



УДК 664.061.4:084

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF AN EXPLOSION CAUSED BY ELECTROHYDRAULIC DISCHARGE IN A COMPRESSED LIQUID**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИБУХУ, ВИКЛИКАНОГО ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РОЗРЯДОМ В СТИСКУВАНІЙ РІДИНІ**

**Zaporozhets Y.V. / Запорожець Ю.В.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-2356-2148

**Burlaka T.V. / Бурлака Т.В.***s.t.s. / к.т.н., ст..викладач*

ORCID: 0000-0002-2877-7386

*National University of Food Technologies, Kyiv, Vladimirskaya, 68, 01601**Національний університет харчових технологій, м. Київ, вул. Володимирська 68, 01601*

**Анотація.** В роботі досліджується вплив електрогідроудару та його вплив на подальше вилучення цільових компонентів з хмельової сировини. Доведена та обґрунтована можливість та ефективність сумісної дії низькочастотних механічних коливань та попереднього електроіскрового оброблення на інтенсифікацію процесу вилучення цільових компонентів з хмельової сировини.

**Ключові слова:** електрогідроудар, хміль, екстрагування, вибух, розряд, гідравлічні імпульси.

**Вступ.**

Процес екстрагування відноситься до масообмінних процесів і протікає за рахунок дифузії із зони з високою концентрацією в зону з низькою концентрацією до досягнення стану, коли швидкості переходу цільової речовини з рослинної сировини в екстрагент і навпаки є рівними.

Вивчення існуючих способів екстрагування та його апаратурного оформлення свідчить про їх низьку ефективність при переробці рослинної сировини з високим ступенем подрібнення. Низька ефективність більшості існуючих технологій екстрагування цільових компонентів із рослинної сировини характеризується недосконалістю екстракційної апаратури, оскільки дрібно фракційна сировина, або виготовлена із неї маса не має достатньої пористості для протитечійного безперервного екстрагування, погано транспортується і ущільнюється. При цьому значна частина поверхні контакту фаз піддається ефекту екранування та втрачає свою активність в процесі масопередачі.

У зв'язку з необхідністю удосконалення та інтенсифікації процесу масоперенесення при екстрагуванні виникає питання про створення таких активних режимів взаємодії між рослинною сировиною та екстрагентом, які забезпечували б високу продуктивність та масообмін.

Особливої уваги потребує більш детальне дослідження використання електроіскрового оброблення сировини перед віброекстрагуванням.

**Мета роботи.** Метою роботи є теоретичне і експериментальне дослідження процесу віброекстрагування цільових компонентів із хмелю та створення вискоефективного обладнання безперервної дії для отримання хмельових екстрактів.



**Матеріали і методи.** Матеріали для огляду – публікації вітчизняних і зарубіжних авторів, патенти та результати власних експериментальних досліджень із розроблення ефективних способів екстрагування рослинної сировини.

### Результати і обговорення.

Фізична суть електрогідроудару полягає в утворенні ударної хвилі в рідині при виникненні в ній спеціально сформованого імпульсного високовольтного електричного розряду. При цьому в зоні, що оточує канал розряду, розвивається високий імпульсний тиск, який проявляється у формі вибухового механічного впливу на середовище, що знаходиться поблизу каналу.

При електричному розряді в рідині відбуватися перетворення енергії розряду в механічну роботу, в енергію руху середовища.

Висока концентрація енергії розряду і короткочасність її виділення зумовлюють можливість розгляду явищ, що відбуваються в рідині, з позиції фізики вибуху.

Процес енерговиділення при електророзрядах у воді супроводжується такими ж гідромеханічними явищами, які виникають під час вибуху зарядів хімічного або при фокусуванні потужного моноімпульсного випромінювання оптичного квантового генератора.

Характерним для всіх вибухів є утворення і розширення кавітаційної порожнини, досягнення нею максимального розміру, схлопування і подальші пульсації парогазового пухирця. При цьому від поверхні порожнини відходять ударні хвилі, тиск яких поблизу вибуху досягає декількох тисяч атмосфер.

Гідравлічні імпульси, що виникають в результаті розряду в рідині, складаються з двох важливих факторів: основного — гідравлічного удару і допоміжного — кавітаційного. Чим коротший імпульс, чим крутіший його фронт і вище амплітуда, тим коротший і сильніший гідравлічний удар.

Динаміка радіального розширення каналу визначається з одного боку струмом розряду, а з іншого боку залежить від розвитку гідродинамічного ударно-хвильового процесу в рідкому середовищі, що оточує розряд.

Однією з причин відмирання мікроорганізмів може бути пошкодження клітини, її структур і як наслідок термічного або механічного ефектів.

При оцінці механічного ефекту вважаємо мікроорганізми сферами діаметром  $d$  та скористаємося умовою дроблення сферичних крапель рідиною густиною  $\rho_0$  (визначається значенням числа Вебера в ударних хвилях внаслідок розвитку нестійкості Кельвіна-Гельмгольца при обтіканні рідиною густиною  $\rho$ :

$$\Delta P > \rho^{\frac{1}{2}} c \left( \frac{2\pi\sigma}{d} \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{2}},$$

де  $\sigma$  — сила поверхневого натягу на межі поділу.

Товщина фронту визначається значенням густини перед і за фронтом, котрі зв'язані між собою співвідношенням на розриві:

$$8 = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(d\rho/dx)_{\max}}$$



Із збільшенням границі тиску товщина фронту зменшується в межах  $\delta \approx (60 \div 4)nm$ .

Оскільки при  $\Delta P \geq 50$  МПа товщина фронту значно менше характерного розміру мікроорганізму ( $\sim 1 \div 100 \mu m$ ) при оцінці вказаних ефектів використані гідростатичний та гідродинамічний підходи. Нагрів мікроорганізмів в результаті проходження ударної хвилі можна оцінити за формулою:

$$\frac{T}{T_0} = \left( \frac{V}{V_0} \right)^{-\Gamma_0},$$

де зміна питомого об'єму визначається з рівнянь Тейна; коефіцієнт Грюнайзена —  $\Gamma_0 = \frac{\beta}{\rho k_m c_V}$ , тут  $k_m$  — ізотермічний коефіцієнт стискання;  $\beta$  — об'ємний коефіцієнт температурного розширення;  $c_V$  — питома теплоємність;  $\rho$  — густина.

Для води  $\Gamma_0 = 108,85$ ; для органічної рідини  $\Gamma_0 = 952,40$ .

Товщина клітинної стінки мікроорганізму, що має полімерну структуру,  $\Delta = 10 - 25nm$ . Оскільки напруження розриву для рідини  $\sigma_p$  зв'язане з поверхневим натягом наближеним співвідношенням  $\sigma_p = \frac{2\sigma}{r_0}$ , то формулу можна застосувати в розглядуваному випадку, якщо формально замінити величину  $\sigma$  на  $\sigma^* = \frac{\sigma_1 \Delta}{r_0}$  або  $\sigma^* = \sigma_p \Delta$ , де  $\sigma_1$  та  $\sigma_p$  — поверхневий натяг та міцність на розрив матеріалу клітинної стінки. Типові значення  $\sigma_p$  для полімерів  $\sim 20$  МПа отримуємо:

$$\Delta P > (0,6 - 1,35) \cdot 10^2 \text{ МПа.}$$

Ця величина може служити орієнтиром при практичній реалізації умовної деструкції мікроорганізмів при одноразовій дії розряду.

Один імпульсний розряд виключає, принаймні, два гідравлічних удари: перший — в момент утворення порожнини, другий — при її закриванні. При визначаючих умовах (висота стовпа рідини, тиску, розмір порожнини та ін.) газова порожнина здійснює декілька пульсацій, що являється логічним наслідком розриву суцільності рідини і адіабатичного її стиснення.

Форма порожнини на стадії досягнення нею кінцевого розміру близька до сферичної. Однак початкова стадія розвитку каверни не характеризується сферично симетричним рухом. Каверна витягнута вздовж осі розряду. Такий характер початкової стадії розвитку каверни відповідає вибуху циліндричного заряду кінцевої довжини.

Вимірювання, проведені при виконанні серії експериментів, дають наступні характеристики пульсацій каверни: максимальний діаметр каверни при першій, другій та третій пульсаціях складає 6,3; 2,9; 1,6 мм. Періоди послідовних пульсацій є рівними  $T_1 = 590$  мкс,  $T_2 = 240$  мкс,  $T_3 = 130$  мкс.

Потенціальна енергія, накопичена бульбашкою при його розширенні до максимального розміру:



$$E_r = \frac{4}{3} \pi r_m^3 P_0,$$

де  $r_m$  — максимальний радіус порожнини;  $P_0$  — гідростатичний тиск в середовищі.

Відомо, що відношення енергії  $E_k$ , накопиченої в бульбашці  $k$ -й пульсації до енергії  $E_{k+1}$  бульбашки  $k+1$ -й пульсації підкоряється співвідношенню:

$$\eta_k = \frac{E_k}{E_{k+1}} \eta_{k+1} = \left( \frac{T_k}{T_{k+1}} \right)^3 \eta_{k+1}$$

Звідси можна отримати, співвідношення між коефіцієнтами втрат енергії  $\eta_2 = 0,07\eta_1$ ,  $\eta_3 = 0,016\eta_2$ . Але основною причиною інтервальної втрати енергії при наступних пульсаціях порожнини служить випромінювання порівняно потужних хвиль стиску при її схлопуванні.

**Результати і висновки.** Встановлено, що при перепаді тиску  $>50$  МПа товщина фронту набагато менше характерного розміру мікроорганізмів, що дозволяє розглядати останні як макрооб'єкти.

При одноразовій дії розряду зниження концентрації мікроорганізмів до потрібних санітарних норм (менше  $10^3 \frac{1}{d_m^3}$ ) реалізується при перепаді тиску на фронті ударної хвилі не менше 50 МПа.

Література:

1. Зав'ялов В. Л. Дослідження дифузійних властивостей листової чайної сировини / В. Л. Зав'ялов, Н. В. Попова // Наукові праці ВДАУ. — Вінниця, 2006. — Вип. 1. — С. 14—19.
2. Popova N. Investigation of the extraction of flavoid compounds from high mountain Herbage / N. Popova, V. Zavialov, V. Bodrov, T. Misyura, Y. Zaporozhets // The second north and east European congress on food (May 26, 2013). — Kiev: NUFT, 2013. — P. 165.
3. Белоглазов И. Н. Твердофазные экстракторы / И. Н. Белоглазов. — Л.: «Химия». Ленинградское отделение, 1985. — 239 с.
4. Лобода П. П. Перспективи застосування універсальних просторово-часових співвідношень при інтенсифікації та масштабуванні технологічних процесів / П. П. Лобода // Наукові праці УДУХТ. — 1993. — № 1. — С. 60—64.
5. Зав'ялов В. Л. Дослідження кінетики процесу екстрагування з листової чайної сировини в апаратах періодичної дії із різними вібраційними системами перемішування / В. Л. Зав'ялов, Н. В. Попова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. — 2007. — Вип. 58. — С. 102—112.

**Abstract.** The extraction process refers to mass transfer processes and proceeds by diffusion from a zone of high concentration to a zone of low concentration to reach a state where the rates of transition of the target substance from plant material to the extractant and vice versa are equal.

Due to the need to improve and intensify the process of mass transfer during extraction, the question arises about the creation of such active modes of interaction between vegetable raw



materials and extractant, which would ensure high productivity and mass transfer.

The physical essence of electric shock consists in the formation of a shock wave in a liquid when a specially formed pulsed high-voltage electric discharge occurs in it. In the area surrounding the discharge channel, a high impulse pressure develops, which manifests itself in the form of an explosive mechanical impact on the environment near the channel.

The process of energy release during electric discharges in water is accompanied by the same hydromechanical phenomena that occur during the explosion of chemical charges or when focusing powerful monopulse radiation of an optical quantum generator.

Hydraulic impulses arising from the discharge in the liquid consist of two important factors: the main - hydraulic shock and auxiliary - cavitation. The shorter the pulse, the steeper its front and the higher the amplitude, the shorter and stronger the hydraulic shock.

It is established that with a pressure drop  $> 50$  MPa, the thickness of the front is much smaller than the characteristic size of microorganisms, which allows us to consider the latter as macro-objects.

With a single action of the discharge, the reduction of the concentration of microorganisms to the required sanitary norms (less) is realized when the pressure drop at the front of the shock wave is not less than 50 MPa.

**Key words:** electrohydraulic shock, hops, extraction, explosion, discharge, hydraulic impulses.

Статья отправлена: 16.06.2020 г.

© Бурлака Т.В.