

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису

УДК 909.198.821.20

БАЖАЛ МАКСИМ ІВАНОВИЧ



"МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРООБРОБКИ БУРЯКОВОЇ СТРУЖКИ
ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ САХАРОЗИ"

Спеціальність 05.18.12-Процеси, машини і агрегати
харчової промисловості

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1995



6-21
51.12
Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українському науковому товаристві харчових технологій.

Наукові керівники - академік УААН, АІН України,
доктор технічних наук, професор
ГУЛИЯ І.С.,
доктор технічних наук, професор
КУПЧИК М.П.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
МАЗУРЕНКО О.Г.

кандидат технічних наук,
ст. наук. співроб.
СЕГАЯ О.М.

Провідна організація - Інститут технічної теплофізики
НАН України, м.Київ

Захист відбудеться "22" 03 "1995 р.о 16 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д068.17.04 Українського
державного університету харчових технологій, аудиторія
А-311, за адресою: 252601, Київ-33, МСП, вул.Володимирська, 68.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці УДУХТ.

Автореферат розіслано "21" 02 1995 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради, кандидат технічних наук, доцент

М.І.Сороколіт

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Підвищення ефективності виробництва продуктів харчування є важливою проблемою державного значення. Особливої гостроти це питання набуває в сучасних умовах, коли необхідно забезпечити екологічну чистоту, економічність, підвищити об'єми виробництва харчових продуктів.

Одним з перспективних напрямків є розробка та впровадження нових електрофізичних методів обробки харчових продуктів.

Так, явище електричного пробоя (ріст провідності та проникливості клітинних мембран у зовнішньому електричному полі) можна використати в технології бурякоцукрового виробництва та інших харчових виробництв, пов'язаних з добуванням корисних компонентів з рослинної сировини, наприклад сахарози, де важливою стадією є плазмоліза клітин рослинної тканини.

Застосування попередньої електрообробки бурякової стружки веде до суттєвого поглиблення плазмолітичних процесів у клітинних мембранах, зміни фізико-хімічних властивостей бурякової тканини і, як наслідок, до значного підвищення ефективності процесу екстрагування цукру з буряку.

Використання математичного моделювання електропробоя клітинних структур та проведення обчислювальних експериментів дозволяє вірогідно встановити та оптимізувати взаємозв'язок між технологічними параметрами електрообробки сировини та фізичними параметрами зовнішнього електричного поля в широкому діапазоні їх зміни.

Тому математичне моделювання електроплазмолізу бурякової тканини та удосконалення на цій основі процесу екстрагування сахарози є актуальним.

Дисертаційна робота виконана у відповідності з планом НДР Українського державного університету харчових технологій по темі: "Розробка електротехнології екстрагування цукру та пектину з рослинної сировини" (Наказ Мінвузу України №78 від 21 березня 1991 р.).

Ступінь дослідженості. Існуючі фізичні моделі не можуть повністю пояснити експериментальні результати по кінетиці протікання електропробоя бурякової тканини. Вони не дозволяють отримати погодження між виміряними та обчисленими параметрами процесу електроплазмолізу, а також пояснити вплив різних фізич-

них характеристик електричних полів на ефективність плазмолізу рослинної сировини. Це стримує удосконалення процесів електрообробки бурякової стружки та екстрагування цукру.

Вирішення зазначених завдань є предметом даного дослідження.

Мета роботи - полягає в математичному моделюванні впливу виду та параметрів електрополів, показників властивостей бурякової сировини на кінетику процесу електроплазмолізу клітинних структур, отриманні рівняння стійкості системи та розробці на цій основі ефективних способів та апаратів для попередньої підготовки бурякової сировини до процесу екстрагування.

Наукова новизна:

- розроблено математичну модель і алгоритм розрахунку еволюції пробов бурякової тканини у зовнішньому електричному полі;
- встановлено фрактальний характер розвитку пробов складних біологічних систем;
- запропоновано та обгрунтовано механізм розвитку пробов в рослинних тканинах; встановлено, що кінетика процесу електроплазмолізу визначається ефектами колективного пробов клітин бурякової тканини в електричному полі та залежить від неоднорідності провідностей клітинних мембран, часу дифузійної міграції води в міжклітинному просторі, ступеню анізотропії тканини, що обробляється, частоти і амплітуди зовнішньої напруги;
- вперше отримано рівняння стійкості систем, що враховує вплив різних факторів на процес електропробов бурякової тканини;
- встановлено і науково обгрунтовано ефективність впливу біполярних електричних імпульсів на процес плазмолізу, визначено їх оптимальні параметри та можливість застосування модуляції біполярно-імпульсної напруги для керування процесом електрообробки.

Практична цінність роботи:

- створено програму розрахунку розвитку пробов в рослинних тканинах, що враховує вплив технологічних параметрів сировини та фізичних характеристик електричного поля на еволюцію процесу;
- запропоновано рівняння для розрахунку амплітудних значень напруги зовнішнього електричного поля;
- пропозиції та висновки, що містяться в роботі, рекомендовано використовувати при розрахунку процесів електропробов та електротехнологічного обладнання для бурякоцукрового виробництва, інших харчових та хімічних виробництва.

Реалізація наукових розробок:

- удосконалено електричну схему блоку живлення електроплазмолізатора, що забезпечує використання біполярних імпульсів для проведення процесу електрообробки бурякової сировини; це дозволяє отримати якісний дифузійний сік, знизити втрати цукру в жомі та зменшити витрати на виробництво цукру;
- випробувано експериментальний зразок електроплазмолізатора барабанного типу на Згурівському цукровому заводі (потужність 1700 т буряку на добу);
- проведено виробничі дослідження дослідно-промислового зразку електроплазмолізатора трубного типу для обробки сокостружкової суміші на Яготинському цукровому заводі (потужність 1800 т буряку на добу).

Апробація роботи. Основні результати роботи докладено та обговорено на засіданнях кафедри технологічного обладнання харчових виробництв в 1991-1994 р.р., НТР ПНДЛ в 1989 - 1994 р.р., Республіканській науково-технічній конференції "Розробка та впровадження високоефективних ресурсозберігаючих технологій, обладнання та нових видів харчових продуктів в харчову та переробну галузі АПК" (Київ, 1991 р.), науковій конференції "Наукове забезпечення зберігання та переробки рослинної сировини в харчовій промисловості" (Москва, 1991 р.), на міжнародній науково-технічній конференції "Розробка та впровадження нових технологій в харчову та переробну галузі АПК" (Київ, 1993 р.), на 11-му міжнародному конгресі по хімічній технології, проектуванню та автоматизації хімічного обладнання "Chisa" (Прага, 1993).

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 13 друкованих робіт і отримано 1 патент.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків.

Роботу викладено на 117 сторінках основного тексту, вона містить 24 малюнки та 3 таблиці. Список використаної літератури складається з 130 вітчизняних та закордонних джерел.

Особистий внесок автора полягає в загальній постановці завдань дослідження електроплазми бурякової стружки; розробці математичної моделі та програми розрахунку еволюції пробою бурякової тканини; проведенні комп'ютерних, лабораторних та виробничих досліджень та аналізу їх результатів; удосконаленні

електричних схем електроплазмолізаторів для бурякової сировини.

Висновки та рекомендації дисертаційної роботи автор одержав самостійно.

Методи досліджень. Вірогідність одержаних результатів, висновків та рекомендацій досягнута застосуванням сучасних фізико-хімічних методів експериментальних досліджень, математичного моделювання, методів математичної фізики при плануванні експериментів і обробці даних та адекватністю результатів модельних і експериментальних досліджень.

Автор висловлює велику вдячність канд. фіз.-мат. наук Лебовці М. І. та доктору хім. наук Манку В. В. за наукові консультації при виконанні роботи.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету і завдання досліджень, наведено інформацію про основні наукові та практичні результати досліджень.

В першому розділі зроблено аналіз літератури по експериментально-теоретичним дослідженням взаємодії електричного поля з клітинними структурами рослинної тканини.

Відзначено, що одним з найбільш перспективних електрофізичних методів обробки бурякової сировини є електроплазма ліз клітинних мембран рослинної тканини, що визначає ефективність наступних технологічних етапів переробки цукрового буряку.

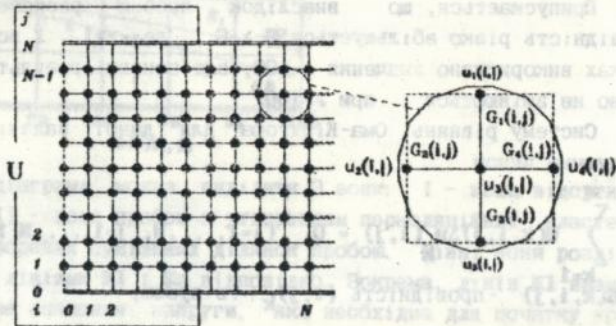
Проведено аналіз стабільності клітинних мембран в електричних полях. Показано, що до електродеструкції біологічних тканин можуть призводити зовсім різні по фізичній природі механізми. Встановлено, що найбільш ефективним в умовах промислового електроплазму біологічної тканини є механізм електропорації.

Сучасний стан теорії електроплазму рослинної тканини не дозволяє визначити оптимальні форми та параметри електричного поля. Тому виникає необхідність проведення значної кількості складних експериментальних досліджень впливу різних видів електричних полів на пробій клітинних структур. В зв'язку з цим є доцільним застосування математичного моделювання для дослідження впливу фізичних параметрів електричного поля на

кінетику та ефективність плазмолізу рослинних тканин.

Другий розділ присвячений розробці математичної моделі електропробов рослинної тканини та алгоритму обчислення еволюції електроплазмолізу клітинних структур.

Бурякова тканина уявляється як неоднорідний матеріал у вигляді двовірної квадратної решітки $N \times N$ вузлів, сполучених резисторами, що моделюють провідність клітинних мембран (мал. 1)



Мал. 1. Схема модельної решітки.

Провідність резисторів задається випадковим чином в інтервалі $G = G_m(1 \pm \Delta G_m/100)$, де G_m - середня провідність резисторів, $\Delta G_m(x)$ - величина дисперсії функції розподілення G , вона характеризує ступінь неоднорідності системи. Ріноманітні початкові конфігурації систем можна задавати різними ініціалізуючими числами N_s для генератора випадкових чисел.

Обчислення здійснювали для достатньо великих решіток 50×50 при виборі однакових значень N_s (для решіток такого розміру розмірні ефекти практично не виявляються). Зовнішня напруга U прикладається між верхнім та нижнім рядками вузлів. Припускається, що пробій окремого резистора відбувається, коли напруга на ньому перевищує деяке критичне значення u_c . Зокрема, умова руйнування резистора, що з'єднує (i, j) -й вузол з будь-яким із сусідніх вузлів $(i, j)_k$ ($k=1, 2, 3, 4$) визначається наступним співвідношенням

$$\Delta u_k(i, j) = |u_k(i, j) - u(i, j)| > u_0 \quad (1)$$

де $\Delta u_k(i, j)$ - абсолютне значення напруги на резисторі, а $u(i, j)$ і $u_k(i, j)$ - потенціали відповідних вузлів - визначаються таким чином, що $u_1(i, j) = u(i, j+1)$, $u_2(i, j) = u(i-1, j)$, $u_3(i, j) = u(i, j-1)$ і $u_4(i, j) = u(i+1, j)$.

Припускається, що внаслідок пробую резистора його провідність різко збільшується $G \rightarrow \lambda G$, де $\lambda \gg 1$. У всіх розрахунках використано значення $\lambda=100$, але основні результати практично не змінюються і при $\lambda > 100$.

Систему рівнянь Ома-Кірхгофа для даної задачі складено слідуючим чином

$$\sum_{k=1}^4 G(k, i, j) \Delta u_k(i, j) = 0 \quad (i=1, \dots, N, j=1, \dots, N-1) \quad (2)$$

де $G(k, i, j)$ - провідність $(i, j)_k$ -го вузла,

при граничних умовах:

$$u(i, 0) = 0, \quad u(i, N) = u \quad (i=0, \dots, N) \quad (3)$$

$$u(0, j) = u(N, j) \quad (j=1, \dots, N-1) \quad (4)$$

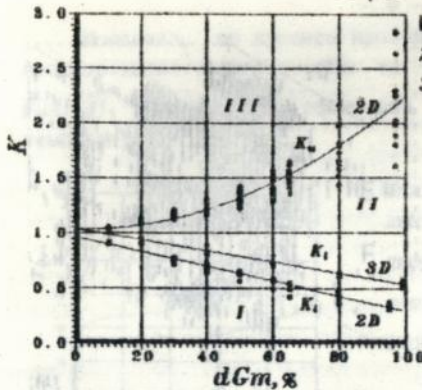
Співвідношення (3) визначають вузлові потенціали на межах решітки, а співвідношення (4) - відповідають періодичним граничним умовам на бічних гранях решітки.

В подальшому зручно використовувати нормовану напругу, яка визначається як коефіцієнт напруги

$$K = U / (N \cdot u_c) \quad (5)$$

Кинетика процесу пробую досліджена шляхом ітераційного рішення системи рівнянь (2) з добором відповідних початкових умов пробую. Після перевірки умови пробую обчислювали нові значення напруг на кожному елементі і т.д. Для покращення збіжності ітераційної процедури було використано метод нижньої релаксації з емпіричним добором відповідного коефіцієнту.

Відзначено, що умови виникнення та особливості протікання процесу пробую визначаються співвідношенням параметрів приведеної напруги K та параметру неоднорідності dG_m . На мал. 2 зображено діаграму пробую модельної решітки 50×50 в площині $K-dG_m$. Точками позначено розподілення меж фазових зон при 10 різних початкових конфігураціях.



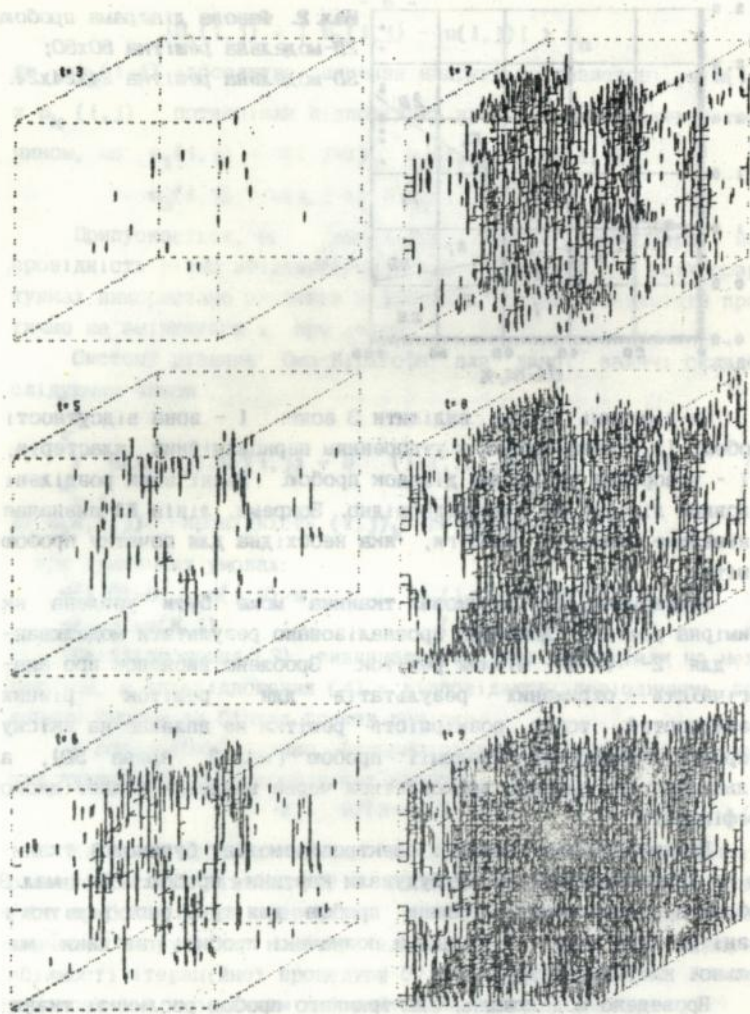
Мал. 2. Фазова діаграма пробую.
2D-модельна решітка 50x50;
3D-модельна решітка 24x24x24.

На діаграмі можна виділити 3 зони: I - зона відсутності пробую; II - зона пробую з утворенням перколяційних кластерів; III - утворення суцільних ділянок пробую. Різні зони розділені межовими лініями K_1 і K_2 відповідно. Зокрема, лінія K_1 визначає мінімальне значення напруги, яка необхідна для початку пробую решітки.

Відзначено, що бурякова тканина може бути уявлена як тримірна решітка. Докладно проаналізовано результати моделювання для 2- та 3-мірних решіток. Зроблено висновок про аналогічність отриманих результатів для решіток різних розмірностей, тобто розмірність решітки не впливає на якісну сторону залежностей еволюції пробую (мал. 2, крива 3D), а кількісно ця різниця враховується через введення відповідного коефіцієнту.

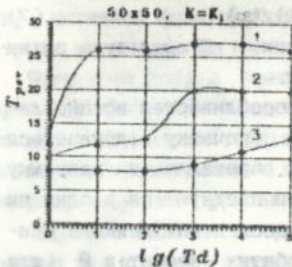
При розрахунку еволюції електроплазмолізу бурякової тканини по наведеному алгоритму будували картини пробую. На мал. 3 зображені характерні картини пробую для тримірної решітки в різні моменти часу. Відрізками позначені пробиті зв'язки модельної клітинної структури.

Проведено моделювання електричного пробую рослинної тканини з урахуванням процесів дифузійної міграції вологи. Припускається, що при пробую якого-небудь зв'язку електропровідність сусідніх елементів починає змінюватись з часом: $\sigma = \sigma_0(1 + t/T_d)$. Дифузійна зміна електропровідності характеризується сталою часу T_d .



Мод. 3. Характерні картини пробов для моделі решітки $24 \times 24 \times 24$, $dGt=50\%$, $K=K_1$.

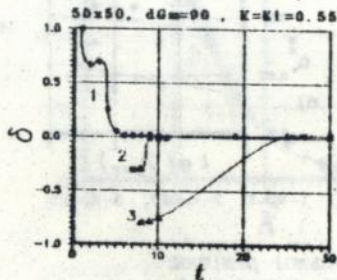
Показано, що процеси пробую системи визначаються ступенем неоднорідності системи dGm та часом дифузійної міграції T_d (мал. 4), яка найбільш ефективно відбувається при підвищеній температурі.



Мал. 4. Залежність часу перекладання $T_{рег}$ від часу протікання дифузійних процесів T_d для решітки 50x50, $K=K_1$:

1- $dGm=90\%$, 2- $dGm=50\%$, 3- $dGm=10\%$.

Досліджено умови електроплазмовіау неоднорідних систем, що мають анізотропні властивості. Розмірна анізотропія кластерів пробую визначається як $\delta = (\delta_x - \delta_y) / (\delta_x + \delta_y)$, де δ_x і δ_y - розмір кластеру поперек та вздовж електричного поля відповідно. Показано, що дія анізотропного механізму веде до суттєвої залежності структури, фрактальних властивостей та кінетики пробую від параметру анізотропії напруги пробую $\alpha = \Delta u_c / u_c$, де Δu_c - критична напруга пробую резисторів, орієнтованих вздовж електричного поля. При деякому критичному значенні $\alpha=2$ структура кластерів пробую наближається до ізотропної і спостерігається перехід від додатньої (кластери витягнуті перпендикулярно до поля) до від'ємної (кластери витягнуті вздовж поля) анізотропії (мал. 5).



Мал. 5. Кінетика анізотропії кластерів пробую для систем з різним ступенем анізотропії пробую α для решіток 50x50, $dGm=90\%$, $K=K_1$: 1- $\alpha=2.0$, 2- $\alpha=2$, 3- $\alpha=0.5$

У третьому розділі наведено результати моделювання електропробу в нестационарних умовах. Досліджено прості випадки лінійної та циклічної зміни коефіцієнту напруги

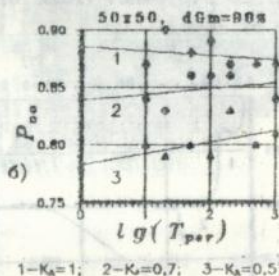
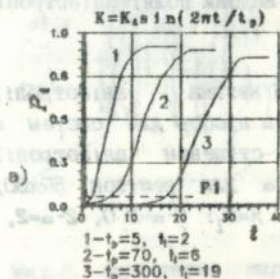
$$K = K_0 + (t-1)/t_p \text{ при } K < 1 \quad (6)$$

$$K = K_0 + \Delta K \sin(2\pi(t-1)/t_p) \quad (7)$$

де K_0 - середнє значення коефіцієнту напруги, ΔK - амплітуда зміни значення K , а t_p - період зміни потенціалу.

В результаті досліджень кінетичних особливостей встановлено, що пробій є двостадійним процесом. Спочатку відбувається накопичення окремих елементів, пробитих переважно в напрямку поля (пасивна фаза пробую). Ці елементи з'єднуються в один чи декілька ініціалізуючих кластерів. При досягненні деякого критичного значення відносної кількості пробитих елементів P (для системи 50×50 $P = P_0 - N_b/N_t = 0.02 - 0.03$, де N_b - кількість пробитих і N_t - загальна кількість елементів) починається лавиноподібне протікання пробую (активна фаза пробую) і спостерігається різкий ріст P (мал. 6а). У заключній фазі пробую відбувається поступове збільшення ступеня пробую, причому максимальне його значення не перевищує $P = 0.9$.

Залежності ступеня руйнування системи на заключному етапі P_{00} від t_p при різних ΔK наведені на мал. 6б. Величина P_{00} визначається значеннями ΔK і t_p . Характер залежності ступеня руйнування від амплітуди та частоти можна зрозуміти, враховуючи, що при великих частоті і напрузі в початкові моменти часу (тобто при практично імпульсному виді електричного поля) утворюєть-



Мал. 6. Ступінь пробую P модельної решітки:

- а) еволюція ступеня пробую;
- б) кінцевий ступінь пробую P_{00} ;

ся велика кількість одиночних пробитих елементів, які визначають кінцеву картину пробую. В "низькочастотній" зоні ступінь руйнування менше залежить від амплітуди напруги. Швидкість зростання напруги при даних умовах визначає тільки момент початку активної фази пробую і практично не впливає на геометрію ростучих кластерів та еволюцію пробую.

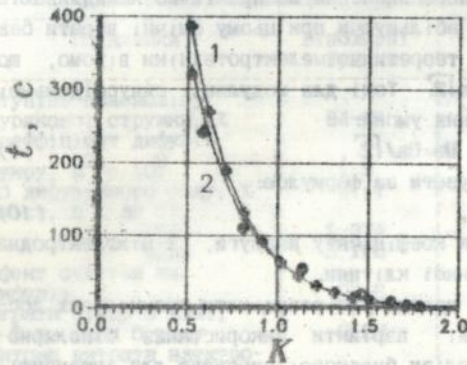
Четвертий розділ присвячено експериментальній перевірці запропонованих математичних моделей електроплазмовлізу рослинної сировини. Визначено ступінь електроплазмовлізу клітин бурякової тканини електрометричним методом, заснованим на вимірюванні електропровідності речовини, що оброблюється.

Отримано залежності зміни часу електрообробки бурякової сировини від різних значень коефіцієнту напруги K (мал. 7, крива 1). Встановлено, що зміна часу електрообробки бурякової стружки t від K (стійкість системи) описується рівнянням одного виду як для експериментальних даних, так і для даних, отриманих при математичному моделюванні:

$$t = A \exp(-B * K) \quad (8)$$

Для експериментальної залежності значення сталих A і B складають при коефіцієнті кореляції $R_{\text{в}}=98.7\%$: $A=2491$, $B=3.51$.

Для модельної залежності $t(K)$ при $R_{\text{м}}=90\%$ (мал. 7, крива 2) значення A і B в рівнянні (8) становлять при коефіцієнті кореляції $R_{\text{в}}=99.1\%$: $A_{\text{м}}=2479$, $B_{\text{м}}=3.58$.

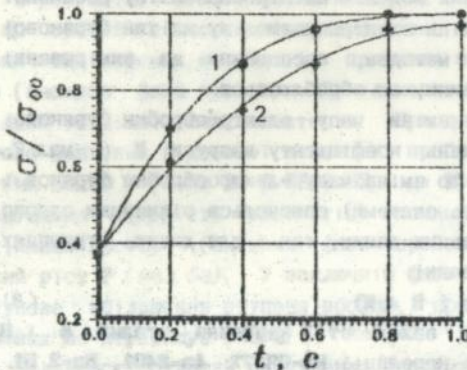


Мал. 7. Залежність часу електроплазмовлізу бурякової стружки від коефіцієнту напруги зовнішнього поля: 1- модельні дані; 2-експериментальні дані.

Максимальна флуктуація значень t для модельної залежності відносно експериментальних даних складає $F_{\text{м}}/\bar{z}=19.8\%$. Відносна

похибка дослідного визначення t становить $n=20\%$. Тоді $F_{m/2} < n$.
Значить, модельні рівняння добре погоджуються з даними експерименту. Це свідчить про адекватність розробленої математичної моделі існуючій системі і процесам, що в ній відбуваються.

На основі аналізу результатів модельних та експериментальних досліджень зроблено висновок про перевагу при електрообробці біполярно-імпульсного виду електричного поля порівняно зі змінною напругою (маг. 8).



Мал. 8 Кінетика відносної електропровідності бурякової сировини: 1-біполярно-імпульсний електроплазмоліз; 2-електроплазмоліз у змінному полі. $E=200$ В/см.

Значення відсікання (початок зростання та кінець зменшення) імпульсної напруги U_0 при модуляції синусоїдальної напруги визначається тим фактором, що, за даними експериментів, величини напруг нижче ефективного значення U_a практично не впливають на кінетику плазмолізу, збільшуючи при цьому омичні втрати без ефективною віддачі. З теоретичної електротехніки відомо, що амплітудне значення $U_a = U_0 \sqrt{2}$. Тоді для модуляції синусоїдальної напруги необхідне виконання умов:

$$U_0 = U_a; \quad U_0 = U_a / \sqrt{2}, \quad (9)$$

значення U_a можна розрахувати за формулою:

$$U_a = K_a \cdot U_0 \cdot l / d, \quad (10)$$

де K_a - амплітудне значення коефіцієнту напруги, l - міжелектродна відстань, d - розмір рослинної клітини.

У п'ятому розділі наводяться результати промислових досліджень та запропоновані варіанти використання біполярно-імпульсного електроплазмолізу бурякової сировини для інтенсифікації процесу екстрагування сахарози в похилих та колонних дифузійних апаратах.

Для створення біполярно-імпульсної послідовності при електрообробці бурякової стружки в промислових умовах розроблено блок живлення електроплазмолізатора.

Амплітудне значення зовнішнього електричного поля, що прикладається до бурякової стружки, визначається залежністю (10).

За умовою безперервної роботи барабанного електроплазмолізатора необхідно приймати значення міжелектродної відстані $l=5$ см., $Ka=2$ (мал. 7). Тоді значення Ua біполярно-імпульсної напруги складе: $Ua=2 \cdot 0,25 \cdot 5 \cdot 10^{-2} / (50 \cdot 10^{-6}) = 500$ В. Цим умовам задовольняють створений блок живлення та безперервнодіючий апарат барабанного типу для електрообробки бурякової стружки.

Барабанний електроплазмолізатор було змонтовано та випробувано на технологічній лінії Згурівського цукрового заводу. Апаратурно-технологічна схема передбачає подання бурякової стружки транспортером з бурякорізок у прийомну камеру електроплазмолізатора, звідки вона переміщується барабаном, що обертається, по простору між нерухомою електродною поверхнею і заземленим барабаном. Проходячи через електричне поле, бурякова стружка плазмолізується і подається у вихідну частину електроплазмолізатора, звідки потрапляє у дифузійний апарат.

В таблиці 1 наведені результати порівняльних випробувань різних способів електроплазмолізу бурякової стружки.

Таблиця 1.

Порівняльні показники роботи дифузії з різними видами електроплазмолізу бурякової сировини.

| Показники | Біполярні імпульси | Змінне поле | Без електрообробки |
|---|--------------------|-------------|--------------------|
| Ступінь плазмолізу бурякової стружки, % | 84-85 | 75-80 | 40-45 |
| Коефіцієнт дифузії цукру, $m^2/c \cdot 10^9$ | 1,2 | 1,0 | 0,68 |
| До дифузійного соку, % | 87,1 | 87,2 | 86,2 |
| Вміст, в % до СР: | | | |
| РКД | 1,974 | 1,970 | 3,899 |
| золи | 3,120 | 3,022 | 4,061 |
| Ефект очистки на дифузії, % | 22,6 | 22,8 | 14,6 |
| Втрати цукру в жомі, в % до маси буряку | 0,28 | 0,32 | 0,42 |
| Питома витрата електроенергії, кВтгод/т буряку | 1,8 | 2,0 | --- |
| Витрати електроенергії на технологіч. потреби в дифузійному, сокоочисному і вапняно-газовому відділеннях, кВтгод/т б. | 25,7 | 25,0 | 25,8 |

Апарат для електроплазмолізу сокостружкової суміші в колонних екстракторах складається з циліндричного діелектричного корпусу, трьох груп рівновисоких трапецієдальних радіальних електродів, рівномірно і симетрично розташованих по внутрішньому периметру корпусу та двох фланців для з'єднання з існуючим трубопроводом сокостружкової суміші. Електроди виготовлені з нержавіючої сталі.

Електрична схема забезпечує надходження біполярного імпульсного струму на електроди. Враховуючи, що сокостружкова суміш має високу електропровідність, використання біполярних імпульсів може значно скоротити омичні втрати за рахунок меншого діючого значення напруги порівняно з синусоїдальним струмом. Електрична схема містить блок живлення з приладами контролю і сигналізації, завдяки якому здійснюється плавне регулювання напруги частотой 50 Гц в межах 0-380 В при значенні струму 0-250 А.

Сокостружкова суміш насосом подається в електроплазмолізатор, де вона обробляється електричним полем. Далі плазмолізована сокостружкова суміш надходить в колонний дифузійний апарат.

Промислові випробування проводили на Яготинському цукровому заводі наступним чином: 5 діб - без електрообробки, температура сокостружкової суміші 70°C, 5 діб - з електрообробкою, температура суміші 70°C. Результати випробувань наведені в таб. 2.

Таблиця 2.

Порівняльні показники обробки сокостружкової суміші.

| Показники | Теплова обробка | Теплова і електрична обробка |
|---|-----------------|------------------------------|
| Ступінь плазмолізу стружки, % | 60-70 | 85 |
| Втрати цукру в жомі, % до маси жому | 0,6 | 0,5 |
| Приріст доброякісності дифузійного соку | -- | 1,4 |

Отримані результати не погіршуються при зниженні температури сокостружкової суміші на 5-10°C. Втрати цукру в жомі при цьому залишаються в межах норми, невраховані втрати не збільшуються.

Таким чином, біполярно-імпульсний електроплазмоліз бурякової сировини дає можливість значно підвищити ефективність бурякоцукрового виробництва.

Виходячи з аналізу впливу складових біполярно-імпульсного електричного потенціалу на технологічні параметри обробки буря-

кової тканини визначено можливу форму модульованої напруги та запропоновано структуру простої мікропроцесорної системи керування процесом електроплазмолізу.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На основі аналізу теоретичних та експериментальних досліджень стійкості клітинних мембран в електричних полях встановлено, що електропорація є найбільш імовірним механізмом електропробом мембранних оболонок.

2. Розроблено математичну модель, алгоритм і програму розрахунку еволюції електроплазмолізу рослинної тканини, що дозволяє вірогідно визначати найраціональніші варіанти і параметри електрообробки бурякової сировини.

3. Доведено, що кінетика процесу електроплазмолізу бурякової сировини визначається колективними ефектами розвитку пробом клітин біологічної тканини в електричному полі.

4. Показано, що процеси електричного пробом системи біологічних клітин в умовах дифузійної міграції вологи визначаються ступенем неоднорідності системи $d_{\text{вм}}$ і часом дифузійної міграції T_d . При посиленні дифузійних процесів чи збільшенні $d_{\text{вм}}$ стабільність системи зменшується, а загальний час електрообробки зростає.

5. Встановлено, що тривалість і ступінь електроплазмолізу бурякової тканини визначаються якістю продукту, амплітудою та частотою зовнішнього електричного поля. Еволюція електроплазмолізу бурякової сировини характеризується двома часовими параметрами: часом протікання пасивної фази (часом запізнення) пробом та часом протікання активної фази пробом. Індукційний період пасивної фази пробом яскраво виявлений для сильно неоднорідних систем. Збільшення швидкості наростання потенціалу та його амплітуди прискорює початок активної фази пробом і підвищує ефективність плазмолізу.

6. Показано, що анізотропні властивості бурякової тканини визначають залежність структури та кінетики електроплазмолізу від параметру анізотропії напруги пробом.

7. На основі проведених досліджень запропоновано рівняння стійкості системи клітинних структур, що описують залежність часу електрообробки від параметрів проведення процесу.

8. Теоретично і експериментально доведено, що найефективніше впливає на плазмоліз бурякової тканини біполяр-

но-імпульсний вид електричного поля.

9. Запропоновано рівняння для розрахунку оптимальної напруги електрообробки бурякової сировини.

10. Удосконалено електричну схему блоку живлення електроплазмолізатора, що забезпечує подання на електроди біполярних імпульсів необхідних характеристик; біполярно-імпульсний електроплазмоліз бурякової сировини дозволяє знизити втрати цукру в жомі на 0,1-0,14% до маси буряку та зменшити енерговитрати на 0,5-1,0 кВтгод на тону буряку порівняно з типовою технологічною схемою.

11. Обґрунтовано можливість гнучкого керування процесом електроплазмолізу бурякової сировини завдяки використанню мікропроцесорної системи контролю і регулювання біполярно-імпульсної дії.

12. Передбачуваний економічний ефект від впровадження способу попередньої біполярно-імпульсної електрообробки бурякової сировини становить 38,6 млн. крб. (за цінами 1992 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Купчик М. П., Важал М. И., Гулый И. С., Лебовка Н. И., Манк В. В., "Моделирование процессов электрообработки свекловичной ткани. Известия ВУЗов, пищевая технология, 1990, N 4, с. 56-58.
2. Лебовка Н. И., Манк В. В., Купчик М. П., Важал М. И., Гулый И. С. Электрическая энергия сферической оболочки конечной толщины в проводящей среде. //Электронная обработка материалов. - 1991 - N1(157). - С. 35-38.
3. Важал М. И., Гулый И. С., Купчик М. П., Лебовка Н. И., Манк В. В. Моделирование процессов разрушения биологической ткани при наличии процессов диффузионной миграции влаги. //Электронная обработка материалов. - 1992. - N2. - С. 61-66.
4. Лебовка Н. И., Манк В. В., Купчик М. П., Важал М. И., Гулый И. С. Моделирование электрического пробоя неоднородных систем в нестационарных полях. //Электронная обработка материалов. - 1992 - N4. С. 56-62.
5. Лебовка Н. И., Манк В. В., Купчик М. П., Гулый И. С., Важал М. И. Моделирование пробоя неоднородных систем под действием циклических электронагрузок. //Электронная обработка материалов. - 1993. - N1. - С. 66-73.

6. Лебовка Н. И., Манк В. В., Овчаренко Ф. Д., Купчик М. П., Гулий И. С., Бажал М. И. Структура и фрактальные свойства конфигураций пробоя при электрическом разрушении анизотропных систем // Доп. АН України. - 1993. - № 5. - С. 125-129.
7. Гулий И. С., Лебовка Н. И., Манк В. В., Купчик М. П., Бажал М. И., Матвиенко А. В., Папченко А. Я. Научные и практические принципы электрической обработки пищевых продуктов и материалов. // УкрИНТЭИ. - 1994. - 60 с.
8. Бажал М. И., Гулий И. С., Купчик М. П., Лебовка Н. И. Математическое моделирование процесса электроплазмойлиза растительного сырья. // Республ. науч.-техн. конф. "Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающие отрасли АПК": Тез. докл. - Киев, 1991, с. 53-54.
9. Купчик М. П., Матвиенко А. В., Войко А. В., Тоткайло М. А., Бажал М. И. Опыт эксплуатации промышленных электромембранных установок для подготовки воды в лектиновом производстве. // 3-й научно-технический семинар "Электротехнология пектиновых веществ": Тез. докл. - Киев. - 1992. - С. 24.
10. Бажал М. И., Купчик М. П. Электрообработка свекловичного сырья и ее моделирование. // Научная конференция "Научное обеспечение хранения и переработки растительного сырья в пищевой промышленности": Тезисы докл. - Москва. - 1991.
11. Бажал М. И., Гулий И. С., Купчик М. П., Лебовка М. И., Манк В. В. Математичне моделювання електроплазмойлізу анізотропноі бурякової сировини // Міжнародна науково-технічна конференція "Розробка та впровадження нових технологій та обладнання у харчову та переробні галузі АПК": Тези доп. - Київ - 1993. - С. 43-44.
12. Bazhal M. I., Kupchik M. P., Guliy I. S. Electrical treatment of beetroot stuff. Mathematical modelling. // 11th International Congress of Chemical Engineering, Chemical Equipment Design and Automation, CHISA'93. - Pragua. - 1993. - P. 24.
13. Патент N 2992, Україна. Електроплазмойлізатор для сокостружкової суміші. / Купчик М. П., Гулий І. С., Бажал М. І. та ін. - 29.04.1994 р.

АННОТАЦИЯ

Бажал М. И. Математическое моделирование электрообработки свекловичной стружки и совершенствование процесса экстрагирования сахарозы.

Рукопись диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - процессы, машины и агрегаты пищевых производств., Украинский государственный университет пищевых технологий, Киев, 1995.

Защищается диссертация, в которой содержатся результаты теоретических и экспериментальных исследований электрообработки свекловичной ткани. Разработана адекватная математическая модель процесса электроплазмоллиза свекловичной ткани. Доказано, что наиболее эффективно на плазмоллиз свекловичного сырья влияет биполярно-импульсный вид электрического поля. Осуществлено промышленное внедрение предложенного способа биполярно-импульсного электроплазмоллиза свекловичной стружки, приводятся сравнительные данные о его эффективности.

Ключові слова: електроплазмоліз, кластер, бурякова стружка.

ANNOTATION

Bazhal M. I. Mathematical modelling of the electrical treatment of the beetroot stuff and the improving of the process of extragation of sugar.

Manuscript of thesis for candidate's degree of technical science on speciality 05.18.12 - processes, machines and agrigats of food productions, Ukrainian state university of food technologies, Kiev, 1995.

The defended thesis contains results of theoretical and experimental research of electrical treatment of beetroot stuff. Mathematical model of the process of electroplasmolisation of beetroot tissue is worked out. It has proved, that bipolar-impulsive kind of electric field takes the most effective influence on plasmolisation of beetroot stuff. Industrial tests of the proposed method of bipolar-impulsive electroplasmolisation of beetroot stuff have been performed, comparative datas of its effectiveness are given.

Key words: electroplasmolisation, cluster, beetroot stuff.

LIBRARY OF THE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF
FOOD TECHNOLOGIES

КПН.07.02.95.Зам.68-100.

AB 32.023