

УДК 637.23
© 2010

С.І. Єрошенко

*Технологічний інститут
молока та м'яса УААН*

** Науковий керівник —
академік УААН
Г.О. Єресько*

ВИТРАТИ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПЛАСТИНЧАСТОМУ СКРЕБКОВОМУ ПАСТЕРИЗАТОРІ*

Досліджено закономірності витрат потужності на обертання робочих органів пластинчастого скребкового пастеризатора при нагріванні в'язких рідин. Одержано критеріальні залежності енергетичних витрат від режиму руху потоку для практичного застосування в інженерних розрахунках.

Проведені в ТИММ дослідження процесу нагрівання рідин у пластинчастому скребковому пастеризаторі підтвердили визначальний вплив рівня турбулізації потоку на теплопередачу [4]. Інтенсивність теплообміну зростає зі збільшенням швидкості обертання валу зі скребками. Але одночасно зростають і витрати потужності. Визначити доцільність підвищення інтенсивності теплообміну за рахунок рівня турбулізації можна лише на підставі оцінки енергетичних затрат на перемішування продукту.

Узагальнено (А. White та Е. Brenner [2]) залежність витрат потужності на перемішування від основних параметрів процесу $Eu=f(Re, Fr)$, яка містить критерії гідродинамічної подібності Рейнольдса та Фруда. Для пластинчастого скребкового охолоджувача А.А. Виноградовим отримана залежність виду $Eu=f(Re, Pr)$, в якій враховано також вплив теплових параметрів [1, 2]. Проте більшість авторів [3, 5, 7, 8] пріоритетним фактором у визначенні критерію потужності визнають рівень турбулізації потоку, а отримані ними залежності для замкненої системи спрощуються до вигляду $Eu=f(Re)$. В основному закономірності витрат механічної енергії виведено для скребкових охолоджувачів різних конструкцій. У пластинчастих пастеризаторах витрати енергії на турбулізацію не вивчалися. У зв'язку з цим нами досліджено енергетичні витрати на обертання скребків у пластинчастому скребковому пастеризаторі.

Мета досліджень — визначити фактори впливу на енергетичні навантаження скребкового пластинчастого пастеризатора; на основі експериментальних даних отримати критеріальну залежність витрат потужності на турбулізацію потоку, придатну для інженерних розрахунків.

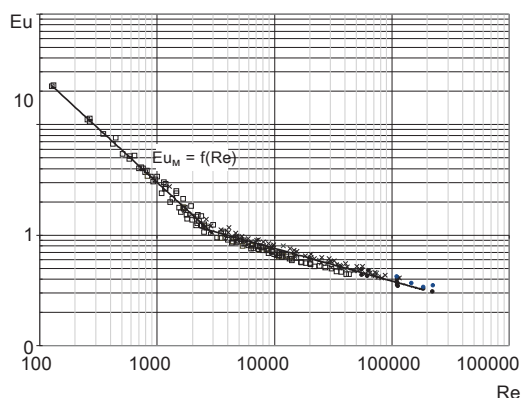
Матеріали та методи досліджень. Визначення витрат потужності досягли моделюванням процесу на реальній моделі пастеризатора та застосуванням теорії подібності [6]. Як модельні рідини для створення широкого діапазону значень критерію Re використовували дистильований гліцерин марки Д-98, його водний розчин

та знежирене молоко. Подачу модельної рідини $V'(m^3/c)$ здійснювали відцентровим насосом у межах 0,370—2,5 $m^3/год$ і регулювали прохідним краном. Об'ємну витрату визначали вимірюванням для кожної серії дослідів.

Моделювання режимів руху здійснювали зміною швидкості обертання приводного валу $n = 20—300$ об/хв за допомогою сервоперетворювача частоти Lenze типу EVS9323. Навантаження робочого валу визначали за допомогою вимірювача крутного моменту марки ИКМ-4 ГОСТ 15150 та кліщів електротехнічних ГОСТ 9071. Вимірювання тиску на лініях модельної рідини та теплового агента здійснювали манометрами зразковими ГОСТ 6521 з ціною поділок 0,01 kgf/cm^2 .

Дослідження витрат потужності виконували одночасно з вивченням закономірностей теплообміну в діапазоні значень чисел Рейнольдса $Re = 130—220000$. Теплофізичні параметри модельних рідин змінювали в межах значень критерію Прандтля $Pr = 3—3000$.

Результати та обговорення. Енергія, яка витрачається на турбулізацію, є одним із най-



Характеристика енергетичних витрат при нагріванні: □ — гліцерину; x — водного розчину гліцерину; ● — молока.

важливіших інтегральних показників технологічного процесу теплової обробки, які залежать від конструкції апарату, робочих органів та фізико-хімічних властивостей речовини. При цьому вирішальними є конструкція пастеризатора та його гідродинамічні характеристики, які повинні забезпечити мінімальні енергетичні витрати та високу ефективність пастеризації.

Загальна спожита потужність на робочому валу апарату витрачається на подолання опору приводу апарату та обертання валу з скребками і розраховується за вимірними значеннями моменту опору $T_{кр}$ (Н·м) за формулою:

$$N = \frac{\pi \cdot T_{кр} \cdot n}{30} \text{ (Вт)}. \quad (1)$$

Значення потужності «холостого ходу» N_{xx} , спрямованої на подолання сил тертя в приводі апарату, розраховували за вимірним значенням моменту опору без навантаження валу T_{xx} , який є однаковим для всіх швидкостей обертання, за формулою:

$$N_{xx} = \frac{\pi \cdot T_{xx} \cdot n}{30} \quad (2)$$

і використовували в наступних розрахунках.

Основна кількість енергії в апараті витрачається на видалення нагрітого пристінного шару рідини скребками та перемішування його з основним потоком. Витрати потужності на турбулізацію потоку N_m визначали за відрахуванням величини N_{xx} (2) від отриманих значень загальної спожитої потужності (1)

$$N_m = N - N_{xx} \text{ (Вт)}. \quad (3)$$

Якщо в замкненій системі знехтувати незначним впливом сили тяжіння g , то величину потужності, витрачену на турбулізацію (3), можна надати в загальному вигляді як функцію числа обертів валу n , визначального діаметра перемішуючого пристрою $d_{екв}$, в'язкості μ та густини ρ рідини $N_m = f(n, d_{екв}, \mu, \rho)$. Відповідно до методу теорії розмірностей [7] залежність перетворюється у рівняння:

$$\frac{N_m}{\rho n^3 d_{екв}^5} = B \left(\frac{\rho n d_{екв}^2}{\mu} \right)^{-k} \chi,$$

де χ — кількість перемішуючих пристроїв або в критеріальному вигляді $Eu_m = B \cdot Re^{-k} \cdot \chi$, де величини B і k є постійними для даної конструкції і визначаються експериментально.

Умови гідродинамічної подібності процесів у дослідній моделі з реальними конструктивними елементами забезпечували широким діапазоном значень критерію Re_m , який визначався з формули:

$$Re_m = \rho \cdot n \cdot d_{екв}^2 / \mu,$$

де n — швидкість обертання хрестовини зі скребками, s^{-1} ; μ , ρ — відповідно динамічна в'язкість (Па·с) та густина ($кг/м^3$), визначені експериментально для кожної серії дослідів; $d_{екв}$ — визначальний діаметр обертання турбулізуючих органів, m (розраховували як діаметр, що поділяє кільцевий проміжок між внутрішніми та зовнішніми кінцями скребків на 2 рівновеликі площі).

Значення критерію Ейлера для однієї хрестовини розраховували за формулою $Eu'_m = N_m / \rho n^3 d_{екв}^5 \chi$. Результати математичної обробки дослідних даних для одного турбулізатора, оснащеного 8-ма скребками, подані у вигляді графічної залежності $Eu_m = f(Re)$ в логарифмічній системі координат на рисунку. З графіка видно, що характер залежності змінюється у межах критичних значень критерію $Re_{кр} = 2000—3000$. Установлено, що в області ламінарного руху потоку для значень $130 < Re < Re_{кр}$ витрати потужності на перемішування описуються рівнянням:

$$Eu_m = 2400 Re^{-0,97}.$$

При зростанні рівня турбулізації вплив числа Re зменшується і узагальнена формула для розрахунку потужності у межах значень $Re_{кр} < Re < 220000$ має вигляд $Eu_m = 10,5 Re^{-0,28}$.

Характер одержаних закономірностей енергетичних витрат загалом узгоджується з даними, отриманими для скребкових циліндричних [3] та пластинчастих [5] охолоджувачів.

Висновки

Одержано критеріальні залежності для визначення енергетичних витрат при нагріванні в'язких рідин. Результати використа-

но для виготовлення установки високотемпературної пастеризації вершків та молочно-жирових сумішей продуктивністю 2500 кг/год.

Бібліографія

1. Виноградов А.А. Исследование работы пластинчатого охладителя скребкового типа//

Мол. пром-сть. — 1971. — № 7. — С. 15—17.

2. Виноградов А.А. Исследование работы пла-

стинчатого теплообмінника скребкового типу для охолодження високовязких молочних продуктів: автореф. дис. канд. техн. наук. — М.: ВНИИМП, 1972. — 22 с.

3. *Глуз М.Д., Павлушенко И.С.* Затрати потужності на перемішування неньютоновських жидкостей//Журн. прикладної хімії. — 1967. — № 7. — Вип. 40. — С. 1435—1490.

4. *Ерошенко С.І.* Інтенсивність тепловіддачі в пластинчастому скребковому пастеризаторі//Вісн. аграр. науки. — 2009. — № 9. — С. 78—80.

5. *Ересько Г.А.* Научное обоснование и разра-

ботка оборудования производства масла: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.08.12. — К., 1987. — 358 с.

6. *Звіт про виконання робіт за темою «Розробити установки для високотемпературної пастеризації вершків продуктивністю 1200 і 2500 кг/год».* К.: ТИММ, 2007. — 35 с.

7. *Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д.* Расход энергии при механическом перемешивании//Процессы и аппараты пищ. производств. — М.: Агропромиздат, 1985. — С. 105—109.

8. *Shelland A.H., Leung L.S.*//Brit. Chem. Eng. — 1962. — 7, № 4. — P. 262—267.

РЕЦЕНЗІЇ

ДОСЛІДЖЕННЯ ІСТОРІЇ СТАНОВЛЕННЯ НАУКИ ПРО ТВАРИННИЦТВО

Видання книги «Агрономія і становлення науки про тваринництво на теренах України та Франції (друга половина XVIII ст. — 1920 рік)» (В.А. Вергунов, К.: Аграр. наука, 2009. — 280 с.) викликане зростаючим інтересом до історичного минулого і розвитку науково-господарчих зв'язків українського народу з народами інших країн.

Використана методологія доводить, що головними суб'єктами історії науки були і залишаються постаті, їх діяльність у відповідних соціальних умовах та ідеологічному спрямуванні.

Книга містить 7 розділів. У логічній послідовності розглядаються питання генезису і становлення французької науково-освітньої та практичної агрономії, еволюційних змін в агрономії XVIII-XIX ст. Розвиток дослідництва у сфері зоотехнії показано на державному рівні. Особливий інтерес викликає інформація з досвіду організації дослідної справи землеробства півострова Крим, зв'язок організаційних підходів у російській (у т.ч. — українській) та французькій агрономії.

На основі використання і глибокого аналізу висвітлено різні історичні етапи розвитку тваринництва Франції XVII—XIX ст. Різні джерела наукових матеріалів засвідчують виключно важливу роль культурно-наукової еліти Росії та України XVIII—XIX ст. у розвитку дослідництва у сфері агрономії у цілому і тваринництва зокрема.

На підставі глибокого аналізу і обґрунтованих висновків усіх розділів висвітлено досягнення галузі тваринництва у світовому масштабі, що цілком відповідає висловленням В.І. Вернадського: «Поле наукових знань спільне і не може збагачуватися в окремих країнах без урахування світової історичної ходи науки».

Читачам цікаво ознайомитися з інформаційною базою французьких видань у фондах ДНСГБ УААН щодо становлення тваринницької галузі.

Галерея портретів французьких, російських та українських учених, неупереджене викладення їхніх науково-практичних досягнень, ілюстрація порід тварин сприяють зацікавленості та практичному використанню видання, розширенню кола вітчизняних фахівців-аграріїв високої кваліфікації, відіграватиме патріотично-виховну роль як навчальний посібник для аграрних ВУЗів і коледжів Франції та України.

О.О. Петренко,
професор Луганського національного
аграрного університету