

УДК 664.143.4.001.57

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАСТИКАЦІЇ КОНДИТЕРСЬКИХ МАС

Бескровний О.І., к.т.н.

Донецький національний технічний університет

Тел.(066) 040-04-35

Анотація – у роботі наведено результати моделювання робочого процесу пластифікатора ВВ-ПМЛ та їх застосування для вдосконалення запропонованого обладнання.

Ключові слова – пластикація кондитерських мас, пластифікатор ВВ-ПМЛ, математичне моделювання, практична реалізація результатів.

Постановка проблеми. Основні сучасні вимоги до кондитерських виробів полягають у необхідності забезпечення стабільності їх якісних характеристик. Одним з найбільш перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є математичне моделювання технологічних процесів для визначення фізико-хімічних і реологічних показників напівфабрикатів на всіх стадіях виробництва. Напівфабрикатами у виробництві масових видів кондитерських виробів є жировмісні кондитерські і начиночні маси дисперсної природи, які мають в'язко-пластичну (псевдопластичну) консистенцію. Дані про реологічні та фізико-хімічні властивості таких кондитерських мас та їх зміни у технологічному процесі можуть бути використані для управління якісними характеристиками готового продукту.

З цією метою нами досліджувались особливості підготовчої стадії виробництва – процесу пластикації кондитерських мас (зміна структурно-механічних характеристик матеріалу від твердої до в'язкої консистенції або зниження в'язкості), який здійснюється у пластифікаторі ВВ-ПМЛ [1]. Для харчових продуктів дуже важливе значення має збереження структури продукту, як одного з найважливіших показників його якості. Слід зазначити, що будь-який механічний або тепловий вплив на продукт викликає більше або менше руйнування його структури. Тому правомірніше говорити не взагалі про збереження структури продукту, а про максимальне збереження його структури з урахуванням геометричних, конструктивних і тепломеханічних параметрів робочого обладнання.

Отримані результати дозволяють розробити і обґрунтувати економічно ефективну технологію для виготовлення жировмісних напівфабрикатів та визначити оптимальну конструкцію основних механічних вузлів – ножів маслорізки та лопатей змішувача.

Аналіз останніх досліджень. Необхідно зазначити, що жировмісні кондитерські вироби становлять значну частину продукції кондитерської промисловості [1], питання отримання і застосування пластикованих кондитерських мас досліджувалось у роботах С.А. Мачихіна, Л.М. Аксьонової, М.А. Талейсника, С.В. Чувахіна, С.М. Носенка та інших [1].

У даний час жирові напівфабрикати готують на устаткуванні, вибір якого часто носить випадковий характер. Тому забезпечити високу кінцеву однорідність розподілу компонентів (що є однією з умов, наприклад, для отримання пишної, легкої начинки з ніжним смаком танення) у низці випадків задача важка для здійснення.

С.В. Чувахін та С.М. Носенко провели аналіз існуючих конструкцій і зробили висновок, що найбільш раціональною є машина зі спареними шнеками у змішувачі, які тісно зчеплені і обертаються у протилежних напрямках, причому всі етапи від подрібнення блоків до пластикації доцільно виконувати однорідними робочими органами. Проведено математичне моделювання процесу пластикації, яке здійснювали послідовно за зонами. Наведено диференціальні рівняння, які описують напружений стан продукту та умову появи пластичних деформацій (умова текучості), при якій починається руйнування продукту. Отримано розв'язок задачі, а також обчислено потужності, які необхідні для різання, стиснення, подрібнення, подолання сил тертя та вимішування.

В інших роботах цих же авторів визначено вплив режимів механічної обробки і технологічних режимів та показників пралінової маси на енерговитрати процесів вимішування і перетирання. Досліди проводили на універсальній установці Do-Corder (ФРН), яка обладнана робочою камерою об'ємом 9 л, і в якій розташовані два Z - подібні робочі органи з відношеннями частот обертання 1:1,5. У роботі показано, що при збільшенні частоти обертання робочих органів пластична в'язкість і гранична напруга зсуву зменшуються. Таким чином, необхідна консистенція маси може бути отримана підвищенням інтенсивності її механічної обробки.

Розгляд питання про визначення енерговитрат у резервуарах із змішувачами пристроями та отримані результати базуються у значній мірі на відомих роботах Стренка Ф., Штербачека З., Барабаша В.М., Бегачова В.І., Брагінського Л.М. [1].

Для визначення оптимальних характеристик роботи змішувача вищевказаними дослідниками побудовано математичні моделі

процесів змішування у двовальному лопатевому змішувачі, які дають можливість оцінити якість перемішування.

Математичні моделі, які використовувались, розраховані на специфіку досліджуваного обладнання і не можуть бути автоматично перенесені на інше технологічне устаткування для пластикації твердих жирів.

Метою статті є впровадження результатів теоретичних досліджень з моделювання робочого процесу пластикації кондитерських мас у пластифікаторі ВВ-ПМЛ, виконаних у ДонНУЕТ за участю автора.

Основна частина. Оскільки математичне моделювання обов'язково передбачає як складовий елемент чисельний експеримент для ідентифікації параметрів моделей і визначення їх адекватності, то у якості модельних нами використовувались фізико-хімічні і реологічні дані основних сировинних складових борошняних кондитерських виробів, а саме маргарину «Молочного особливого» і «Жиру кондитерського для вафельних і прохолоджувальних начинок» виробництва Запорізького масложиркомбінату.

Технологічний процес пластикації (розм'якшування) кондитерських мас для їх подальшого використання у потокових лініях кондитерського виробництва, що здійснюється у пластифікаторі ВВ-ПМЛ [1], можна умовно розділити на дві основні стадії, представлені на рисунку 1. На рисунках 2 і 3 зображено основні робочі органи пластифікатора ВВ-ПМЛ.



Рис.1. Структурна схема технологічного процесу у ВВ-ПМЛ.



Рис. 2. Ніж маслорізки пластифікатора ВВ-ПМЛ.

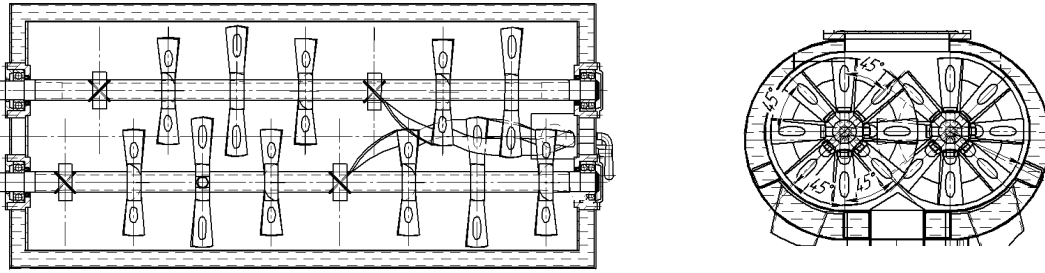


Рис. 3. Змішувач пластифікатора ВВ-ПМЛ.

У відповідності до описаного технологічного процесу на першому етапі ми побудували модель руйнування блоків жиру в маслорізці. Встановлено, що руйнування блоку жиру відбувається приблизно через $t_0 \approx 0,02$ с за рахунок внутрішньої руйнації [1].

Для розрахунку швидкості прогрівання окремого бруска жиру, утвореного в результаті подрібнення, розв'язано нестационарну задачу теплопровідності. Нами отримано залежність розподілу температурного поля у тілі бруска жиру від часу. Побудовано графічні залежності зміни температури за часом у кутовій точці бруска жиру. Графік залежності виходить на плато, що свідчить про перехід процесу прогрівання у стаціонарний процес через приблизно 3 хвилини, що добре узгоджується з експериментальними даними інших авторів [1].

На наступному етапі проведено математичне моделювання процесу аерування жирових мас. Показано, що при температурі води в сорочці 42°C повітря рівномірно розподіляється у жировій масі і відбувається аерування кондитерського жиру. При температурі води в сорочці до 37°C не забезпечується необхідна рухомість жирової маси і знижується рівномірність розподілу повітря у жирі [1].

Для визначення якості перемішування знайдено відносні концентрації повітряної компоненти c_{ij} в n довільно вибраних точках змішувача при l паралельних випробуваннях (i – номер точки, в якій досліджується процес, $i=1,2,\dots,n$, j – номер випробування, $j=1,2,\dots,l$). При достатньо великих значеннях часу $t \rightarrow \infty$ досягається гранична якість суміші σ_p^2 , коли процес аерування знаходиться у динамічній рівновазі [1].

Проведено аналіз параметрів процесу аерування жирової маси, визначено, що основними факторами, які найсуттєвіше впливають на неї, є температура води в сорочці і час вимішування. Побудовано регресійну модель процесу аерування на основі статистичного аналізу експериментальних даних. На основі аналізу отриманого рівняння регресії з'ясовано, що концентрація повітряної компоненти в жировій масі більш суттєво залежить від часу, ніж від температури, оптимальними характеристиками процесу аерування досліджуваного

кондитерського жиру є: час вимішування – від 570 до 600 с; температура води в сорочці – від 39°C до 40 °C [5].

За допомогою програмного комплексу ANSYS виконане чисельне моделювання процесу течії жирових мас у змішувачі пластифікатора ВВ-ПМЛ, лопаті мішалок якого розгорнуті відносно вісі валу на кути 30°, 45° та 60°. Нами отримано візуальні траєкторії руху частинок жирової маси в змішувачі та їх швидкості. Перемішування відбувається значно інтенсивніше при куті нахилу лопаті до вісі валу 60° [1].

З аналізу розподілу швидкостей при відсутності та наявності отворів у лопаті змішувача випливає, що наявність отворів значно підсилює завихрювання течії жирової маси і підвищує інтенсивність вимішування. Визначено загальну оптимальну площу отворів у лопатях змішувача, яка становить близько 30 % від їх загальної площі.

Нами розв'язано задачу визначення оптимальних розмірів отворів та їх геометричної форми за допомогою методів математичного програмування. При збереженні необхідної інтенсивності перемішування більш доцільним є використання у змішувачі пластифікатора ВВ-ПМЛ лопатей з отворами прямокутної форми [1].

На основі проведених досліджень виконане удосконалення техніко-конструктивних і технологічних параметрів пластифікатора ВВ-ПМЛ.

Дослідна партія пластифікаторів у кількості 2 апаратів була виготовлена, виходячи з представлених вихідних даних з виробництва АТ «Кондитерська фабрика «АВК» м. Донецьк. Необхідно підкреслити, що раніше обладнання для пластифікації жирів не експлуатувалось, а використовувались жиротопки – камери для розігріву жиру і використання його у рецептурах виробництва печива у рідкому стані. Нові види рецептур борошняних кондитерських виробів не передбачали використання рідких жирів, а тільки розм'якшених, тобто пластикованих. Задача розробки обладнання ускладнювалась також тим, що в рецептурах нових борошняних кондитерських виробів використовувались різноманітні види жирів – маргарин, рослинні олії, вершкове масло, кондитерські жири. Тому при уведенні в дослідну експлуатацію перших двох пластифікаторів необхідно було досягти таких результатів:

- отримати в розм'якшеного пластикованого жиру технологічні параметри, які повністю відповідають вимогам технологічних інструкцій на борошняні кондитерські вироби;

- отримати фактичні дані технічних характеристик пластифікатора, їх аналіз і порівняння з вхідними даними та, при необхідності, мати можливість корегування цих технічних характеристик;

- провести аналіз дослідної експлуатації окремих вузлів і агрегатів пластифікатора, зручності обслуговування і ремонтпридатності виробу.

Враховуючи призначення пластифікаторів, режими роботи, умови експлуатації і технічного обслуговування, вважали, що основними критеріями надійності є безвідмовність і ремонтпридатність. У якості нормованого показника приймали встановлене безвідмовне напрацювання.

Планування робіт зі збору інформації здійснювалось у відповідності з ДСТУ 3004-95. «Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Введено вперше; Введ. 25.01.95. – К.: Держстандарт України, 1995. – 124с.» та ГОСТ 27.410-87. «Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 37с.» На жаль, дослідження безвідмовності обладнання продовольчого, з урахуванням умов експлуатації не вдалось у повній мірі провести у відповідності до названих вище документів через відсутність обсягу вибірки, тому що в дослідній експлуатації знаходилось тільки дві одиниці виробів.

Також використовували інформацію, зафіксовану в журналах реєстрації відмов, які заповнювались технічним персоналом, що займається обслуговуванням і ремонтом.

Далі наведено ті недоліки, які було усунуто в результаті наших досліджень.

Змішувач:

- діаметр отвору вивантаження не забезпечував вільний вихід пластифікованого жиру (збільшено розмір вивантажувального патрубка);

- на зазорі між шибером і внутрішнім корпусом змішувача залипали шматочки непластифікованого жиру – так звана мертва зона (підняли шибер на рівень з корпусом);

- з надходженням мерзлого жиру тривалість процесу пластифікації збільшувалась у декілька разів через зниження температури в сорочці (встановлено більш потужні ТЕНи; спочатку було два по 0,75 кВт, потім стало – два по 2,5 кВт);

- при надходженні мерзлого жиру через збільшення навантаження на привід відбувалося розтягування ланцюга аж до його розриву (встановлено натяжний ролик);

- головний робочий орган – дві мішалки, які обертаються одна назустріч одній, з лопатями і поверхневими шнековими з'єднаннями за всіма лопатями надто швидко транспортували жир до вивантажувального патрубка, не даючи можливості повного подрібнення і розм'якшування (розроблено сім варіантів різних конструкцій з різними кутами нахилу і отворами в лопатях.

Маслорізка:

- при надходженні холодного (мерзлого) жиру маслорізка зрізала надто великі бруски жиру, через що мала місце імовірність

заклинювання (розроблено різальні конуси відповідно з чотирма і п'ятьма лезами ножів);

- при надходженні мерзлого жиру і заклинюванні відбувалося перегрівання електродвигуна на приводі маслорізки з виходом його (двигуна) з робочого стану (проведено заміну електродвигуна на більш потужний до 5,5 кВт, а потім було встановлено частотний перетворювач).

У результаті моделювання процесу пластикації кондитерських мас у пластифікаторі ВВ-ПМЛ отримано раціональні параметри технологічного процесу та параметри окремих вузлів і деталей установки, розроблено комплекс заходів щодо модернізації установки для пластикації кондитерських мас, направлений на підвищення якості і продуктивності, надійності, стабілізацію роботи окремих вузлів і установки в цілому, поліпшення умов праці оператора (таблиця 1).

Таблиця 1 – Комплекс конструкторсько-технологічних змін установок ВВ-ПМЛ

Значення параметру до модернізації	Значення параметру після модернізації	Досягнутий ефект
Зміни геометричних параметрів		
1. Кут нахилу лопатей до вісі валу, град		
30	60	Інтенсивність перемішування
2. Площа лопатей, м ²		
0,268	0,268	Інтенсивність перемішування
3. Форма лопатей		
Без отворів	З отворами у вигляді прямокутників	Інтенсивність перемішування
4. Кількість ножів у маслорізці, шт.		
3	4÷5	Подрібнення менших розмірів
Зміни в технологічному процесі		
1. Впровадження частотного перетворювача		
175 об/хв	140÷210	Можливість рег-вання і скорочення часу
2. Збільшення потужності ТЕНів, кВт		
0,75×2	2,5×2	Стала температура в сорочці, довговічність

Таким чином, можна зробити такі *висновки*:

Отримані аналітичні залежності та розроблені методи розрахунків дають можливість досягати раціональних параметрів

процесу пластикації жировмісних мас у пластифікаторі ВВ-ПМЛ, враховуючи його конструктивні особливості. У результаті подальших спостережень за експлуатацією 20 з 40 експлуатованих пластифікаторів розроблено та затверджено Зміни №1 до ТУ У 29.5 – 2340124 – 003 – 2004 «Пластифікатор марки ВВ-ПМЛ». Запропоновані технологічні та конструктивні параметри пластифікатора ВВ-ПМЛ пройшли апробацію та впровадження у виробництво на підприємствах харчової промисловості: ТОВ «Фірма ВІ-ВА-ЛТД», АТ «Кондитерська фабрика «АВК», ТОВ НВП «УкрПромСою» та інш.

Наведені результати досліджень можуть бути застосовані для: розрахунку тепломеханічного обладнання з метою визначення теплопередавальної поверхні та продуктивності агрегатів; при розрахунку витратної потужності змішувачів; для вдосконалення подібного обладнання інших галузей промисловості.

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку є розроблення математичних моделей кожного етапу і технологічного процесу в цілому для створення автоматизованої системи управління ним.

Література:

1. Теоретичне дослідження технологічних процесів пластифікатора ВВ-ПМЛ [Текст] / Н.М. Лавріненко, В.А. Хомічук, Л.М. Антропова, О.І.Бескровний // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр.–Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. – Вип. 26. – С. 80-91.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЛАСТИКАЦИИ КОНДИТЕРСКИХ МАСС

А. Бескровный

Аннотация - в работе приведены результаты моделирования рабочего процесса пластификатора ВВ-ПМЛ и их применение для совершенствования предложенного оборудования.

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF PROCESS SIMULATION MASTICATION CONFECTIONERY MASSES

O. Beskrovnyy

Summary

The paper presents the results of the simulation workflow plasticizer VV-PML and its application for the improvement of the proposed equipment.