

І.С. Гулий, А.І. Українець доктори техн. наук  
Ю.О. Дашковський,  
Л.М. Хомічак, В.В. Олішевський,  
Л.М. Верченко, С.І. Блаженко, кандидати техн. наук  
В.П. Василів, асп.  
А.І. Маринін, магістрант

## ЕЛЕКТРОІСКРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ: ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

Актуальним для харчової та переробної промисловості України є створення прогресивних технологій, застосування яких дозволить здійснювати більш повну переробку рослинної сировини, а також інтенсифікувати існуючі технологічні процеси.

У теперішній час все більшу роль у промислових технологіях відіграють процеси, засновані на використанні різних електрофізичних методів обробки, зокрема мікрохвильових, акустичних, електричних постійного та змінного струму, ультрафіолетових, магнітних.

Зокрема, інтенсивно розвивається техніка реалізації електроіскрового розряду у рідині, наслідком якого є електрогідралічний ефект. В результаті утворення електроіскрового розряду у рідині виникає цілий спектр фізичних ефектів, таких як пружні лінійні, пружні нелінійні, магнітні, кавітація та інші.

Вивчення спільної дії цих ефектів чи окремих їх комбінацій може привести до одержання нових видів харчових продуктів з покращеними харчовими властивостями, інтенсифікації тепло-масообмінних процесів при переробці харчової сировини.

В 1944 Б. Р. Лазаренко та Н.І. Лазаренко [1] вказали на можливість використання імпульсних електричних розрядів в рідині для оброблення металів. На спосіб створення кумулятивних потоків під дією тиску, який виникає при електричному розряді в рідині, вказали в 1944р. Покровський та Станюкович [2]. Фрюнгель [3] в 1948р. здійснив першу спробу вимірювання електромеханічного к.к.д. розряду в воді. На можливі застосування електричного розряду в сейсміці вказали в 1952р. Фогель [4] і в 1955р. Мазов та Мейер [5]. Активна пропаганда застосувань цього явища Юткіним [6] сприяла широкому застосуванню імпульсних електричних розрядів в воді для удосконалення таких класичних технологічних процесів, як штампування, подрібнення. Імпульсні електричні розряди в воді знаходять застосування в якості потужних джерел звуку, корисних при гідроакустичних і гідрогеологічних дослідженнях [7, 8].

Фізичні явища, які виникають при електричному розряді в рідині, вивчені недостатньо повно. Зокрема, недостатньо вивчені гідродинамічні характеристики розрядів, знання яких важливе для практичних застосувань.

© І.С. Гулий, А.І. Українець, Ю.О. Дашковський, Л.М. Хомічак, В.В. Олішевський, Л.М. Верченко, І.С. Блаженко, В.П. Василів, А.П. Маринін, 2002

Типовим процесом ініціювання розряду являється пробій міжелектродного проміжку в рідині під дією електричної напруги, яка виникає на електродах при підключенні до них зарядженого конденсатора. В діапазоні напруг, які застосовуються на практиці (1-100 кВ), відомі два механізми пробію: стрімерний, або лідерний, який відповідає високим напругам, і тепловий, який протікає при низьких напругах. Найбільш сприятливі умови для виникнення лідерного пробію мають місце в випадку високовольтних неоднорідних полів між позитивним електроодом з загостреним кінцем та негативним електроодом, виготовленим у вигляді площадки. В результаті зриву електронних лавин, які направляються до загостреного кінця, утворюються лідери, які "проростають" в напрямку центрів іонізації, на яких утворились електронні лавини. Замикання міжелектродного проміжку одним з лідерів призводить до завершення процесу утворення каналу розряду. Цей механізм забезпечує пробій міжелектродних проміжків довжиною в декілька сантиметрів при напрузі в декілька десятків кіловольт.

При низьких напругах лідерний механізм пробію змінюється тепловим. Під дією струму провідності проходить розігрів і випаровування води у електроодів. В результаті між електродами утворюється газовий "місток", по якому далі і проходить пробій міжелектродного проміжку.

Енергія, яка виділяється в каналі розряду, витрачається в основному на роботу, яка здійснюється при розширенні (близько 50%), і на локальний нагрів речовини в каналі розряду.

Робота, яка здійснюється каналом, підрозділяється на енергію хвиль стиснення, яка випромінюється на стадію розряду (до 20%), і на енергію пульсацій газового шару, яка дорівнює потенціальній енергії шару в момент максимального об'єму (до 30%). Енергія пульсацій поступово витрачається на випромінення хвиль стиснення і розрідження та на другі втрати.

Нами разом з фахівцями Інституту імпульсних процесів та технологій НАН України (м.Миколаїв) було розроблено, виготовлено, змонтовано та налагоджено у залі експериментальних установок НУХТ генератор імпульсних струмів ГІТ 50-5х1/4С УХЛ4, технічні параметри якого приведені в таблиці 1.

Таблиця 1  
Технічні параметри генератора імпульсних струмів ГІТ 50-5х1/4С УХЛ4

Найменування параметрів	Норма	Граничне відхилення, %
1	2	3
1. Номінальна вихідна потужність, кВт	10	± 20
2. Номінальна вихідна напруга, кВ	50	± 5
3. Номінальна вихідна частота, Гц	2	± 10
4. Номінальна накопичувана енергія, кДж	5	± 20%
5. Енергія, що накопичується на канал розряду, кДж;	5	± 20
6. Кількість каналів розряду, шт.	1	
7. Напруга мережі, В	380	± 5
8. Частота струму мережі, Гц	50 ± 1	
9. Кількість фаз мережі	3	

Закінчення табл. 1

1	2	3
10. Повна потужність, кВА	18	± 15
11. Режим роботи, ПВ, %	100	
12. Коефіцієнт корисної дії, %, не менше	80	
13. Коефіцієнт потужності, не менше	0,73	

Зовнішній вигляд генератора разом з пультом управління наведено на рис.1.



Рис. 1. Генератор імпульсних струмів з пультом управління

Головним технологічним вузлом, і одночасно "вузьким місцем" установки є розрядна камера, де власне і відбувається процес електроіскрового оброблення харчових середовищ. В процесі експлуатації ряду конструкцій розрядних камер нами накопичено значний досвід, що дозволило створити надійну конструкцію з ресурсом роботи, що задовольняє потреби промислового виробництва.

В процесі здійснення електроіскрових розрядів в рідину на міжелектродному проміжку електроіскрової камери за проміжок часу в діапазоні від  $10^{-4}$  до  $5 \times 10^{-6}$  секунд виділяється енергія до 5 кДж і протікає імпульс струму до 40 кА. Короткочасне виділення такої енергії створює імпульсне механічне навантаження на конструктивні елементи камери, внаслідок дії, особливо багаторазової, якої експлуатаційні характеристики камери суттєво погіршуються, а деякі конструктивні елементи руйнуються вже після здійснення 500 розрядів.

В першу чергу, як правило, з'являються тріщини корпусів ізоляторів електричного тракту, виготовлених з поліетилену високого тиску чи з капролону, внаслідок чого розряд відбувається на корпус камери без створення електрогідралічного ефекту. Конструкція камери в цьому випадку повинна передбачати технологічність швидкої заміни ізоляторів.

Значний досвід по створенню основних несучих конструкцій електророзрядних камер накопичено фахівцями Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України, разом з якими нами в теперішній час створюється модернізований варіант розрядних камер. У цьому варіанті буде реалізовано досвід, накопичений в процесі використання електроімпульсних технологій для очищення нафтових свердловин на великих глибинах.

Суттєвою технологічною проблемою є наявність ерозії матеріалу електродів під час здійснення розрядів. При утворенні плазмового високотемпературного каналу мікрокількості металу електродів випаровуються і переходять в рідину, що призводить до поступової зміни геометричних параметрів електродів і, як наслідок, зміни величини міжелектродного проміжку. В теперішній час досягнутий ресурс електродів (анодів) складає 200 тисяч розрядів при умові збереження високого к.к.д. установки, після чого аноди, які мають просту і технологічну конструкцію, треба замінювати внаслідок скорочення їх довжини на  $5-7 \times 10^{-3}$  м. Спеціалістами накопичений значний досвід по використанню різних матеріалів електродів і, як правило, для їх виготовлення використовують конструкційну чи пружинну сталь.

Всі перераховані вище основні експлуатаційні особливості, встановлені нами та іншими фахівцями, враховано при конструюванні напівпромислових електророзрядних камер з ресурсом експлуатації до 10 мільйонів розрядів при умові безпечності їх обслуговування.

При розгляді теоретичних аспектів фізичних явищ, що мають місце під час здійснення електроіскрових розрядів, слід відмітити, що з точки зору амплітуд фізичних полів чільне місце займають явища генерації і розповсюдження пружних хвиль (хвиль тиску, акустичних хвиль) діапазону частот "ближнього" ультразвуку. Враховуючи відмінності амплітуд пружних хвиль при здійсненні розрядів безпосередньо в оброблюваному продукті (прямі розряди) і здійсненні розрядів в імерсійну рідину (непрямі розряди), акустичні явища можна поділити на два види: нелінійні і лінійні.

Для випадку непрямих розрядів розглянемо явище поглинання енергії пружної хвилі рідинами та суспензіями. Враховуючи загальноприйняті позначення лінійної акустики, в подальшому будемо користуватись величиною амплітудного коефіцієнта поглинання  $\alpha$ .

Основними складовими поглинання пружної енергії у нашому випадку будуть:

$\alpha_{\text{в'яз}}$  — поглинання, обумовлене в'язкістю середовища;

$\alpha_{\text{теплопров}}$  — поглинання, обумовлене теплопровідністю середовища;

$\alpha_{\text{терт}}$  — поглинання, обумовлене тертям між зваженими частинками і рідиною;

$\alpha_{\text{теплообм}}$  — поглинання, обумовлене теплообміном між частками твердої фази і рідиною;

$\alpha_{\text{всер.тв.ф}}$  — поглинання, обумовлене втратами енергії всередині твердої фази суспензій;

$\alpha_{\text{роз}}$  — поглинання, обумовлене розсіюванням пружних хвиль,

а у загальному вигляді рівняння амплітудного коефіцієнта поглинання буде:

$$\alpha = \alpha_{\text{в'яз}} + \alpha_{\text{теплопров}} + \alpha_{\text{терт}} + \alpha_{\text{теплообм}} + \alpha_{\text{внутр.тв.ф.}} + \alpha_{\text{роз}} \quad (1)$$

Базуючись на вивчених в теперішній час механізмах взаємодії пружних хвиль, що виникають внаслідок електроіскрового розряду в імерсійній рідині, з "акустичним навантаженням", яким у на-

шому випадку є рідкі харчові продукти та харчові суспензії, процес розповсюдження пружних хвиль та взаємодії пружної енергії з об'єктами оброблення можна записати у вигляді:

$$\alpha = \frac{2}{3} \frac{\eta \omega^2}{\rho c^3} + \frac{\omega^2}{2\rho c^3} \left[ \frac{4}{3} (\eta - \eta') + \chi \left( \frac{1}{C_v} - \frac{1}{C_p} \right) \right] + \frac{c_0 k}{2} (\sigma' + 1) / S + (\sigma' + R_0)^2 + \frac{c_0 k^4 r^3}{2} \left[ \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma - 2} \right)^2 + \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{3\beta}{3\chi + 2\mu} \right)^2 \right] + \alpha_{\text{всер.тв.ф.}} \quad (2)$$

$\eta$  — коефіцієнт динамічної в'язкості;

$\rho$  — густина;

$\omega$  — кутова частота;

$c$  — швидкість розповсюдження пружної хвилі;

$\eta'$  — коефіцієнт об'ємної густини;

$\chi$  — коефіцієнт температуропровідності;

$C_v$  — теплоємність при постійному об'ємі;

$C_p$  — теплоємність при постійному тиску;

$$\sigma' = \rho_4 / \rho_p;$$

$\rho_4$  — густина часток;

$\rho_p$  — густина рідини;

$c_0$  — об'ємна концентрація часток;

$$S = \frac{9}{4\beta^2} \left( 1 + \frac{1}{\beta r} \right);$$

$$R_0 = \frac{1}{2} + \frac{9}{1\beta r};$$

$k = 2\pi/\lambda$  — вильове число;

$\lambda$  — довжина хвилі;

$\beta$  — відносна стискуваність часток;

$r$  — радіус часток;

$$\sigma = \rho_p / \rho_4;$$

$\chi, \mu$  — пружні постійні Ляме.

Вирішенням завдань математичного опису явищ нелінійної акустики (прямий розряд в рідину) найбільш активно займаються фахівці Інституту гідромеханіки НАН України. Теоретичні дослідження цих явищ при обробленні харчових продуктів проводяться нами у теперішній час.

Серед основних результатів великого масиву проведених експериментальних досліджень в теперішній час можна виокремити такі основні перспективні напрями застосування електроіскрового оброблення технологічних середовищ харчової промисловості:

— пригнічення життєдіяльності мікрофлори харчових продуктів;

— коагуляція компонентів технологічних середовищ;

— механоактивація.

Проведено ряд досліджень з метою визначення характеру впливу високовольтного електроіскрового оброблення на мікрофлору нефільтрованого пива, дифузійного соку в залежності від параметрів електричного розряду, здійснюваного безпосередньо в оброблюваному середовищі, а саме: напруги розряду, відстані між електродами та кількості розрядів [9].

Експериментально встановлено, що бактерицидна дія високовольтного електроіскрового оброб-

лення зростає при збільшенні кількості розрядів, напруги та відстані між електродами.

При електроіскровому обробленні одним та двома розрядами істотного зменшення кількості життєздатних мікроорганізмів порівняно з контролем не спостерігається. Досягти суттєвого зменшення концентрації мікрофлори в досліджуваних нами продуктах вдалося завдяки застосуванню п'яти розрядів. При подальшому збільшенні кількості розрядів спостерігалось подальше підвищення бактерицидної дії, але не так чітко виражене.

Суттєвим аспектом є вивчення залежності бактерицидної дії високовольтного електроіскрового оброблення від початкової концентрації контамінуючої мікрофлори, як основного показника біологічної стійкості продуктів харчування (санітарно-гігієнічного показника) в оброблюваному продукті, їх віку та видової належності. Чим вища концентрація мікроорганізмів у продукті, тим нижчий бактерицидний ефект електроіскрового оброблення. Також встановлено, що резистентність електроіскрового оброблення проявляють старі клітини, а також споруутворюючі в порівнянні з аспорогенними культурами.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що бактерицидний ефект електроіскрового оброблення зростає при збільшенні кількості розрядів і напруги.

При електроіскровому обробленні пива напругою 40 кВ основна маса МАФМ гинула після дії на нефільтроване пиво 5 розрядів (рис.2).

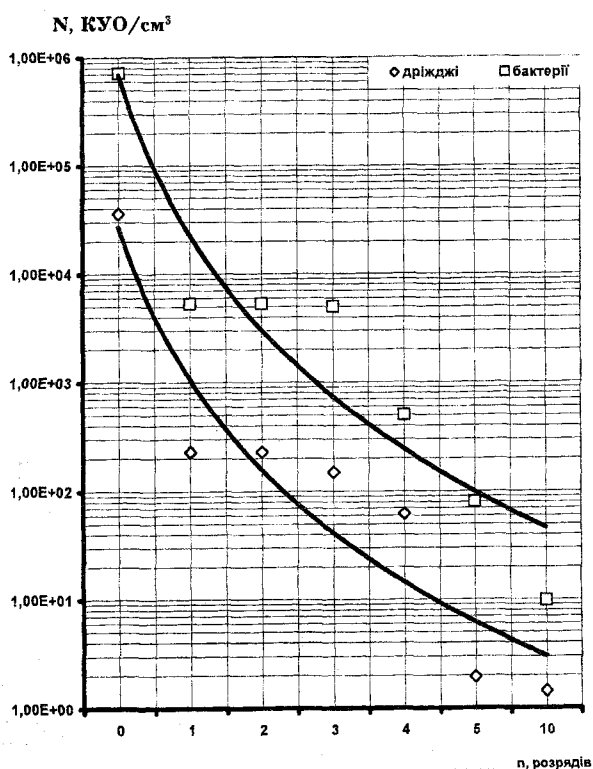


Рис.2. Залежність мікробіологічного забруднення фільтрованого пива при прямому високовольтному електричному розряді від кількості розрядів при відстані між електродами 4 мм та напрузі на електродах 40 кВ

Результати вивчення впливу високовольтного електроіскрового оброблення на життєдіяльність дріжджів свідчать, що при одиничному розряді кількість життєздатних клітин майже не змінювалось, але через 24 години їх кількість була в 4 рази меншою у порівнянні з контролем.

Це свідчить, що одиничний розряд приводить до пригнічення життєдіяльності дріжджів. Виявилось, що при трьохкратному впливі розрядів на пивні дріжджі також відбувалося пригнічення їх життєдіяльності, але більш суттєве. На протязі перших 9 годин збільшення кількості живих клітин не спостерігалось, але через 24 години після оброблення концентрація дріжджів була в 10 разів меншою в порівнянні з контролем. При збільшенні кількості розрядів спостерігалось більш чіткі пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів.

Паралельне вивчення морфології дріжджових клітин дало змогу виявити морфологічні зміни. Після електроіскрового оброблення більшість клітин не змінилося, але з'явилися в окремих полях зору при розгляді препарату під мікроскопом одиничні зруйновані клітини.

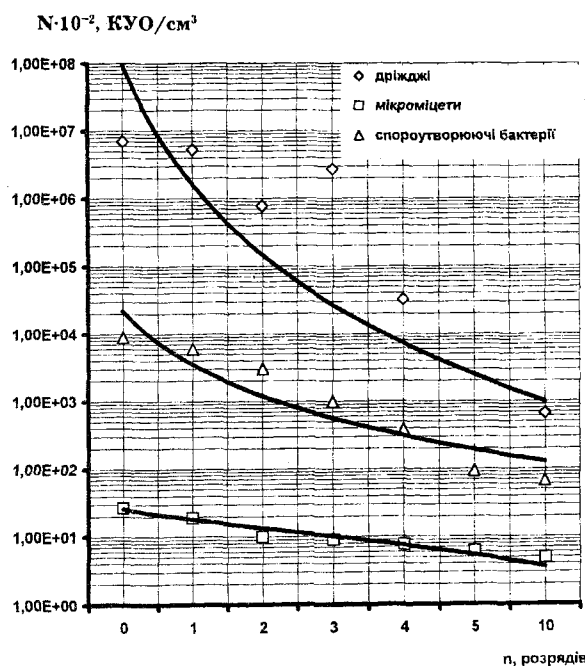


Рис.3. Залежність мікробіологічного забруднення дифузійного соку при прямому високовольтному електричному розряді від кількості розрядів при відстані між електродами 12 мм та напрузі на електродах 30 кВ

Електроіскрове оброблення дифузійного соку (рис. 3) також дозволяє досягти ефективного зменшення в ньому мікрофлори, присутність якої на цьому етапі виробництва може привести до суттєвих втрат цукру, оскільки дифузійний сік є ідеальним середовищем для розвитку мікроорганізмів. Мікрофлора дифузійного соку представлена широким спектром бактерій, дріжджів мікроміцетів, серед яких зустрічається і споруутворюючі бактерії роду *Bacillus* (*B. Subtilis*, *B. Licheniformis*, *B. Coagulans*, *B. Me-*

gaterium, B. Cereus, B. Stearothermophilus) і Clostridium. Їх життєдіяльність проявляється в розкладенні цукрози та утворенні слизистої маси (B. Subfilis). Особливої шкоди можуть завдати бактерії роду Zenconosfos (Z. Mesenteroides, Z. Dextranicum), ослизняючи дифузійний сік. Також шкоди завдають дріжджі роду Saccharomuces, що можуть привести до зменшення вмісту цукру в дифузійному соці, та мікроміцети (до 150 представників).

Електроіскрове оброблення дифузійного соку при напрузі 30 кВ та п'яти розрядах показало, що чутливими виявилися вегетативні клітини бактерій, дріжджів, міцеліальних грибів. Резистентними до електроіскрового оброблення виявилися спори мікроміцетів і особливо бактерій Bac. subtilis та Bac. Cereus.

На вітчизняних цукрових заводах процес очищення дифузійного соку від нецукрів та покращання чистоти (доброякісність — вміст цукрози у сухих речовинах, %) відноситься до дуже складних і енергоємних [10].

Дифузійний сік, крім цукрози, також містить і нецукри. В число розчинних нецукрів входять розчинні білки, амінокислоти, пектинові речовини, слабкі азотисті основи, а також клапті скоагульованого білку та пульпу. Він має кислу реакцію (рН 6,0...6,5), дуже темний, майже чорний колір і сильно піниться. Всі нецукри стримують кристалізацію цукрози, збільшуючи втрати цукру з меласою.

Тому вивчення впливу електрогідролітичного ефекту на дифузійний сік мало за мету покращити його чистоту (доброякісність) та зменшити вміст нецукрів у соці для полегшення подальшого його очищення.

Отриманий з бурякової стружки дифузійний сік піддавали обробленню на експериментальній електрогідролітичній установці в камері розряду (прямий розряд) при напрузі 30 кВ, відстані між електродами 12 мм, та заданою кількістю імпульсів — 1, 2, 3, 4, 5. Як видно із таблиці 2, після 4 імпульсів чистота дифузійного соку покращилась майже на 2%. При більшій кількості імпульсів чистота соку погіршується.

Таблиця 2

Вплив електроіскрового оброблення на основні показники дифузійного соку

Показник	Значення показника, %, при кількості імпульсів					
	1	2	3	4	5	Контроль
Сухі речовини	13,6	13,5	13,4	13,3	13,0	13,6
Цукроза	11,75	11,75	11,75	11,75	11,4	11,75
Чистота	86,5	86,9	87,9	88,46	87,7	86,4

У цукровому виробництві пічне вапно, яке вивантажується із печі, загашується водою, і все те, що не перетворилося під час гасіння у гідроксид кальцію, повинно бути відділене на апаратах очистки вапняного молока від домішок. З домішками відходить велика кількість потенційно активного вапна, яка при порушенні режиму випалу досягає 25% маси всього вапна. Це пов'язане з тим, що під час випалу під час випалу крім активного оксиду кальцію утворюється ціла низка сполук, які

вміщують СаО, але з водою чи зовсім не реагують, або реагують дуже повільно. Це по-перше, недопал — СаСО<sub>3</sub>, по-друге, — вільний, але неактивний оксид кальцію, який при дуже високих температурах випалу (більше ніж 1250°C) перетворився у крупнокристалічний малоактивний СаО, не реагує з водою; та СаО, який ошлакований півками клінкерних матеріалів: силікатів, алюмінатів та феритів оксиду кальцію — 2СаО · SiO<sub>2</sub>; 2СаО · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3СаО · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2СаО · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; СаО · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Карбонат кальцію та клінкерні мінерали, що являють собою комплексні сполуки високотемпературної взаємодії вапна з домішками вапняка та твердого палива, з водою не реагують і відділяються при очистці вапнякового молока. Плівка з клінкерних мінералів заважає доступу води до вапна, але якщо її зруйнувати, наприклад, розтиранням, то вивільнене вапно зможе прореагувати з водою, перетворившись на Са(ОН)<sub>2</sub>. Вільне, але неактивне вапно, також реагує з водою, якщо його подрібнити.

З цього видно, що потенційно активним в пічному вапні є неактивне вільне та вапно, що ошлаковане півками клінкерних матеріалів. Очищення вапняного молока по типовій схемі передбачає подрібнення, чи розтирання вапна, тому все, що не розгасилося відділяється з домішками, утворюючи безповоротні втрати СаО для цукрового виробництва.

Під час оброблення вапняного молока електроіскровими розрядами вільне неактивне вапно та ошлаковане вапно подрібнюється і реагує з водою. За рахунок цього зростає активність вапняного молока. Активність вапнякового молока визначається ацидиметричним методом як відсоткове відношення СаО активного до загального СаО у вапняному молоці [11]

Досліди проводились на суспензії вапняного молока, що була змодельована з хімічно чистого Са(ОН)<sub>2</sub> — пушонки, яка була прокалена в муфельній печі при температурі 920°C протягом 6 годин з додаванням непрокаленої пушонки, частина якої претерпіла рекарбонізацію, тобто перетворилася на СаСО<sub>3</sub>. Таким чином, продукт який загашувався водою, вміщав СаО активний; СаО неактивний; але вільний; гідроксид кальцію та СаСО<sub>3</sub>.

Дані впливу імпульсного електрогідролітичного ефекту на активність вапняного молока зведені в таблицю 3.

Як свідчать дані таблиці 3, за рахунок імпульсного електрогідролітичного ефекту активність вапняного молока зростає на 77,9% порівняно з активністю вихідного вапняного молока. Після оброблення електроіскровими розрядами вапняне молоко стає більш гомогенним, та майже вдвічі менше розшаровується, що свідчить про подрібнення всіх його складових частин.

В процесі подальших досліджень очікується встановлення ще ряду перспективних напрямків застосування електроіскрового оброблення.

Таблиця 3

Вплив електрогідравлічного ефекту на активність вапняного молока

№ дослідн.	Вихідне вапняне молоко				Оброблене вапняне молоко					
	$\gamma$ , 2/см <sup>3</sup>	CaO маси молока заг., %	CaO маси молока акт., %	Активність	Розшарування, % осаду до загального об'єму	$\gamma$ , 2/см <sup>3</sup>	CaO маси молока заг., %	CaO маси молока акт., %	Активність	Розшарування, % осаду до загального об'єму
1	1,080	10,08	7,76	77	54,5	1,080	9,74	8,18	84	95
2	1,085	11,05	9,77	88,4	54,0	1,085	10,18	9,93	97,5	94

ЛІТЕРАТУРА

1. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электрическая эрозия металлов. М., Госэнергоиздат, 1944.  
 2. Покровский Г.И., Станюкович К.П. — Изв. АН СССР, серия физ., 1944, 8, 214.

3. Frungee F. — Optik, 1948, 3, 154.  
 4. Vogel C.B. — Geophysics, 1952, 17.  
 5. Мазов М.В., Мейер Г.Я. — Труды лаборатории аэрометодов АН СССР, 1955, 4, 119 — 122.  
 6. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. М.; Машгиз, 1955.  
 7. Bur. Ships J., 1962, 3, 4.  
 8. Reenan E.V. Marine Sciences Instrument., 3 Proc. 3 Nat. Marine Sci. Sympos. N. Y. Plenum Press, 1956.  
 9. Дослідження змін мікробіологічного забруднення рідких харчових продуктів при електроіскровому обробленні/Василів В.П., Гулий І.С., Українець А.І., Дашковський Ю.О., Олішевський В.В. // Тематичний збірник наукових праць „Обладнання і технології харчових виробництв”, вип. 7, Донецьк — 2002. С. 32 — 35.  
 10. Дослідження впливу електроіскрових розрядів на властивості соків цукрового виробництва / Василів В.П., Гулий І.С., Українець А.І., Хомічак Л.М., Дашковський Ю.О., Олішевський В.В., Слива Ю.В. // — К.: Харчова промисловість, №1, 2001. — С. 41 — 43.  
 11. Инструкция по химико-технологическому контролю и учету сахарного производства. — Киев: ВНИИСП, 1983, — 475с.