

УДК 532.528

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КИСЛОТНОГО КАЗЕЇНУ

Вітенько Т.М. докт. техн. наук, доцент  
Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя  
Гащин О.Р. канд. техн. наук

Тернопільський інститут соціальних та інформаційних технологій, м. Тернопіль

*Обґрунтовано технологічну доцільність та економічну ефективність застосування кавітаційних пристроїв у технології виробництва кислотного казеїну. Встановлено, що застосування кавітаційних пристроїв на стадії розчинення сухого молока дозволяє значно інтенсифікувати даний процес і тим самим збільшити продуктивність технологічної лінії, а промивання казеїну активованою водою дає змогу підвищити сортність готового продукту.*

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, кислотний казеїн, розчинення, промивання.

Інтенсифікація технологічних процесів, підвищення їхньої ефективності і покращення якості готового продукту є одним із перспективних напрямків досліджень. Серед них велике значення мають заходи з удосконалення технологічних процесів харчових виробництв, зокрема молочної промисловості. Особливе місце серед молочної продукції займає технічний казеїн, як один із основних експортоорієнтованих товарів України.

Залежно від способу виробництва, казеїн технічний поділяють на два види: казеїн технічний кислотний і казеїн технічний ферментний. При виробництві технічного казеїну, підприємства молочної промисловості керуються Державним стандартом ДСТУ 4639:2006 [1] щодо якості готового продукту. Відповідно до цього стандарту у технології виробництва кислотного казеїну важливими є такі фактори: продуктивність технологічної лінії; якість (а відповідно і сортність готового продукту); безпечність для навколишнього середовища.

Виробництво технічного казеїну складається з багатьох технологічних операцій, кожна з яких суттєво впливає на якість готового продукту. Однією з найважливіших умов виготовлення казеїну високої якості є належне сепарування молока та отримання знежиреного молока з низьким вмістом жиру. Наступним важливим етапом є процес коагуляції. Він здійснює вагомий вплив не тільки на якість кінцевого продукту, а й на економію сировини [1]. Значний вплив на якість готового продукту здійснює процес промивання. Під час промивання казеїну-сирцю з нього вилучають такі домішки, як молочний цукор, молочну кислоту, розчинені у воді солі, що знижують якість казеїну (особливо технічного). Важливим є те, що вода для промивання повинна відповідати ГОСТ 2874-82. Оскільки ретельно промитий казеїн має нижчу кислотність, меншу кількість золи, довше не піддається псуванню. Ці фактори є важливими для отримання додаткового прибутку за рахунок підвищення якості і сортності готового продукту.

На основі аналізу технології виробництва гранульованого кислотного казеїну, на підприємстві ЗАТ “Тернопільський молокозавод” було виявлено такі недоліки:

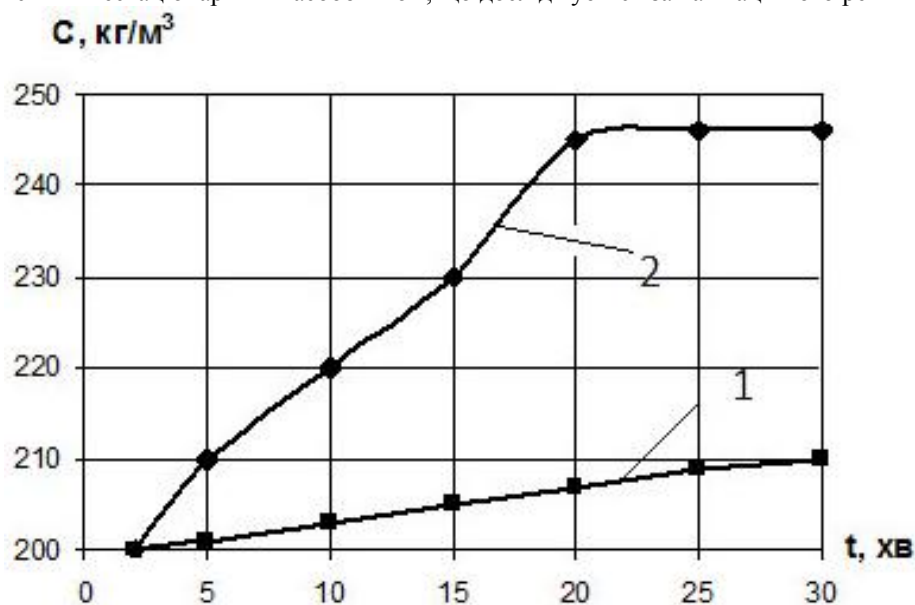
- 1) значні затрати часу на розчинення сухого молока (близько 3-х годин);
- 2) осаджений білок промивають два рази, та через високу кислотність і зольність, отримують казеїн I-го і II-го сортів;
- 3) після промивання казеїну отримують стічні води підвищеної кислотності.

Результати попередніх досліджень засвідчили доцільність застосування гідродинамічних кавітаційних пристроїв у технології кислотного казеїну [2]. Водночас, необхідно зазначити, що доцільність запропонованого методу інтенсифікації технологічного процесу повинна підтверджуватись і техніко-економічними показниками.

Тому, метою даної роботи було обґрунтування ефективності застосування кавітаційних пристроїв у технології виготовлення кислотного казеїну.

Відповідно до розроблених технологічних заходів з використання кавітаційних модулів було запропоновано застосування кавітації на стадіях розчинення сухого молока і промивання казеїну. Порівняння результатів експериментальних досліджень з базовою технологією наведено на рис. 1. З рисунка видно, що застосування кавітаційного модуля дає змогу скоротити процес розчинення сухого молока до 20

хвилин, саме тоді досягається концентрація насичення ( $C=246 \text{ кг/м}^3$ ). Інтенсифікацію процесу розчинення можна пояснити нестационарним масообміном, що досліджується за кавітаційного режиму [3].



1 – базова технологія; 2 – розчинення з використанням кавітаційного модуля

**Рис. 1 - Зміна з часом концентрації сухого молока в рідкій фазі**

З іншого боку, були отримані позитивні результати щодо застосування кавітаційного модуля у процесі промивання казеїну активованою водою. У таблиці 1 подано результати зміни якісних показників води після 5-ти хвилинного оброблення у гідродинамічному кавітаційному модулі динамічного типу.

**Таблиця 1 – Якісні показники води**

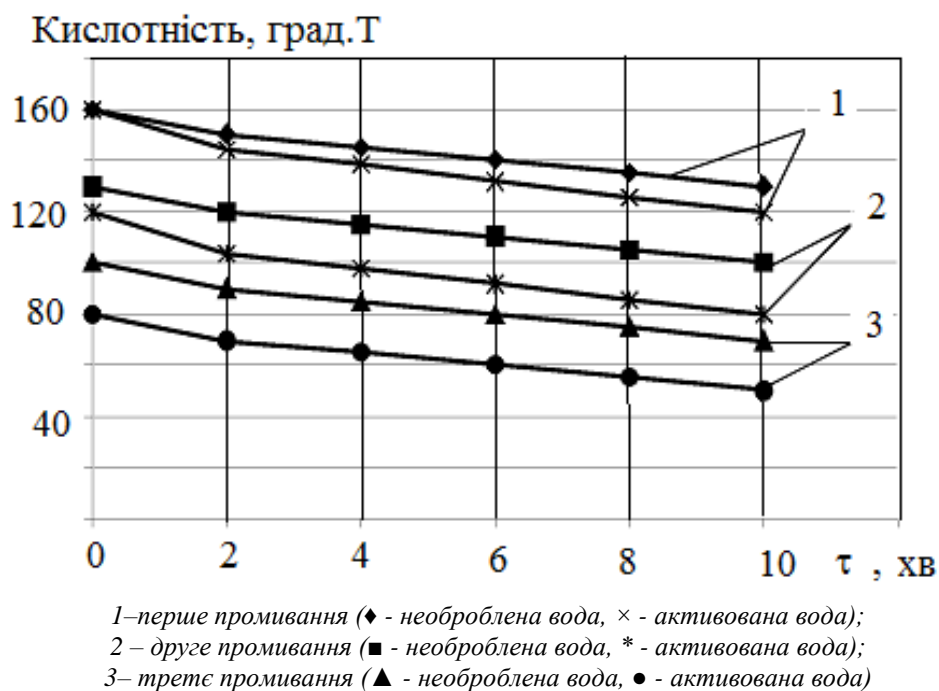
Вода	Лужність загальна, мг/дм <sup>3</sup>	Окисненність, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Вміст заліза, мг/дм <sup>3</sup>	Загальна твердість, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Мікробне число, ос/см <sup>3</sup>	pH
Водогінна	5,7	1,76	0,359	6,65	3·10 <sup>3</sup>	7,24
Активована	5,6	1,76	0,359	3,5	10 <sup>3</sup>	8,28

Як видно з таблиці, внаслідок оброблення води в гідродинамічному кавітаційному модулі зменшується загальна твердість, мікробне число, а pH змінюється в лужний бік.

На виробництві осаджений білок промивають два рази, в результаті отримують казеїн з вільною кислотністю 70 – 110% і масовою часткою золи 2,8 – 3,2%. Ці показники відповідають казеїну I-го та II-го сортів. Результати експериментальних досліджень щодо зміни титрованої кислотності казеїну з часом під час промивання водогінною й активованою водою, засвідчили позитивний вплив активованої води на процес промивання. На рис.2 наведено результати досліджень зміни титрованої кислотності казеїну з часом під час триразового промивання.

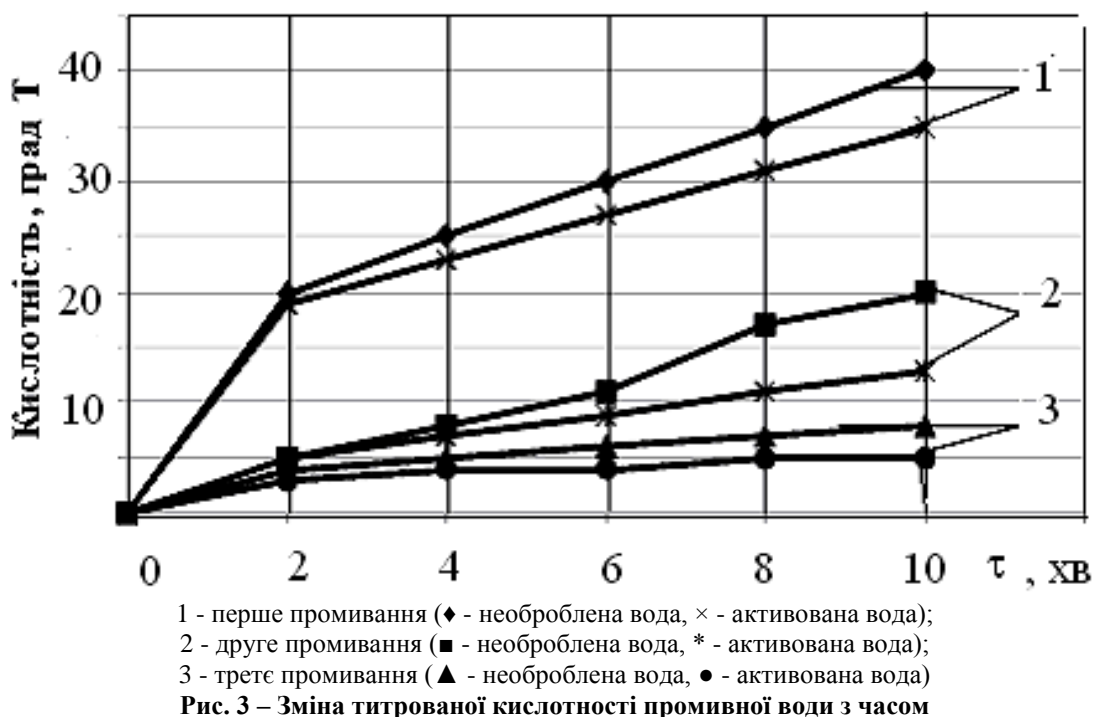
З графічних залежностей видно, що титрована кислотність казеїну під час першого промивання водогінною водою змінюється від 160 до 130°Т, за умови використання активованої води – від 160 до 120°Т. Позначеннями ■ і \* зображено зміну титрованої кислотності казеїну з часом під час другого промивання. Встановлено, що титрована кислотність казеїну за умови використання водогінної води змінюється від 130°Т до 100°Т, а під час промивання водою, попередньо обробленою у кавітаційному модулі – від 120°Т до 80°Т. Відповідно, позначеннями ▲ і ● зображено зміну титрованої кислотності казеїну з часом під час третього промивання. Спостерігається зміна титрованої кислотності від 100°Т до 70°Т за умови використання необробленої води і від 80°Т до 50°Т за умови промивання активованою водою. Отже кислотність готового продукту зменшується на 20°Т (з 70 до 50°Т). Разом з цими змінами під час промивання казеїну активованою водою, досліджується зменшення зольності готового продукту на 0,3% (з 2,8 до 2,5%). Показники жирності не змінюються, оскільки найважливішою умовою виготовлення казеї-

ну з низькою жирністю є правильне сепарування молока і отримання знежиреного молока з низьким вмістом жиру.



**Рис. 2 – Зміна титрованої кислотності казеїну з часом його промивання водою**

Слід зазначити, що застосування активованої в гідродинамічному кавітаційному модулі води дає змогу не лише покращити процес промивання казеїну, але й зменшити кислотність стоків. Результати досліджень щодо зміни титрованої кислотності промивної води зображено на рис. 3. З рисунка видно, що за умови промивання казеїну водою, попередньо обробленою у кавітаційному пристрої, значення титрованої кислотності після кожного промивання зменшується порівняно із промиванням необробленою водогінною водою. Такі результати пояснюються початковим (більш лужним) значенням рН води.



Розглянемо економічні показники запропонованої технології. Для здійснення модернізації необхідні капітальні вкладення у розмірі  $KB=55350$  грн, що враховують вартість обладнання  $45160$  грн. і витрати на монтаж і транспортування  $10190$  грн. Підприємство отримуватиме додатковий прибуток за рахунок підвищення сортності казеїну і збільшення продуктивності технологічної лінії

Додатковий прибуток (за один технологічний цикл) за рахунок підвищення сортності казеїну розраховували за рівнянням:

$$\Delta PP = P \cdot (C_{вищ} - C_I) - (CB_{\delta} + E \cdot t), \quad (1)$$

де  $P$  – кількість казеїну технічного кислотного, що виготовляється за один технологічний цикл,  $P=25$  кг;

$C_{вищ}$  – ціна реалізації казеїну технічного кислотного вищого сорту,  $C_{вищ}=150$  грн/кг;

$C_I$  – ціна реалізації казеїну технічного кислотного I-го сорту,  $C_I=112,5$  грн/кг;

$CB_{\delta}$  – базова собівартість казеїну кислотного технічного, що виготовляється за один технологічний цикл  $CB_{\delta}=680$  грн.

$t$  – тариф на 1 кВт·год електроенергії для підприємств,  $t=0,7015$  грн. (станом на 1.12.2010р.);

$E$  – додаткові витрати електроенергії на перемішування і циркуляцію води через гідродинамічний кавітаційний модуль:

$$E = E_m + E_n,$$

де  $E_m$  – витрати електроенергії на створення кавітаційного режиму  $E_m=33,6$  кВт·год;

$E_n$  – витрати електроенергії на циркуляцію води через гідродинамічний кавітаційний модуль  $E_n=3,75$  кВт·год;

$$E = 33,6 + 3,75 = 37,35 \text{ кВт·год}$$

тоді:

$$\Delta PP = 25 \cdot (150 - 112,5) - (680 + 37,35 \cdot 0,7015) = 231,3 \text{ грн},$$

отже, додатковий прибуток за один технологічний цикл становить  $231,3$  грн.

Враховуючи ці розрахунки можна визначити додатковий прибуток на одиницю продукції (один кілограм казеїну технічного кислотного):

$$\Delta PP_{кг} = \frac{\Delta PP}{P} = \frac{231,3}{25} = 9,3 \text{ грн}.$$

Додатковий річний прибуток за рахунок збільшення продуктивності технологічної лінії розраховуємо за формулою:

$$\Delta PP_p = (P_{р.нр} - P_{р.баз}) \cdot \Delta PP_{кг}, \quad (2)$$

де  $P_{р.нр}$  – річний обсяг реалізації продукції за проектом,  $P_{р.нр}=153000$  кг;

$P_{р.баз}$  – річний обсяг реалізації продукції за фактичними даними підприємства,  $P_{р.баз}=135000$  кг;

$$\Delta PP_p = (153000 - 135000) \cdot 9,3 = 166500 \text{ грн}.$$

За результатами розрахунків було встановлено, що капітальні вкладення окупляться за чотири місяці. Такі економічні показники підтверджують доцільність запровадження розроблених заходів з впровадження кавітаційних модулів у технологію. Слід також зазначити, що зменшення кислотності стоків буде позитивно впливатиме на екологічну ситуацію.

#### Висновки.

Обґрунтовано технологічну доцільність та економічну ефективність застосування кавітаційних модулів у технології виробництва кислотного казеїну. Встановлено, що застосування кавітації дає змогу збільшити продуктивність технологічної лінії і підвищити сортність готового продукту, що у вартісному вираженні становить  $166,5$  тис. грн. додаткового річного прибутку для підприємства.

#### Література

1. Казеїн технічний. Технічні умови: ДСТУ 4639:2006. — [Введ. 2007-01]. К. : Держспоживстандарт України 2007. — 15 с. — (Національний стандарт України).
2. Вітенько Т.М. Дослідження впливу кавітаційної обробки води на якість промивання казеїну / Вітенько Т.М., Гащин О.Р. Вісник національного університету „Львівська політехніка”, 2005. – № 536. С. 201-205.
3. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних хімічних і біологічних процесах. Монографія / Вітенько Т.М. — Тернопіль: Видавництво ТДТУ ім. І Пулюя, 2009. — 224 с.