

Разнообразие технологического оборудования, уникальность физико-механических и специфических требований к использованию теста в условиях отсутствия эффективного подхода к тестомесильным машинам значительно усложняют обоснование технологических и конструктивных схем оборудования, в свою очередь требуют творческого соединения законов физики, математики и биологии. Определение режима, обеспечивающего эффективность технологического процесса образования теста, численные значения режимов тестоприготовления в зависимости от энергетического воздействия и конструктивного исполнения рабочей камеры тестомесильной машины [4]. Попытка прогнозирования энергетических преобразований в зависимости от ряда технологических и технических факторов, влияющих на данный процесс. Прогнозирование качества тестоприготовления основано на выборе энергетических и качественных преобразований в ходе замеса теста.

Анализ рис.2. даёт возможность определить направления энергосбережения. Наиболее эффективно на первоначальном этапе объединить в единую теорию тестоприготовления три этапа: приём и хранение сырья; приготовление и брожение теста; охлаждение и хранение.

Рассмотренный материал даёт возможность определить роль и воздействие интенсификации процесса замеса теста на изменение физических, биохимических и микробиологических процессов. Приведенные подходы процесса тестоприготовления дают возможность представить происходящие процессы математическими зависимостями [5]. Особенностью использования математического подхода и анализа даёт возможность сжато и качественно изложить поставленные вопросы, методы постановки и решения вопросов и их применения.

Выводы. Получены данные исследований по совершенствованию энергоэффективности теории тестоприготовления. Их анализ даёт возможность прийти к следующим выводам:

Определены направления комплексного исследования производства хлеба.

Приняты технологические операции, данные которых являются определяющими энергоэффективности предлагаемой теории.

Установлены данные связанные с прогнозированием энергетических преобразований в зависимости от ряда технологических и технических факторов, влияющих на данный процесс.

Найдены принципы построения теории тестоприготовления.

Література

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств / О.Г. Бурдо – О.: Полиграф. 2008. - 241 с.
2. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробів / [Лісовенко О.Т. та ін.] - К.: Наукова думка. 2000. - 282 с.
3. Паламарчук І.П. Науково-технічні основи розроблення енергозберігаючих вібротриболомеханічних харчових і переробних виробництв: автореф. дис. на здобуття наук. д-ра техн. наук: 05.18.12. "Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв" / І.П. Паламарчук. - К.: - 2008. - 47 с.
4. Дашкевич А.О. Геометричне моделювання схем дії планетарних тістомісильних машин: автореф. дис. на здобуття наук. канд. техн. наук: 05.01.01 – "Прикладна геометрія, інженерна графіка" / А.О. Дашкевич. - К.: - 2008. - 20 с.
5. Процеси та апарати харчових виробництв / [Поперечний А.М., Черевко О.І., Гаркуша В.Б., Кириченко Н.В., Ласкіна Н.А.] під ред. А.М. Поперечного - К.: Центр учбової літератури. 2007. - 304 с.

УДК 664.84.03

РОЗМІРИ ЦИЛІНДРИЧНИХ СИТ СЕПАРАТОРА, ПРИ СХЕМІ РОБОТИ ВІД ВЕЛИКОГО ДО ДРІБНОГО

Фалько О.Л., канд. техн. наук, доцент, Шейна А.В., асистент

Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, м. Донецьк

Пропонується методика розрахунку геометричних розмірів циліндричних сит з урахуванням норм їх завантаження для горизонтального циліндричного сепаратора сипких харчових продуктів.

The design procedure of the geometrical sizes cylindrical sieves taking into account norms of their loading for a horizontal cylindrical separator of loose foodstuff is offered.

Ключові слова: сепарація, грохот, фракція, циліндр-сито.

Циліндричні ситові класифікатори широко розповсюджені в різних галузях промисловості України та країн СНД. Найбільше розповсюдження барабанні класифікатори мають в хімічній, будівельній, зернопереробній та харчовій промисловості [1, 2]. Перспективна конструкція розробленого в ДонНУЕТ циліндричного вібраційного класифікатора [3] має переваги над існуючими барабанними сепараторами за продуктивністю та технологічною ефективністю [4].

Для розробленої нової конструкції [3] на сьогодні не існує методики розрахунку робочих параметрів, від яких залежать технічні характеристики даного типу обладнання. Тому створення такої методики є актуальною науковою задачею.

З практичних даних про сепарацію на барабанних грохотах [1] відомо наступне: якщо фракція, яка сходить з сита обертового циліндра у режимі «з обваленням», становить не більше 1/3 вихідного матеріалу, то 2/3 матеріалу, що залишаються у циліндрі, забезпечують активне протікання процесу сепарації з високою швидкістю. При сепарації зернових продуктів кількість самої великої фракції зазвичай не перевищує 15-18 % [1, 2], що набагато менше 1/3 вихідної маси, тому у нашому випадку буде гарантована висока швидкість протікання процесу.

Необхідно встановити при яких умовах циліндричні сита зможуть встигати сепарувати харчовий матеріал, який подається з 1-го сита (рис. 1). Також потрібно визначити діаметри циліндрів сит і максимально можливе завантаження першого циліндричного сита, для якого повинні бути забезпечені умови безперешкодної безперервної роботи.

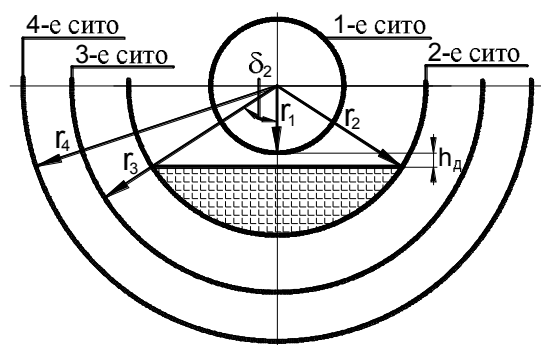


Рис. 1 – Схема розташування сегмента шару продукту між циліндричними ситами

При дотриманні умови роботи циліндричного класифікатора у режимі з «обваленням» [3], маємо:

$$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r_{\text{ц}}}} \quad (1)$$

де n — частота обертання циліндра, хв^{-1} ,

g — прискорення вільного падання, м/с^2 ,

$r_{\text{ц}}$ — радіус циліндра, м .

Використовуючи вираз (1) і задаючись значеннями $r_{\text{ц}}$, отримаємо n для кожного циліндричного сита, і відсоток зниження обертів кожного наступного циліндра. Приймавши довжину сит 0,755 м, розрахуємо відсоток збільшення площі кожного наступного циліндричного сита; результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Робочі параметри сит, збільшення площі сита

	1 циліндр. сито	2 циліндр. сито	3 циліндр. сито	4 циліндр. сито
$r_{\text{ц}}, \text{м}$	0,125	0,205	0,285	0,365
$n, \text{хв}^{-1}$	84,855	66,260	56,196	49,657
$\omega_{\text{в}}, \text{рад/с}$	8,886	6,939	5,885	5,200
$S_{\text{сита}}, \text{м}^2$	0,785	1,288	1,791	2,293
зниження оберт. циліндра %	-	22	16	12
збільшення площ. сита. %	-	40	29	22

З таблиці 1 видно, що кожне наступне (збільшене за діаметром) сито, знижує свої оберти, відносно сита меншого за діаметром. Зниження обертів на 2-му циліндричному ситі, у нашому випадку є необхідною умовою для підтримки на ньому руху продукту у режимі «з обваленням». Аналогічно, зниження обертів на 16% на 3-му циліндричному ситі, відносно 2-го сита, компенсується збільшенням на 29% площі сита, яке подається під матеріал. Також і на четвертому циліндричному ситі оберти знизяться на 12%, а площа сита, що подається під матеріал, збільшиться на 22%, відносно до попереднього 3-го сита. Для розгляду впливу збільшення площі сита, що подається під матеріал, визначимо швидкість подачі сита під харчовий матеріал на кожному циліндричному ситі.

$$V_{ц} = \omega_{в} r_{ц} \quad (2)$$

$$V_s = V_{ц} l, \quad (M^2/c), \quad (3)$$

де $V_{ц}$ — лінійна швидкість обертання циліндра,

V_s — швидкість подачі робочої площі сита під сипкий матеріал,

l — довжина циліндричного сита.

Результати запишемо в таблицю 2.

Таблиця 2 – Лінійна швидкість й швидкість подачі робочої площі сита

	1 циліндр. сито	2 циліндр. сито	3 циліндр. сито	4 циліндр. сито
$S_{сита}, M^2$	0,785	1,288	1,791	2,293
$V_{ц}, M/c.$	1,107	1,422	1,667	1,898
$V_s, M^2/c$	0,835	1,074	1,258	1,433

Згідно отриманих значень, V_s зростає зі збільшенням діаметра сита, що гарантує успішне ведення процесу сепарації на всіх наступних циліндричних ситах при будь-якому варіанті завантаження барабану.

Визначення діаметрів циліндричних сит і, відповідно до цих діаметрів, визначення норм завантаження барабана продуктом проведемо аналітичним методом.

Формула для визначення площі сегмента поперечного перерізу шару продукту, із джерела [4]:

$$S_{сг} = 0,5r_{ц}^2 (2\delta - \sin 2\delta), \quad (4)$$

де δ — кут між радіусом, що проходить через центр симетрії сегмента й радіусом, який проходить через кінцеву крапку сегмента на колі.

Використовуючи формулу (4) запишемо необхідну для виконання рівність:

$$\frac{1}{j} \pi r_1^2 = \frac{1}{2} r_2^2 (2\delta_2 - \sin 2\delta_2), \quad (5)$$

де r_1 — радіус першого ситового барабана, м;

r_2 — радіус другого ситового барабана, м;

δ_2 — кут між радіусом, що проходить через центр симетрії сегмента поперечного перерізу шару продукту й радіусом, який проходить через кінцеву крапку цього сегмента на діаметрі 2-го циліндричного сита, рад;

j — множник, що визначає частину завантаження 1-го сита.

Перша частина рівності (5) являє собою площу основи 1-го циліндричного сита, яка повинна дорівнювати площі сегмента продукту у 2-му циліндричному ситі (друга частина рівності (5)), причому хорда сегмента продукту в 2-му ситі не повинна стикатися з поверхнею 1-го циліндричного сита.

Необхідно задатися технологічною величиною $h_{д}$, яка буде визначати дистанцію між зовнішньою поверхнею циліндричного сита й поверхнею сегмента продукту в наступному циліндрі з більшим діаметром (рисунок 1).

Діаметром першого циліндра задамося виходячи з необхідної продуктивності машини. Кут δ_2 і радіус 2-го сита необхідно визначити.

Використовуючи схему рисунка 1, можемо записати наступне співвідношення:

$$r_1 + h_\partial = r_2 \cos \delta_2 \Rightarrow r_2 = \frac{r_1 + h_\partial}{\cos \delta_2} \quad (6)$$

Підставивши значення для r_2 з виразу (6) у вираз (5) одержимо:

$$\frac{1}{2} \frac{(r_1 + h_\partial)^2}{\cos^2 \delta_2} (2\delta_2 - \sin 2\delta_2) - \frac{1}{j} \pi r_1^2 = 0 \quad (7)$$

Вираз (7) вирішуємо за допомогою програмного пакета MatCAD методом послідовного наближення, задаючи значення r_1 , h_∂ і j 1-го циліндричного сита. Визначивши, таким чином, кут δ_2 , зможемо визначити r_2 по виразу (6).

Аналогічним образом визначаються діаметри будь-якої кількості наступних циліндричних сит, для третього циліндричного сита:

$$\frac{1}{2} \frac{(r_2 + h_\partial)^2}{\cos^2 \delta_3} (2\delta_3 - \sin 2\delta_3) - \frac{1}{j} \pi r_2^2 = 0, \quad r_3 = \frac{r_2 + h_\partial}{\cos \delta_3} \quad (8)$$

Для четвертого циліндричного сита:

$$\frac{1}{2} \frac{(r_3 + h_\partial)^2}{\cos^2 \delta_4} (2\delta_4 - \sin 2\delta_4) - \frac{1}{j} \pi r_3^2 = 0, \quad r_4 = \frac{r_3 + h_\partial}{\cos \delta_4} \quad (9)$$

Для i -го циліндричного сита:

$$\frac{1}{2} \frac{(r_{i-1} + h_\partial)^2}{\cos^2 \delta_i} (2\delta_i - \sin 2\delta_i) - \frac{1}{j} \pi r_{i-1}^2 = 0, \quad r_i = \frac{r_{i-1} + h_\partial}{\cos \delta_i} \quad (10)$$

У даній методиці важливою умовою є однакова довжина всіх барабанів. Приведемо результати розрахунку діаметрів 2-го, 3-го й 4-го циліндричних сит (таблиці 3, 4) виконані в програмному пакеті MathCad залежно від h_∂ і j 1-го барабана при $r_1=0,125$ м.

**Таблиця 3 – Значення радіусів циліндрів при $j=3$,
1/3 - частина передбачуваного безперервного завантаження 1-го барабана**

h_∂ , м	r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
0,02	0,125	0,218	0,302	0,381
0,04	0,125	0,236	0,337	0,434
0,06	0,125	0,254	0,373	0,488
0,08	0,125	0,272	0,410	0,542
0,10	0,125	0,290	0,446	0,595

**Таблиця 4 – Значення радіусів циліндрів при $j=4$,
1/4 - частина передбачуваного безперервного завантаження 1-го барабана**

h_∂ , м	r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
0,02	0,125	0,206	0,280	0,350
0,04	0,125	0,224	0,316	0,404
0,06	0,125	0,242	0,352	0,458
0,08	0,125	0,261	0,389	0,513
0,10	0,125	0,279	0,426	0,569

На практиці не припустимо завантаження горизонтального циліндрично-го сита на 100%, але для моделювання роботи запропонованої конструкції в максимально критичній ситуації, приймемо умовне допущення, що 1-е сито безупинно завантажувється повністю. Щоб максимально ускладнити завдання для 2-го циліндричного сита, припустимо, що весь вихідний матеріал складається із фракції, що відразу й безперешкодно залишає 1-е сито та перевантажується на 2-е; друге сито ця фракція пройти не може й повинна з його зійти. Отже, 2-е циліндричне сито повинно постійно і безупинно переміщати максималь-

ний обсяг 1-го циліндричного сита, для цього власний обсяг 2-го сита, повинен вміщати повний обсяг 1-го таким чином, щоб сегмент продукту у 2-му ситі не стикався із зовнішньою поверхнею 1-го циліндричного сита. Тоді, наприклад, вираз (7) для другого циліндричного сита прийме вигляд:

$$\frac{(r_2 + h_0)^2}{\cos^2 \delta_3} (2\delta_3 - \sin 2\delta_3) - 2\pi r_1^2 = 0, \quad r_3 = \frac{r_2 + h_0}{\cos \delta_3}. \quad (11)$$

Діаметри інших циліндричних сит знайдемо за аналогією. Використовуючи програмний пакет Mathcad, при $r_1=0,125$ м, одержимо наступні значення, занесені в таблицю 5.

Таблиця 5 – Значення радіусів циліндрів при повному завантаженні 1-го барабана

h_d , м	r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м
0,02	0,125	0,286	0,426	0,555
0,04	0,125	0,302	0,459	0,605
0,06	0,125	0,319	0,493	0,656
0,08	0,125	0,337	0,528	0,708
0,10	0,125	0,354	0,563	0,760

За отриманими значеннями таблиць 3, 4, 5 можна зробити наступні висновки: діаметри циліндрів сит і, як наслідок, геометричні розміри вібро- циліндричного класифікатора залежать від необхідної продуктивності машини, яка обумовлює значення r_1 і передбачуване завантаженням 1-го циліндричного сита. Збільшення значення h_d також приводить до збільшення діаметрів циліндричних сит; збільшення діаметра і-го циліндра, відбувається на величину меншу, чим збільшення діаметра циліндра і-1.

На нашу думку, значення h_d повинне вибиратися враховуючи фізико-механічні властивості харчового матеріалу, насамперед розмір, форму часток і коефіцієнта внутрішнього тертя матеріалу, від яких буде залежати швидкість розсіпання часток продукту по похилій площі сегмента під впливом обертання й вібрації. При штучному моделюванні на практиці критичних ситуацій, подібних вищеприписаної, деякі харчові матеріали не будуть встигати розсіпатися по хорді сегмента продукту через інтенсивне надходження вихідного матеріалу. В результаті, на поверхні сегмента утвориться опуклість, що торкається деякої площі зовнішньої поверхні 1-го циліндричного сита, як наслідок порушується режим безперервного проходу матеріалу через 1-е сито, що миттєво приведе до його перевантаження й сходу з нього чужих фракцій.

Перспектива подальших досліджень полягає в експериментальній перевірці безперервного стійкого процесу сепарації сипкого продукту на експериментальному стенді, зробленому за представленою на рисунку 1 схемою. Викладена вище методика дозволяє розраховувати розміри циліндричних сит сепараторів при будь-якому обсязі безперервного завантаження, що дозволить створювати машини під задану продуктивність.

Література

1. Червоненко А. Г., Резонирующие ленточно-струнные сита для грохотов [Текст] / А. Г. Червоненко, Л. В. Вайсберг, О. А. Вяльцева и др. -Строительные материалы № 2, – М. 1985. С 22-30.
2. Гончаренко Г. М., Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв [Текст] / Г. М. Гончаренко, В. В. Дуб, В. В. Гончаренко. Довідник. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 304 с.
3. Заплетніков І. М., Ситовий циліндричний сепаратор розмілу зерна пшениці [Текст] / І. М. Заплетніков, О. Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв: Т1, Вип. 17, - Донецьк: ДонНУ-ЕТ, – 2007. - С. 23-27.
4. Заплетніков І. М., Аналітичне дослідження руху сипкої маси на вібраційному циліндричному ситовому класифікаторі [Текст] / І. М. Заплетніков, О. Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 20, -Донецьк: ДонНУЕТ. – 2009. - С.86-97.