

# Продовольча індустрія

*Від лану до столу*

**Рибний асортимент  
збагатять фаршеві  
вироби**

(стор.21)

**Пивом з ячменю, але  
без хмелю смакували  
прапращури, -**

**запевняли, надалі  
аби зберегти**

(стор.42)

**№5-6  
2010**

# Моделювання процесу замісу рідких опар

О. Чепелюк, О. Чепелюк, кандидати техн. наук,  
М. Шпак, В. Цветкова  
Національний університет харчових технологій

**Анотація.** Наведено результати моделювання процесу змішування компонентів під час приготування рідких опар, який здійснюється з використанням енергії потоків повітря і води під тиском. Визначено раціональні значення швидкостей подачі компонентів, досліджено дисипацію енергії в апараті.

**Ключові слова:** моделювання, заміс, рідка опара, швидкість подачі, дисипація енергії.

**Abstract.** The modelling results of ingredient mixing process during liquid sponge preparation has been presented. Rational values of ingredients advance speed are defined, energy dissipation is investigated.

**Key words:** modelling, mixing, liquid sponge, advance speed, energy dissipation.

При розробці нових технологій і обладнання доцільно створювати відповідні математичні моделі і використовувати можливості обчислювальної техніки. Обчислення, проведені з їх допомогою, забезпечують скорочення витрат часу і матеріальних ресурсів, які були б потрібні для проведення експериментів на фізичній моделі. Водночас одержані результати слід порівнювати з даними фізичного моделювання і при необхідності вносити корективи до математичної моделі, оскільки всі особливості реальних процесів, що відбуваються у таких складних системах як харчові продукти і напівфабрикати, врахувати неможливо.

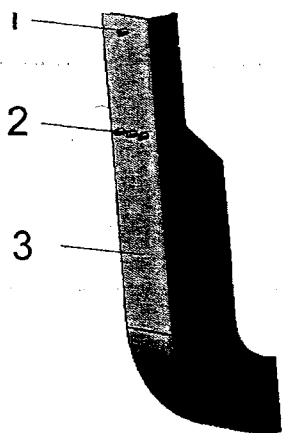
Серед традиційних двофазних способів приготування пшеничного тіста зараз найчастіше в якості першої фази використовують густі опари. Схеми з рідкими опарами не знайшли широкого застосування у промисловості України через ряд притаманних їм недоліків [1]. У Європі запатентовано і впроваджено у виробництво агрегати для приготування рідких опар, істотною особливістю яких є перехід від традиційних

місильних органів тістомісильних машин до використання енергії стисненого повітря і води під тиском [2]. Однак вартість такого устаткування непосильна для хлібопекарських підприємств України, тому існує потреба розробити аналогічні вітчизняні конструкції і обґрунтувати раціональні режими їх роботи.

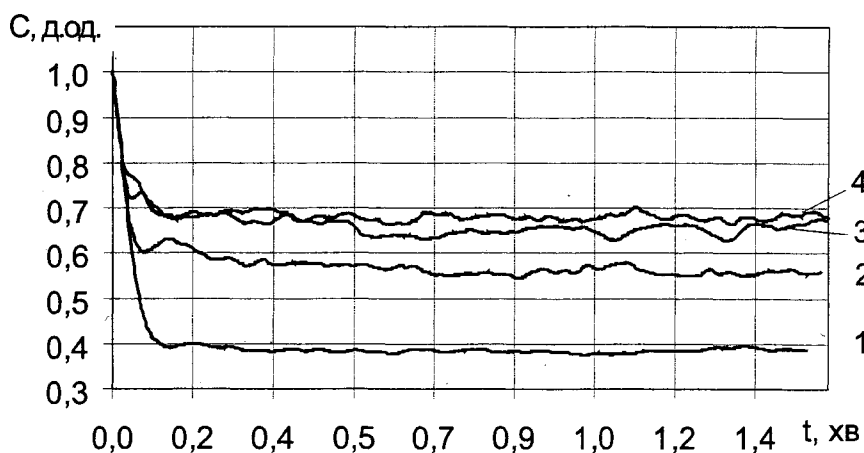
**Основою способу приготування опар, що розглядається, є зволоження пиловидних часточок борошна, які перебувають у завислому стані, струменем рідини під тиском. Об'єкт досліджень – процес змішування компонентів під час приготування рідких опар, предмет досліджень – режими замісу.**

Дослідження виконано методом математичного моделювання з використанням програмного комплексу FlowVision, який ґрунтується на кінцево-об'ємному методі розв'язання рівнянь гідродинаміки й використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подібненням. При цьому виконується дискретиза-

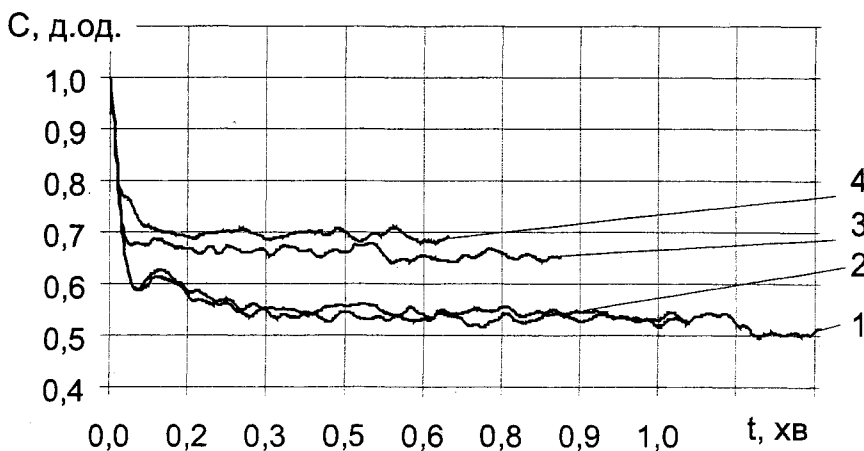




**Рис. 1. Геометрична модель установки для приготування рідкої опари**  
 1- патрубок для подачі повітря; 2- патрубок для подачі рідких компонентів; 3 - камера змішування.



**Рис. 2. Зміна концентрації борошна в часі при швидкостях його подачі**  
 1-2 м/с; 2-4 м/с; 3-6 м/с; 4-8 м/с;



**Рис. 3. Зміна концентрації сипких компонентів в часі при швидкостях подачі води**  
 1-41,5 м/с; 2-55 м/с; 3-69,5 м/с; 4-83,5 м/с;

ція записаних в інтегродиференційній формі законів збереження маси, імпульсу, енергії по поверхні контрольного об'єму.

Геометрична модель установки для приготування рідкої опари (рис. 1) створена в програмі Компас – 3D V10.

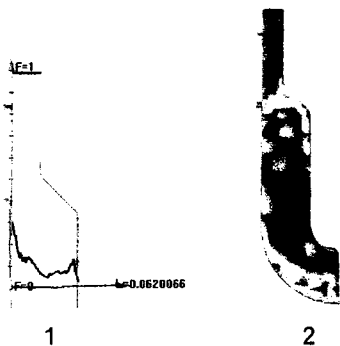
Борошно в камеру змішування подається зверху місткості і завдяки подачі повітря переходить у завислий стан. Через патрубки для подачі рідких компонентів подаються під тиском вода і рідкі дріжджі. Замішана опара відводиться з нижньої частини установки.

В якості крайових умов задано структурно-механічні властивості борошна і рідких компонентів, швидкість їх подачі, характеристика потоків початкової сировини і кінцевого продукту – опари – на вході і виході з місткості відповідно та шорсткість поверхні її стінок.

При моделюванні процесу приготування рідких опар в якості керуваних факторів, які впливають на вихід якісного напівфабрикату, розглянуто швидкості подачі борошна та рідких компонентів, які змінювались в межах 2 – 8 м/с і 41,5 – 83,5 м/с відповідно.

У результаті моделювання проаналізовано зміну концентрації початкової речовини – борошна – по об'єму місткості (це є основним показником якості замісу опари при математичному моделюванні) (рис. 2, 3) з метою визначення раціональних значень швидкостей подачі початкових компонентів і дисипацію енергії в апараті.

Як видно з рис. 2, варіювання швидкості подачі борошна помітно впливає на його концентрацію в кінцевому продукті – опарі. Найбільш прийнятним варіантом швидкості подачі борошна є 2 м/с (див. рис. 2 крива 1), при якій два компоненти – борошно і рідина – найбільш повно (на 60%) змішані, утворивши новий продукт. Збільшення швидкості подачі сипких компонентів до 4 м/с і вище призводить до наявності від



**Рис. 4. Зміна концентрації початкових компонентів**  
 1 - по перерізу камери змішування;  
 2 - в площині методом кольорової заливки.

55 до 70% часточок сипких компонентів, які не провзаємодіяли з рідиною, внаслідок чого якість одержаного напівфабрикату буде гіршою.

Слід зазначити, що в усіх розглянутих випадках досягнення усталеного значення концентрації сипких компонентів спостерігається за 0,1 – 0,2 хв (6 – 12 с).

Результати дослідів, проведених для з'ясування впливу швидкості подачі рідких компонентів на хід процесу (рис.3) свідчать, що швидкості подачі рідини 41,5 і 55 м/с (див. рис. 3. криві 1, 2) забезпечують майже однаковий результат і помітно відрізняються з-поміж інших результатів, оскільки за них концентрація сипких компонентів, які не провзаємодіяли з рідиною, в кінцевому продукті буде найменшою.

Для визначення оптимальних значень швидкостей подачі компонентів використано метод повного факторного експерименту. За цільову функцію обрано концентрацію борошна  $C$  (долі од.), яке не провзаємодіяло з рідиною. В якості керованих параметрів розглянуто швидкості подачі борошна  $U_6$  і рідких компонентів  $U_p$ , причому за їх основний рівень прийнято найкращі результати, отримані при проведенні попередніх обчислювальних експериментів:  $U_{6o} = 2$  м/с і  $U_{po} = 55$

м/с. При перевірці статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії встановлено, що всі коефіцієнти при керованих факторах незначущі. Це свідчить, що величини, прийняті за основний рівень, є оптимальними значеннями керованих факторів.

На рис. 4 наведено кращі з одержаних результатів розподілу концентрації початкових компонентів в кінцевому продукті, отримані при швидкості подачі борошна 2 м/с і швидкості подачі рідини 55 м/с.

При моделюванні проаналізовано значення швидкості опари на виході з місткості і отримано залежність:

$$U_o = 0,043 \cdot U_6^{0,38} \cdot U_p$$

де  $U_o$  – швидкість опари, м/с;  $U_6, U_p$  – швидкості подачі борошна і рідких компонентів (м/с) відповідно.

Таким чином, для забезпечення найбільш рівномірного розподілу концентрацій компонентів в камері змішування, необхідно здійснювати подачу сипких компонентів зі швидкістю 2 м/с і рідини зі швидкістю 55 м/с.

Швидкість обмінних процесів і перемішування безпосередньо пов'язані з частотою дисипації механічної енергії в апараті. Завдяки використанню повітря і

рідини під тиском безперервно поновлюються поверхні фаз, які взаємодіють, що зумовлює істотне прискорення процесу змішування компонентів. У результаті розрахунку в програмному комплексі Flow Vision отримано графічні дані і чисельні значення дисипації енергії в апараті. Перетворення механічної енергії в теплову при замісі опари не повинно призводити до її перегріву, оскільки оптимальна температура бродіння опари і тіста становить 28–32 °С. Аналіз процесу приготування опари, виконаний в цій роботі, показав, що внаслідок дисипації енергії спостерігається підвищення температури опари при замісі від початкових 24°C до 32,8°C, що є прийнятним.

Основними завданнями подальших досліджень процесу приготування рідких опар з використанням енергії потоків повітря і води під тиском є аналіз впливу конструктивних особливостей апарату на хід процесу і проведення відповідних фізичних експериментів.

#### Висновки.

Функції, які повинна виконувати установка, насамперед, полягають в рівномірному розподілі складових (борошна, дріжджів, води) і створенні сприятливих умов для утворення структури опари. Для досягнення необхідного результату – гомогенної опари – в розглянутій конструкції апарату швидкість подачі борошна повинна становити 2 м/с, швидкість подачі рідини – 55 м/с.

#### Література

1. Ауэрман Л.Я. *Технология хлебопекарного производства* / Л.Я. Ауэрман. – СПб.: Профессия, 2002. – 416 с.
2. *Опис агрегату «Рapidо-Джет» [Електронний ресурс] // Сайт фірми «Diosna».* – Режим доступу:
3. [http://www.diosna.de/data/media/documents/pr\\_image.pdf](http://www.diosna.de/data/media/documents/pr_image.pdf)