

УДК 664.653.1

І.Стадник, канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ПРОЦЕСИ ПЕРШОЇ СТАДІЇ ЗАМІШУВАННЯ НА НОВІЙ ТІСТОМІСИЛЬНІЙ МАШИНИ

На основі нової тістомісильної машини дискретної дії досліджено основні характеристики дозування рідких компонентів і борошна та необхідні конструктивні параметри на першому періоді першої стадії процесу замішування. Встановлено, що спосіб поетапного попереднього змішування у ваговому стані при сприятливій вібраційній дії дозатора борошна і механічній дії місильного органу сприяє підвищенню ефективності процесу адсорбції.

Ключові слова: ефект замішування, адсорбція, структура тіста, дифузія, рідкі компоненти

I.Stadnyk

THE FIRST PERIOD OF MIXING PROCESS USING NEW DOUGH MAKING MACHINE

Bases on new dough making machine of discreet action if has been researched the main characteristics the number liquids components and Hour and constructive parameters which are needed during the first period of mixing process. If has mentioned that the way of permanent mixing in weighting state under vibration and mechanic action of mixing mechanism inference allows to higher the process effectiveness.

Key words: mixing effect, adsorbcion, structure of doug, diffusion, liquids components.

Умовні позначення

ТМ – тістомісильна машина;

R – опір дифузії;

Д – коефіцієнт дифузії;

K – коефіцієнт пропорційності;

Re – критерій Рейнольдса для рідинного потоку;

Pg – дифузійний критерій Прандтля.

Постановка проблеми. Швидке впровадження у промислову практику технологічних процесів, які проходять у завислому стані, пояснюється тим, що при даному методі ведення процесу створюються сприятливі умови для його інтенсифікації, збільшується міжфазна поверхня дотику, покращується теплообмін і масообмін, зменшується розхід енергії на подолання гідравлічного опору системи, створюються умови переходу від процесів періодичних до неперервних.

До таких технологічних процесів відноситься процес замішування тіста. Якість замішування оцінюється різними показниками: дискретністю, пластичністю, структурою, технологічною якістю суміші і раціональним проходженням наступних технологічних операцій. При класичному проведенні замішування можна виділити три характерні стадії: 1- механічне змішування і аерація, в результаті яких відбувається рівномірне розподілення компонентів по всій масі; 2 – гідролітична дія вологи на сухі компоненти(борошно); 3 – структуроутворення, формування білкового каркасу тіста, який визначає його газо- і формоодержуючу властивість [1,2].

Аналіз останніх результатів досліджень. В промисловій практиці замішування появилися нові більш прогресивні технологічні методи взаємодії твердої фази з рідиною у вільному падінні. Так, за технологією «Rapidoget» від фірми «Diosna», розроблені Берхардом Ноллем частинки борошна у вільному падінні зустрічаються із рідкими компонентами, які мають швидкість витікання із сопел 200-500км/год, змочуються, вдаряються в стінки

змішувальної камери під високим тиском, взаємодіють і утворюють тісто. Принцип вільного падіння, вібраційної дії, механічної дії на процес замішування поєднано в конструкції нової тістомісильної машини дискретної дії. [3,4] Ряд досліджень з вивчення процесу розчину твердих частинок проведено Г.А. Аксельрудом та П.Г. Романковим, В.П. Лепіним.

На основі ряду дослідів Шиловим запропоноване рівняння, яке характеризує роботу шару сорбенту в динамічних умовах. Це рівняння зв'язує довжину борошна, як сорбенту із часом

$$\tau = KL - \tau_0$$

де, τ – час захисної дії шару, хв;

L – довжина шару, см;

K – коефіцієнт захисної дії – величина, яка зв'язана з швидкістю поступального руху води у системі борошно-вода після завершення початкового періоду, коли утворюється область градієнта і швидкість подальшого руху стала постійною, хв/см;

τ_0 – час, необхідний для утворення шару (борошно насичується водою у системі і утворює перші шматки тіста).

В перший проміжок часу при роботі тістомісильної машини процес адсорбції є гетерогенним, який визначає перша стадія. Вважатимемо, що процес адсорбції – суто поверхнєве явище, яке проходить миттєво. Це дає змогу допустити, що швидкість процесу адсорбції визначається швидкістю дифузії, яка проходить при сталому тиску (атмосферному). Тому чимало питань, що стосуються процесу замішування тіста у вільному падінні, який проходить на першій стадії, залишилися невирішеними і потребують подальшого розгляду.

Мета роботи, - дослідити вплив фізичної природи, дисперсності, вмісту суміші в камері «відпочинку» і конструктивних параметрів на першу стадію процесу замішування, обґрунтувати основні закономірності, покращення технологічних вимог і параметрів процесу замішування.

Реалізація роботи. За рецептурою, розробленою авторами, борошно у вільному падінні дозується у змішувальну камеру і змочується направленим вниз нахиленим струменем рідких компонентів. Струмін рідких компонентів утворюється нагнітальним пристроєм, який містить дев'ять отворів у вигляді сопел. Компоненти подаються від дозатора рідких компонентів, який дослідним шляхом встановлено на певній висоті так, щоб задана кількість за рецептурою дозувалася протягом 1-1,5хв.

Для регулювання швидкості витікання, установки часу і якості розпилення рідких компонентів проводилися дослідження динамічної активності у ваговому стані на дозаторі рідких компонентів. Швидкість змінювали від 2 до 3л/хв. Величина швидкості відповідала швидкості, при якій шар сорбенту переходив у завислий стан. Напір подачі компонентів регулювався висотою установки дозатора.

Прискорений у повітрі струмін рідких компонентів зустрічається із розпиленними частинками борошна при його вільному падінні, частково забираючи борошно, і вдаряється у стінки місильної камери та обертового місильного органу. Рідкі компоненти, потрапляючи на нього, розпилюються та одержують додаткову швидкість, що сприяє більшій кількості змочених частинок борошна, які притискаються одна до одної, а їх швидкість знижується на дні камери. Завдяки конфігурації місильної камери, струмені тіста(емульсії) автоматично сходять донизу, де на них діє захват місильного органу. При цьому час від моменту входу борошна і рідких компонентів у змішувальну камеру і до його опинення у нижній частині камери складає $\tau_1=5-10с$.

При вивченні процесу адсорбції в камері вважаємо, що кінетика гетерогенної реакції визначається концентрацією компонентів та умов проходження процесу. Припускаємо, що швидкість процесу адсорбції визначається швидкістю дифузії, тобто весь процес проходить в основному у дифузійній області, який умовно розділяємо на два періоди. Перший період адсорбції – період, який характеризується мірою води, яку адсорбент – борошно сприймає за час τ_1 , до контакту поверхні місильного органу та місильної камери. Цю ділянку зображено

на рис. 1, площею ABCD.

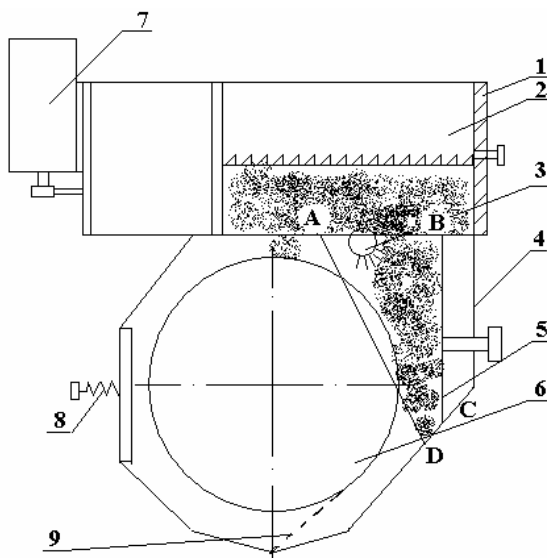


Рисунок 1 - Схема експериментальної тістомісильної машини

1 – вібратор борошна; 2 – борошно; 3 – нагнітальний пристрій рідких компонентів; 4 – місильна камера; 5 – регулюючий пристрій камери відпочинку; 6 – місильний орган; 7 – електродвигун постійного струму; 8 – регулятор консистенції; 9 – шибєр вивантаження тіста.

Регулювання площі визначає швидкість адсорбції і якість. Площа характеризує максимально можливу сорбенту властивість по даному борошну.

Перший період від моменту подачі інгредієнтів і до завершення подачі одного із них – борошна. Рідкі компоненти дозуємо на 20-30с. довше. Цей період може бути із одночасними подачею і припиненням дозування інгредієнтів; тоді другий період у нашому випадку буде дуже короткий, який може не дати необхідного ефекту адсорбції. Так як цей процес відбувається на покритій рідкими компонентами поверхні місильного органу і місильної камери, тому ми будемо розглядати два варіанти проведення процесу, щоб одержати однорідну структуру суміші.

У першому періоді дозування рідких компонентів затримуємо на 5с, і після 55с дозування борошна рідкі компоненти ще дозуються протягом 20-30с. Розглянемо дане явище, склавши математичну модель про характер процесу перемішування в місильній камері. Матеріальний баланс зміни концентрації суміші визначається рівнянням[5]:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{\omega(c_0 - c)}{V}, \quad (1)$$

де ω – об'ємні витрати сировини на вході у місильну камеру, м³/с;

C і C_0 – миттєва концентрація тіста і концентрація на вході, кг/кг;

V – об'єм місильної камери, м³.

Позначивши середній час перебування в апараті $\tau = V/\omega$, одержимо:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{\tau(c_0 - c)}. \quad (2)$$

Провівши інтегрування виразу (1), знайдемо зміну концентрації на виході із місильної камери ідеального замішування:

$$c(t) = \frac{c}{c_0} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (3)$$

У нашому процесі концентрація змінюється не поступово, а скачкоподібно. Із рівняння (1) ми бачимо, що об'ємні витрати сировини (борошна), які ми можемо регулювати за допомогою вібраційного дозатора, суттєво впливають на зміну концентрації. Хочеться відзначити й те, що у нашому випадку суттєве значення має об'єм камери «відпочинку», яку

можна в процесі проведення досліджень змінювати.

На першій хвилині змішування, коли подаються компоненти і обертається місильний орган, основну увагу ми звертаємо на кінетику процесу, яка проходить у камері «відпочинку». На першому етапі камера відпочинку є камерою попередньої інтенсивної просторової обробки твердого тіла (борошна) рідкими компонентами. Цей процес триває до 15 с. Подальшому проникненню борошна і рідких компонентів у камеру змішування сприяє місильний орган. Тому ми будемо проводити дослідження об'єднаним методом – теоретичним та експериментальним, що базується на теорії подібності. В кінцевому результаті цих досліджень отримаємо розрахункові рівняння, які дозволяють визначити розміри камери, швидкості обертання місильного органу та швидкості дозування борошна і рідких компонентів у масовій пропорції.

Враховуючи дослідження ряду авторів по адсорбції і наші експериментальні дані, можна допустити, що в перший період адсорбції – період постійної швидкості – визначальною швидкістю процесу буде швидкість зовнішньої дифузії. При цьому значення $R_{вн}$ буде незначним у порівнянні з $R_{зовнш}$, тому швидкість адсорбції буде визначатися гідродинамічним режимом процесу.

Функціональна залежність, яка описує процес адсорбції у просторовому шарі методом теорії подібності, виходячи з початкових і граничних умов, є залежність, яка описує кінетику процесу адсорбції в перший період:

$$K_i = f(Re, Pr, C, \Gamma_1, \Gamma_2) \quad (4)$$

R_B — модифікований дифузійний критерій Кирпичева;

$$Re = \frac{wd}{\nu} \quad \text{— критерій Рейнольдса};$$

$$Pr = \frac{\nu}{xD} \quad \text{— модифікований критерій Прандтля};$$

C — симплекс концентрацій;

Γ_1, Γ_2 — симплекси геометричної подібності;

Функціональна залежність (4) одержана при умові, що швидкість зміни концентрації для усього шару адсорбенту (борошна) для першого періоду є величиною постійною.

Із сказаного виходить також те, що другий період – період знижуючої швидкості, тому тут головне – внутрішня дифузія. Швидкість цієї стадії процесу буде визначатися фізично-хімічною властивістю борошна та конструкцією місильного органу і місильної камери.

За аналогією можна одержати критеріальне рівняння кінетики адсорбції і для II-го періоду. Вочевидь, що в це критеріальне рівняння, крім критеріїв K_i , R_B , і P_r симплексів концентрації і геометричної подібності, ввійде дифузійний критерій Фур'є.

$$F_0 = \frac{k\tau}{\varepsilon l^2},$$

k — коефіцієнт масопровідності, аналог коефіцієнта температуро-провідності α ;

ε — відносний вільний об'єм між сорбентами, m^3/m^3 .

Вважаючи, що в другий період процесу $R_{внутр} \gg R_{зовн}$ адсорбції також залежить від гідродинамічного режиму процесу. Цьому періоду властива вільна турбулентна дифузія, яка перевищує молекулярну, так як границя розподілу фаз постійно змінюється. Тому буде існувати критеріальна залежність дифузійного критерія Нуссельта $Nu = KR_B^m Pr^n$, для рідинного потоку, яка справедлива для умов поверхонь фазового контакту.

В загальному вигляді критеріальна залежність кінетики адсорбції у другому періоді може бути визначена:

$$\frac{c}{c_0} = f(R_B, Nu, F_0, \Gamma_1, \Gamma_2, \Pi) \quad (6)$$

Значний інтерес представляє собою визначення розрахунковим шляхом кількості рідини, яку може борошно (сорбент) в динамічних умовах за перший і другий період процесу адсорбувати для утворення необхідної консистенції (першої стадії) протягом часу замішування $\tau_1 + \tau_2 = \tau$, без залишку на дні камери борошна. Нам необхідно також врахувати, що у другому періоді процесу сприяє обертаючий місильний орган із $n = \text{const}$.

Для визначення явного виду функціональних залежностей (4) і (5), які описують кінетику процесу адсорбції в перший період, а також для визначення деяких особливостей утворення завислого шару і процесу адсорбції у ньому, нами було проведено більше 50 дослідів.

Дані досліди були проведені в 2 етапи: перший – визначення часу витікання рідких компонентів через пристрій розпилювання їх, якість розпилювання, місце установки пристрою; другий – визначення часу дозування борошна за допомогою вібраційного дозатора, вплив частоти обертання місильного органу та визначення раціональної площі об'єму камери «відпочинку» при допомозі регулюючого пристрою.

Визначення об'ємної швидкості витікання рідких компонентів із мембранного дозатора через пристрій розпилювання дозволяє визначити розміри отворів розпилювача та висоту установки мембранного дозатора. Це сприяє інтенсифікації даного процесу. Основну увагу в усіх дослідах було направлено на теоретичне і практичне визначення і встановлення впливу потоку компонентів на проходження процесу замішування. Крім швидкості витікання, проводилися дослідження на якість витікання. Для цього на певній висоті встановлювався дозатор і відкривався випускний клапан. Перед випускним клапаном встановлено пробковий кран, який дозволяє регулювати час витікання. Швидкість витікання через пристрій визначали за допомогою мірних посудин, які показували кількість розчину на перших п'ятих отворах і на останніх чотирьох. Із дослідів було визначено, що кількість рідини у двох мірних стаканах була різною, тому два останні отвори розпилюючого пристрою було збільшено в діаметрі. Це дало змогу розпилювати рідкі компоненти із однаковою об'ємною швидкістю по всій довжині пристрою.

Обчислення процесу дозування. Розглядаючи принцип дії мембранного дозатора в процесі дозування рідких компонентів, незважаючи на всю складність і різноманітність руху рідини, ми можемо відзначити, що у нашому випадку відбувається нестационарний рух, при якому всі гідравлічні характеристики (швидкість, тиск, глибина потоку) в будь-якій точці потоку змінюється в часі, тобто $v = f_1(x, y, z, t); p = f_2(x, y, z, t); v = f_3(x, y, z, t)$ Крім цього, ще відбувається вільний та вихровий рух компонентів, який здійснюється під дією зовнішніх масових сил – витікання через отвори нагнітального пристрою. (рис. 2)

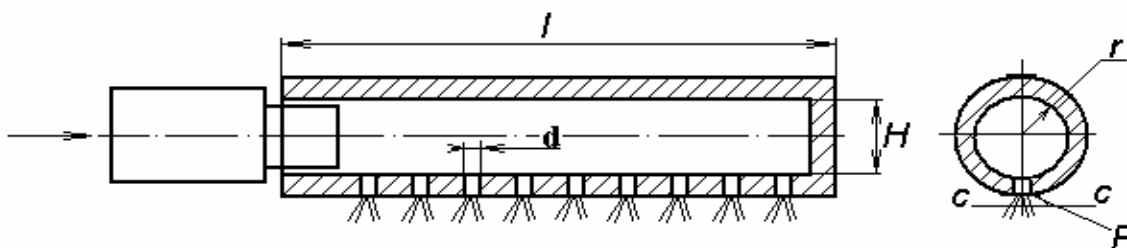


Рисунок 2 - Схема нагнітального пристрою

Розглянемо загальний характер витікання через отвір, розміри якого відносно малі порівняно з напором H , а краї отвору заокруглені та не впливають на форму струменя. Даний отвір (їх у нас 9шт.) буде розглядатись як отвір у тонкій стінці.

У даному випадку при витіканні компонентів швидкість визначається переважно місцевим опором біля отвору. Візуальні спостереження показують, що при підході до отвору внаслідок різних умов рух частинок рідини, у різних точках нагнітача, вони описують різні траєкторії. Найбільше відхиляються від прямолінійних траєкторій частинки рідини, які переміщуються паралельно до стінок нагнітача.

Таким чином, швидкість частинок у різних точках біля перерізу отвору C-C і в ньому

самому буде неоднаковою як за значенням, так і за напрямком. У різних точках кривих ліній течії виникають різні за значенням відцентрові сили інерції. Тому тут спостерігається також певна нерівномірність розподілу тиску. Отже, зі сказаного випливає, що на ділянці перерізу С-С і вглиб нагнітального пристрою від подачі рідких компонентів струмін, який витікає, стискається. У перерізі С-С струмінки по всій довжині стають майже паралельними, як показав дослід, а це задовольняє умови руху на першому етапі просторового змішування із компонентами (борошно). Ці результати дали позитивний результат завдяки тому, що наші отвори достатньо малі порівняно з напором H , тобто $d=0,1H$. Це дало змогу, щоб усі частинки рідини витікали під одним і тим самим напором, отже, із однаковою швидкістю. Хочеться відзначити, що досягненню однакового напору сприяло і те, що втрати рідких компонентів, які надходять із дозатора, перевищують втрати, які витікають через отвори. Цей процес триває до певного моменту, який змінюється у кінці витікання. Тому два останні отвори зроблено більшого діаметру.

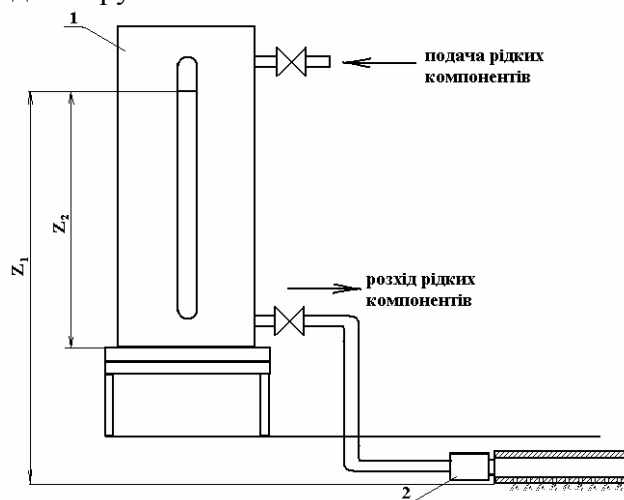


Рисунок 3 – Схема дозатора рідких компонентів: 1 – корпус дозатора; 2 – нагнітальний пристрій.

Для знаходження часу витікання компонентів з дозатора (рис.3) використовуємо формулу, відому із гідравліки:

$$\tau = \frac{2S}{(\mu F \sqrt{2g})(Z_1 - Z_2)}, \quad (6)$$

де μ – коефіцієнт витрати;

S – поперечний переріз дозатора рідких компонентів

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Z_1 – початковий рівень рідких компонентів, м;

Z_2 – кінцевий рівень рідких компонентів, м;

F – площа поперечного перерізу отвору, м²;

$Z_2 = 0,005$ м,

$$Re = \frac{\sqrt{2ghd}}{\rho}, \quad (7)$$

ρ – густина продукту.

Швидкість витікання рідких компонентів через отвір:

$$v = \varphi \sqrt{2gh}, \quad (8)$$

де φ – швидкісний коефіцієнт;

g – прискорення вільного падіння;

H – напір рідини.

Швидкісний коефіцієнт визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{W}{F\sqrt{2gh}} \quad (9)$$

де W – витрата витікання рідини, який визначається:

$$W = \mu F\sqrt{2gh} \quad (10)$$

Із визначеного числа Re за допомогою графіка Альтшуля визначаємо коефіцієнт витрати: $\mu = 0,70$

Із теоретичних досліджень випливає, що при витіканні рідких компонентів за визначений час при напорі H , який ми прийняли постійним протягом даного проміжку часу, в тістомісильну камеру витікало $W=0.005 \text{ м}^3/\text{с}$. Теоретичні розрахунки співпали із дослідними, що підтверджує правильний підбір отворів на нагнітальному пристрої. Тобто кількість поступаючих компонентів за 41.2 с. із мембранного дозатора на нагнітальний пристрій відповідає такому ж часу розпилювання в камері машини. Це сприяє забезпеченню швидкості процесу адсорбції у перший період процесу замішування. Обґрунтоване визначення часу кількості рідких компонентів і борошна та рівномірне їх розподілення по січенню камери «відпочинку» дає змогу одержати великого ступеня поглинання компонентів при невеликому гідравлічному опорі.

Дослідження гідродинаміки руху у вільному витіканні рідких компонентів та борошна на першій стадії процесу замішування визначає три зони у вертикальному перерізі місильної камери. Верхня зона являє собою суцільний струмінь рідини ,яка пронизує у вільному падінні борошно; середня зона – зона розпилення, яка утворюється за допомогою обертаючого місильного органу; нижня зона – суцільний шар рідкої маси у вигляді рідкої опари. У цю ж зону поступаюче повітря за допомогою місильного органу крізь шар цієї суміші із швидкістю, яка перевищує швидкість вільного падіння, приводить до утворення рівномірного шару, який захоплюється місильним органом і поступає за його рухом. Третя зона переходить у другу стадію процесу, яку будемо розглядати нижче.

Висновок

Отже, із проведених досліджень вперше встановлено, що оптимальний час витікання рідких компонентів для нашого процесу замішування складає 60-90с при наступних умовах:

- Висота установки мембранного дозатора над камерою відпочинку $H=300-400\text{мм}$.;
- Кран повинен бути відкритий на $\frac{1}{2}$ свого отвору;
- Нагнітальний пристрій повинен мати загальну кількість і площу отворів, яка дорівнює діаметру нагнітальної трубки;
- **Напрямки подальших досліджень:** оптимізація параметрів перехідних процесів замішування другого періоду першої стадії з метою підвищення якості роботи ТМ.

Література

1. Когин. Н.Е., Розе Н.В. Теоретическая гидродинамика, ч.1
2. Кафаров В.В. Перемешивание в жидких средах. - Госхимиздат, 1949
3. Стадник І.Я., Лісовенко О.Т. Тістомісильні машини безперервної та періодичної дії. Хранение и переработка зерна.–2008. №2. – с51-52.
4. Лісовенко О.Т., Стадник І.Я. Деклараційний патент промислової «Тістомісильної машини» ПМК²¹ А21С1/00. Бюлетень №12 від 10.08.07р.
5. Аксельруд Г.А. Массопередача пи расстворении твердых частиц Научно-техническая конференция. – Ленинград, 1956. – 214с.

Одержано 12.03.2009 р.