

УДК 66.063.8:51-74

Тетяна Вітенько, Ігор І.Лучейко, Ігор Д. Лучейко

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Україна

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ЗМІШУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ІЗ ПОНИЖЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ ПРИВОДА

Tatyana Vitenko, Igor I. Lucheyko, Igor D. Lucheyko

THEORETICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT OF MIXING DEVICES WITH REDUCED POWER OF DRIVE

Апарати з мішалками застосовуються при проведенні різноманітних технологічних процесів у багатьох галузях промисловості, зокрема, харчовій. Приводом, як правило, служить асинхронний електродвигун, величину номінальної потужності якого розраховують із врахуванням пускової потужності – потужності в період пуску. При запуску двигуна через імовірне різке збільшення сили струму в ньому понад номінальне значення проходить інтенсивне, небажане виділення тепла.

Тому вибір потужності електродвигуна для мішалки має принципове значення. Завищена потужність веде до невиправданих втрат енергії, що зі сучасних позицій енергозбереження недопустимо; занижена – до збільшення пускового періоду, що створює небезпеку перегрівання двигуна, а значить, зниження строку його експлуатації. Отже, актуальність цієї проблеми незаперечна, і вказаний вибір повинен мати надійне техніко-економічне обґрунтування.

Кардинальне рішення розглядуваної проблеми – строгий аналітичний розрахунок робочої $N_{\text{роб}}$ та пускової $N_{\text{п}}$ потужності змішувального пристрою. Але розрахунок прямо зв'язаний із основною гідродинамічною задачею визначення поля швидкостей у реальному апараті. Ця задача на сьогодні не розв'язана.

Тому в інженерній практиці розрахунок потужності провадять у напівемпіричній формі, використовуючи експериментальні значення коефіцієнтів гідравлічного опору. Можливе застосування й апроксимуючих залежностей потужності від часу $N(\tau)$ в пусковий період $T_{\text{п}}$ [1, 2].

При проектуванні апаратів із мішалками необхідну номінальну потужність привода оцінюють за величиною робочої потужності мішалки

$$N_{\text{пр}} \geq k_{\text{п}} N_{\text{роб}} / \eta, \quad (1)$$

де $k_{\text{п}} = 1 \dots 4$ – поправочний коефіцієнт, пропорційний у першому наближенні $N_{\text{п}} = N(\tau = 0)$ чи величині “пускової” енергії $W_{\text{п}} = \int_0^{T_{\text{п}}} N(\tau) d\tau$ [2]; η – ККД привода.

При цьому обмеження на тривалість пускового періоду (трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором потужністю 0,6...100 кВт) має вигляд: $T_{\text{п}} \leq 12$ с.

Застосування спіральних лопатей певної форми дозволяє зменшити (теоретично [3]) величину $k_{\text{п}}$ а отже – зменшити споживання енергії W_1 окремим електродвигуном

$$\begin{aligned} k_{\text{п}}^{\text{спір}} < k_{\text{п}}^{\text{рад}} &\Rightarrow N_{\text{пр}}^{\text{спір}} < N_{\text{пр}}^{\text{рад}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta W_1 &= \int_0^T (N_{\text{пр}}^{\text{рад}} - N_{\text{пр}}^{\text{спір}}) d\tau > 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де T – час роботи привода.

Верхня межа пускової потужності для мішалки зі лопатями довільної криволінійної форми розрахована раніше [3]

$$N_{\Pi \max}^{\text{теор}} = \frac{1}{2} z_{\text{л}} h_{\text{л}} \rho \omega_0^3 \int_{R_{\text{вн}}}^{R_{\text{м}}} [\zeta_{\text{л}}(R) + \psi_{\text{л}}(R)] R^3 dR, \text{ Вт}, \quad (3)$$

де $z_{\text{л}}$ – кількість лопатей; $h_{\text{л}}$ – висота лопаті, м; ρ – густина рідини, кг/м³; ω_0 – номінальна кутова швидкість обертання мішалки, рад/с; $R_{\text{вн}}$, $R_{\text{м}}$ – радіуси відповідно внутрішніх кромek лопатей і мішалки, м; $\zeta_{\text{л}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору елемента лопаті; $\psi_{\text{л}} \leq 1$ – коефіцієнт форми елемента в площині обертання.

Теоретично максимальний ефект зменшення N_{Π} спірально-лопатевої мішалки порівняно з “подібною” радіальною ($\psi_{\text{л}} = 1$) в подібних умовах перемішування рівний

$$\kappa_{\Pi \max}^{\text{теор}} \approx \frac{\zeta_{\text{л}}^{\text{рад}} + 1}{\zeta_{\text{л}}^{\text{спір}}} > 1. \quad (4)$$

Масовість використання пропонованих пристроїв із пониженою номінальною потужністю електропривода дасть перспективу істотної економії енергії

$$\Delta W_Z = \sum_{i=1}^Z \int_0^{T_i} (N_{i \text{ пр}}^{\text{рад}} - N_{i \text{ пр}}^{\text{спір}}) d\tau = \sum_i \langle \Delta N_i \rangle T_i, \text{ Дж},$$

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^Z \int_0^{T_i} (N_{i \text{ пр}}^{\text{рад}} - N_{i \text{ пр}}^{\text{спір}}) d\tau}{\sum_{i=1}^Z \int_0^{T_i} N_{i \text{ пр}}^{\text{рад}} d\tau}, \%, \quad (5)$$

де Z – кількість впроваджених змішувальних пристроїв; $\langle \Delta N_i \rangle$ – середня за час T_i різниця потужностей для i -го двигуна. Зрозуміло, що ця економія повинна компенсувати затрати (разові) на виготовлення лопатей певної конфігурації.

Показано, що відносно “негативне” збільшення довжини L , а отже – матеріалоемності спіральних лопатей порівняно з радіальними

$$l_{\text{відн}} = L^{\text{спір}} / L^{\text{рад}} = \frac{1}{r_{\text{м}} - 1} \int_1^{r_{\text{м}}} \psi_{\text{л}}^{-1/2}(r) dr > 1, \quad (6)$$

де $r_{\text{м}} = R_{\text{м}} / R_{\text{вн}}$ – безрозмірний радіус мішалки.

Зокрема, для розгортки кола радіусом $r_0 = R_0 / R_{\text{вн}}$ коефіцієнт форми $\psi_{\text{л}} = (r_0 / r)^2$ і

$$l_{\text{відн}} = (r_{\text{м}} + 1) / 2r_0, \quad (7)$$

звідки $r_{\text{м}} = 5, r_0 = 1 \Rightarrow l_{\text{відн}} = 3$.

Література

1. Vitenko T.N., Lucheyko I.I. Phenomenological model of decrease power of mixer in start-up period // XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. Vol. 3: Abstracts. – Ekaterinburg, 2016. – P. 308.
2. Vitenko T.N., Lucheyko I.I. Phenomenological approach to calculation of energy expenses for acceleration liquid during start-up of mixer // XVI International Scientific Conference “High-Tech in Chemical Engineering-2016”: Abstracts. – Moscow, 2016. – P. 67.
3. Вітенько Т.М., Лучейко І.І., Лучейко І.Д. До розрахунку пускової потужності спірально-лопатевої мішалки // Міжнар. наук.-практична конф. “Хімічна технологія та інженерія”: Тези доп. – Львів, 2017. – С. 85.