Зазначимо, що в ході проведення досліджень температуру 27 °C підтримували протягом всього періоду обробки, а це, відповідно, додаткові енерговитрати. Натомість температуру 6 °C не доводилось підтримувати. Це була постійна температура водної системи при кімнатній температурі. Проте, порівняно максимальний вихід кількості сухих речовин (1,2 %) можна досягти при постійній температурі середовища 27 °C.





1 – при температурі 6 °C; 2 – при температурі 27 °C

**Рис. 3.** Залежність кількості сухих речовин в отриманому екстракті від тривалості обробки.

ні значення окисно-відновного потенціалу (ОВП) залежно від температурного впливу на середовище при ініціюванні кавітаційного механізму на порядок відрізняються.

Втім, щоб описати якість отриманої водної системи, насиченої цільовими речовинами, потрібно мати дані біологічних та хімічних параметрів при окислювальних реакціях. Загальновідомо, що вміст кисню у воді має обернений характер відносно температури, тобто з її підвищенням завжди знижується. Локальне підвищення температури внаслідок реалізації кавітаційного механізму в системі приводить до вивільнення кисню. Зниження ОВП вказує на збільшення відновлюваних речовин у системі, а його зростання – окислювальних. Відповідно, можливо впливати на релаксацію ОВП через кавітаційну обробку. Внаслідок кавітаційного впливу на середовище зменшення значення ОВП пропорційне зниженню імпульсів тиску.

**Висновки.** Динамічні ефекти гідродинамічної кавітації, які властиві реактору пульсаційного типу, мають різний вплив на водні системи в процесі екстракції залежно від тривалості обробки і температурних режимів. Отримані значення фізико-хімічних параметрів: рН, солеміст, електропровідність, ОВП дозволяють оцінювати ефективність процесу екстракції із застосуванням кавітаційного механізму. Значення рН водного екстракту чистотілу протягом 25 хв обробки при температурах 6 °C і 27 °C знаходились в межах  $\text{pH}=6,5\div 6,78$ , проте значення ОВП при цих температурах на порядок відрізнялись. Електропровідність та солеміст змінювались не суттєво при 27 °C. При температурі 6 °C відбулося зростання показників приблизно у 1,5 рази. Визначення кількості виходу сухих речовин від тривалості обробки показало, що 15 хв кавітаційний вплив на середовище при екстракції чистотілу забезпечує рівновагу масових концентрацій системи «тверде тіло – рідина», що приводить до скорочення тривалості процесу вилучення цільових речовин без додаткового підігріву до температури кипіння.

Процес екстракції водорозчинних речовин при кімнатній температурі має важливе значення для вилучення термолабільних речовин, що забезпечує оптимальне застосування кавітаційних механізмів в масообмінних апаратах.

#### Література

1. Іваницький Г. К., Гоженко Л. П. Аналитическое исследование условий возникновения кавитации в трубе пульсационного диспергатора ударного типа. – Пром. теплотехника. – 2014. – Т. 36, № 6. – с. 5 – 12.
2. Іваницький Г. К., Чайка О. І., Гоженко Л. П. Застосування кавітаційного реактора пульсаційного типу для екстрагування з рослинної сировини // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2015. Т. 2., вип. 47. С. 138-142.
3. Іваницький Г. К., Корчинский А. А., Матюшкин М. В. Математическое моделирование процессов в пульсационном диспергаторе ударного типа // Пром. теплотехника. 2003. Т. 25, № 1. С. 29-34.
4. Вітенько Т. М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах. Тернопіль: Видавн. Терноп. держ. техн. ун-ту ім. І. Пулюя, 2009. 220 с.
5. Долинский А. А., Іваницький Г. К. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. К.: Наукова думка, 2008. 381 с.
6. Hybrid reactor based on combined cavitation and ozonation: from concept to practical reality / Gogate P. R. et.al. // Ultrason. Sonochem. 2014. Vol. 21. P. 590-598.
7. Negative pressure cavitation extraction: A novel method for extraction of food bioactive compounds from plant materials / Shahin Roohinejad et.al. // Review Article Trends in Food Science & Technology, 2016. Vol. 52, P.98-108.
8. Накорчевский А. И., Басок Б. И. Гидродинамика и тепломассоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках. К.: Наук. думка, 2001. 345 с.
9. Басок Б. И., Новицкая М. П., Чайка А. И. Гидродинамика и теплообмен при пневмопульсационном воздействии на жидкие системы. К.: Калита, 2014. 140 с.

Отже, порівнюючи рис. 2 та рис. 3, можна обґрунтувати отримані показники фізико-хімічних параметрів на фоні кількісного складу цільових речовин в системі залежно від тривалості обробки в кавітаційному реакторі пульсаційного типу. Отримана різниця  $\Delta C=(C_2-C_1)$ , % є обернено пропорційною величиною відповідним різницям на рис. 2, що вказує на інтенсивніше протікання окисно-відновних реакцій в системі із застосуванням кавітаційного механізму при 6 °C ніж при підтримуванні температури 27 °C. Вимірювання температури 27 °C.

## References

1. Ivanitskyi, H. K., Hozhenko, L. P. *Analiticheskoe issledovanie usloviy vzniknovenia kavitatsii v trube pulsatsionnoho disperhatora udarnogo tipa* [The analytical study of the conditions for cavitation in the tube of a pulsating dispersant of impact type]. *Prom. teplokhnik* [Industrial heat engineering]. 2014. Vol. 36, № 6, pp. 5 – 12.
2. Ivanitskyi, H. K., Chayka, O. I., Hozhenko, L. P. *Zastosuvannia kavitatsiynoho reaktora pulsatsionnoho typu dlia ekstrahuvannia z roslynnoi syrovyny* [The use of pulsating cavitation reactor type for extraction of plant raw material]. *Naukovi pratsi ONAKHT* [Scientific Works]. Odesa: 2015. Issue 47. Vol. 2, pp. 138 – 142.
3. Ivanitskyi, H. K., Korchynskyi, A. A., Matiushkin, M. V. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov v pulsatsionnom disperhatore udarnogo tipa* [The mathematical modeling of processes in pulsating dispersant of impact type]. *Prom. teplokhnik* [Industrial heat engineering]. 2003. Vol. 25, № 1, pp. 29 – 34.
4. Vitenko, T. M. (2009), *Hidrodinamichna kavitatsia u masoobminnykh, khimichnykh i biolohichnykh protsessakh* [The hydrodynamic cavitation in mass transfer, chemical and biological processes]. Ternopil Ivan Puliuy National Technical University, Ternopil, Ukraine, 220 p.
5. Dolinskyi, A. A., Ivanitskyi, H. K. (2008), *Teplomassoobmen i hidrodinamika v parozhidkostnykh dispersnykh sistemakh. Teplofizicheskie osnovy diskretno-impulsnoho vvoda enerhii* [Heat and mass transfer and hydrodynamics in vapour-liquid disperse systems], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine, 381 p.
6. 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.
7. 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.
8. Nakorchevskyi, A. I., Basok, B. I. (2001), *Hidrodinamika i massoperenos v heterohennykh sistemakh i pulsiruiushchikh potokakh* [Hydrodynamics and heat and mass transfer in heterogeneous systems and pulsating flows], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine, 345 p.
9. Basok, B. I., Novitskaia, M. P., Chayka, O. I. (2014), *Hidrodinamika i teploobmen pry pnevmopulsatsionnom vozdeystvii na zhydkie sistemy* [Hydrodynamics and heat transfer in case of pneumatic pulsation action on liquid systems], Kalyta, Kyiv, 140 p.

УДК 66.021.3.086:[66.061.3–035.2:615.451.1]

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА НЕЕНЕРГОЄМНИХ КОНЦЕНТРОВАНІХ ФІТОПРЕПАРАТІВ

Бурдо А. К.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., Альхурі Юсеф<sup>1</sup>, аспірант,  
Ананійчук Е. Ю.<sup>1</sup>, інженер, Гончаров Д.С.<sup>2</sup>, хімік-хроматографіст  
<sup>1</sup>Одеська національна академія харчових технологій  
<sup>2</sup>ПАО "Іллічівський олійножировий комбінат"

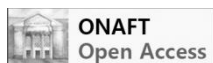
## INVESTIGATION OF NON-ENERGY-INTENSIVE CONCENTRATED PHYTOPREPARATIONS PRODUCTION PROCESSES

Burdo A. K.<sup>1</sup>, Ph.D, Associate Professor, Alhuri Yusef<sup>1</sup>, postgraduate st.,  
Ananiychuk E. Yu.<sup>1</sup>, engineer, Goncharov D.S.<sup>2</sup>, chemist-chromatographer  
<sup>1</sup>Odessa National Academy of Food Technologies  
<sup>2</sup>Public Joint Stock Company «Illichevsky maslozhirkombinat»

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Анотація.** Обговорено перспективи фітопрепаратів, їх концентрати із рослинної сировини. Аналізуються традиційні технології та способи переробки плодів шипшини, пектинових розчинів. Показано, що недоліками відомих технологій є громіздкість обладнання та низька ефективність використання енергії. Зроблено висновок про необхідність удосконалення цих технологій. В першу чергу необхідні нові підходи до проведення процесів тепломасоперенесення. В роботі розглядаються проблеми сучасних технологій концентрування розчинів, випарних апаратів. Представлено концепцію доцільності використання адресної доставки енергії до елементів рослинної сировини для здійснення зневоднення розчинів. На основі такої концепції формулюється наукова гіпотеза, суть якої полягає в переході від класичної теплопередачі до принципів об'ємного підведення енергії. Пропонується здійснювати обробку сировини за допомогою електромагнітних генераторів енергії мікрохвильового діапазону. Розглянуто схему екс-