

УДК.631.363

В.Федорейко, канд. техн. наук; В.Поліщук, канд. техн. наук; А.Чотарі.
 Тернопільський державний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕПЛООБМІННИКА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ЛІД-ВОДИ

Досліджено режими роботи електроприводу теплообмінника для технологічної лінії охолодження пивного сусла. Показано доцільність використання частотно-регульованого електроприводу, визначено діапазони його регулювання з метою економії електроенергії.

Умовні позначення

Re – критерій Рейнольдса;
 n – кількість обертів, об/хв;
 $d_e d_n$ – діаметр гвинта експериментальної і промислової установки, м;
 v – кінематична в'язкість, м²/с;
 V_e, V_n – об'єм баку експериментальної і промислової установки, м³;
 Eu – критерій Ейлера;
 P_m – механічна споживана потужність мішалки, кВт;
 ρ – густина рідини кг/м³;
 R_{ge}, R_{en} – еквівалентний радіус баку експериментальної і промислової установки;
 Nu – критерій Нусельта;
 α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м² град;
 λ – коефіцієнт теплопровідності рідини, Вт/м град;
 t – температура, С⁰;
 τ – час, год.;
 χ – коефіцієнт ефективності охолодження, град/год;
 k – кількість дослідів;
 L – відстань від гвинта до стінки баку, см.

Інтенсифікація технологічних процесів є основною тенденцією розвитку сучасного обладнання харчових виробництв. Відомо, що підвищення інтенсивності протікання теплових процесів безпосередньо пов'язано із зростанням витрат механічної енергії [1].

В теплообмінниках для збільшення холодонапору, в баку із змійовиком, застосовують різного виду мішалки, які активізують зняття холоду при сталій площі, приблизно у 1,5 – 2 рази.

Попередньо проведені дослідження продемонстрували доцільність використання частотно-регульованого електроприводу для мішалок теплообмінних систем. Однак невирішеною проблемою є встановлення діапазону регулювання та пошук необхідних швидкісних режимів роботи електроприводу [2].

Метою даної роботи є дослідження впливу частоти обертів на процес теплообміну і знаходження оптимального режиму роботи привода мішалки.

Оскільки реальні проблеми процесів перемішування зазвичай не вдається розв'язати аналітично внаслідок того, що їх механізм носить складний характер, то в таких випадках проблему розв'язують шляхом моделювання [3].

В лабораторії “Енергетичний менеджмент” при ТДПУ була розроблена експериментальна установка для дослідження впливу параметрів регульованого електроприводу на інтенсифікацію процесів теплообміну (рис.1.)

Установка працює наступним чином: при випаровуванні аміаку у змійовику 2 компресора 1 охолоджується холодоносій 3 (антифриз або розчин NaCl), що міститься в баку 4 і подається насосом 5 у змійовик охолодження лід-води 8, подача якої

регулюється дроселем 6. В баку встановлена мішалка 12 з електроприводом 9, частота обертів якого регулюється частотним регулятором 10 та фіксується тахометром 11. Лід-вода подається в бак 17 насосом 14, при цьому швидкість її руху регулюється дроселем 13. Імітація теплового навантаження здійснюється нагрівним елементом 16, потужність якого регулюється реостатом 15.

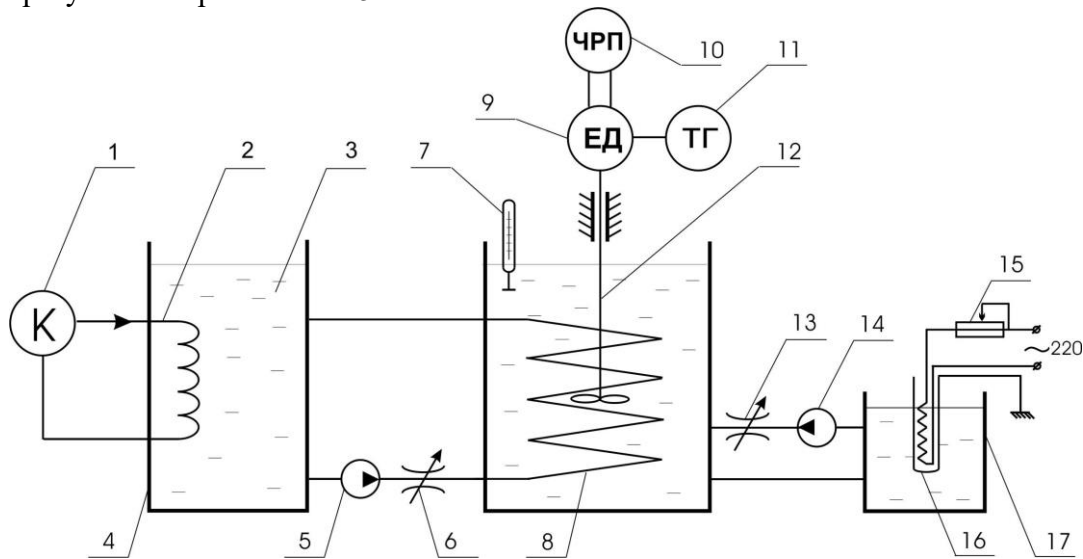


Рис.1 Схема експериментальної установки: 1 - компресор; 2 - змійовик компресора; 3 - холодоносію; 4 - бак холодоносія; 5 - насос подачі холодоносія; 6 - регульований дросель; 7 - термометр; 8 - змійовик з холодоносієм; 9 - електродвигун мішалки; 10 - частотно-регульований привод; 11 - тахометр; 12 - мішалка; 13 - регульований дросель; 14 - насос подачі лід-води; 15 - реостат; 16 - нагрівний елемент; 17 - бак теплового навантаження.

Два фізичні явища подібні, якщо подібні параметри, які їх характеризують. Нас цікавив вплив потужності, швидкості і напрямку руху рідини на процес теплообміну. Тому визначальними критеріями подібності були вибрані критерії Re , Eu , Nu .

Швидкість руху рідини в експериментальній і промисловій установці буде однаковою, якщо виконується умова рівності критеріїв Re [3].

Для перемішування критерій Re визначається як

$$Re = \frac{nd^2}{\nu}. \quad (1)$$

Так як рідини, застосовані у промисловій і експериментальній установці, аналогічні: вода і розчин $NaCl$ ($\nu_n = \nu_e$), то умова ідентичності $Re_n = Re_e$ буде виконуватись, якщо

$$n_e d_e^2 = n_n d_n^2 \quad \left(\frac{n_e}{n_n} = \frac{d_n^2}{d_e^2} \right), \quad (2)$$

а відношення буде рівним $\frac{d_n}{d_e} = 4$, то отримаємо перевідний коефіцієнт обертів

$\frac{n_e}{n_n} = 4^2 = 16$ для тих же геометричних розмірів баку. Якщо відстані від лопаті гвинта до

стінок баку підібрати в чотири рази менші ($\frac{L_n}{L_e} = 4$), то можна припустити що лінійна

швидкість і режим руху рідини біля труби теплообмінника будуть однаковими і $Re_n = Re_e$ при $n_e = n_n$.

Для процесів, які проходять в теплообмінниках з мішалками, критерій Ейлера (Eu), згідно з [4], записується так

$$Eu = \frac{P_m}{\rho n^3 d^5}. \quad (3)$$

Як було вказано вище, рідини у промисловій і експериментальній установці ідентичні ($\rho_n = \rho_e$) таким чином:

$$\frac{P_{м.н}}{P_{м.е}} = \frac{n_n^3 d_n^5}{n_e^3 d_e^5}. \quad (4)$$

Для $Re=const$ і $n_e=n_n$ при виконанні умови $P/V=const$ і $\frac{V_n}{V_e}=64$ одержуємо залежність

$$\frac{P_{м.н}}{P_{м.е}} = \frac{n_n^3 d_n^5}{n_e^3 d_e^5} = \frac{V_n}{V_e} = 16. \quad (5)$$

Оскільки на виробництві застосовувався двигун з $P_m=5,5$ кВт, то отримаємо потужність експериментального двигуна $P_m = \frac{5500}{16} = 343,75$ Вт, тоді умова (5) буде виконана.

Процес ідентичності теплообміну в апаратах з мішалками відбудеться, якщо $Nu_n=Nu_e$, або

$$\frac{\alpha_n d_n}{\lambda_n} = \frac{\alpha_e d_e}{\lambda_e} \quad (6)$$

Для двох процесів при умові, що застосовуються однакові рідини, виконується умова $\lambda_n = \lambda_e$, то

$$\frac{Nu_n}{Nu_e} = \frac{\alpha_n d_n}{\alpha_e d_e}, \quad (7)$$

Визначальними розмірами для теплообміну є діаметр баку або відстань від гвинта мішалки до труби теплообмінника, то замінюючи $d=R_z$, отримаємо

$$\frac{Nu_n}{Nu_e} = \frac{\alpha_n R_{zn}}{\alpha_e R_{ze}}. \quad (8)$$

Оскільки $\frac{R_{zn}}{R_{ze}}=16$, то отримуємо перевідний коефіцієнт тепловіддачі $\frac{\alpha_n}{\alpha_e}=16$ при

$Re_n=Re_e$.

При застосуванні перевідних коефіцієнтів для ідентичності критеріїв Re , Eu , Nu була створена експериментальна установка з розмірами: $d_{зв}=8,5$ см (діаметр гвинта); $P_m=370$ Вт (потужність двигуна); $L_{зв/см}=45$ см (відстань від гвинта до стінки баку); $H=40$ см (висота баку); $d_{тр}=22$ мм (діаметр труби теплообмінника), для моделювання реальних теплових процесів, які відбуваються на виробництві.

Для знаходження оптимальних режимів роботи мішалки і їх впливу на теплообмін були проведені досліді при сталих подачі холодоносія і площі теплообміну та змінній частоті обертання приводу. Вимірювались наступні параметри: частота обертів, температура теплоносія на вході і виході, температура лід-води та час охолодження.

Результати досліджень представлені на графіках (рис.2). Аналіз приведених графіків показує, що активізація теплообміну з допомогою мішалки дає ефект вже при 100 об/хв., а в зоні обертів біля 300 об/хв. теплообмінник має найкращі характеристики. Збільшення частоти обертання пропелерної мішалки не покращує процесу теплообміну, динаміку якого буде досліджено нижче.

Експериментально встановлено [5], що в апаратах з мішалками мають місце дві зони з різним характером руху рідини: центральна та периферійна. Досліді з підфарбовуванням центральної зони [6] показують, що фарба затримується в ній, не переходячи у периферійну зону до 20 с. Наявність гідродинамічно різних зон підтверджено і прямими вимірами локальних окружних швидкостей [7].

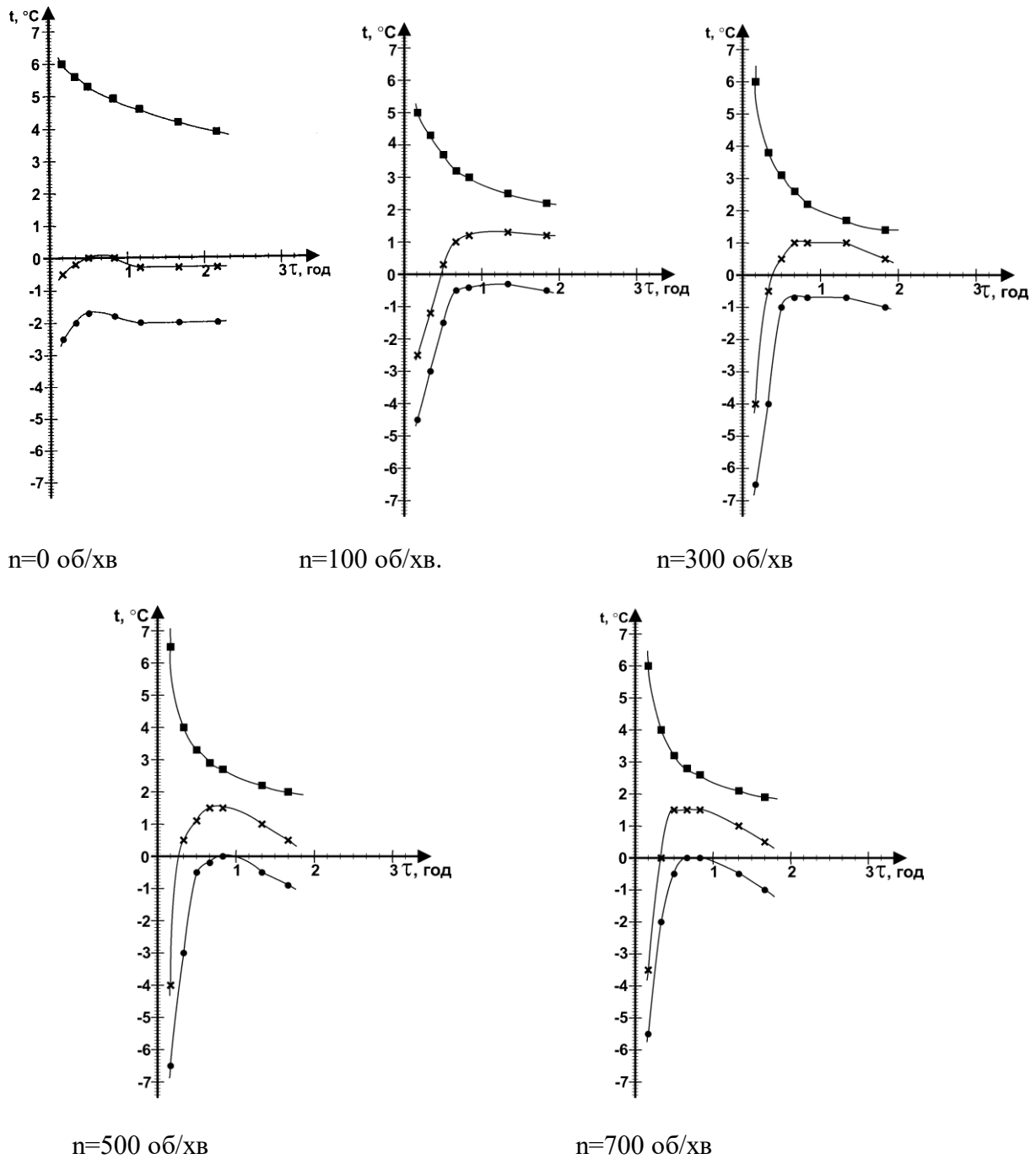


Рис.2 Графіки зміни температури при різних обертах мішалки:
 ■ - лід-води; ✕ - холодоносія на виході; ● - холодоносія на вході.

Якщо дослідити сталий тепловий процес, який відбувається з третьої точки (1,2 – пусковий режим) і ввести інтегральну величину – коефіцієнт ефективності охолодження (χ) сталого об'єму рідини та визначити його як відношення:

$$\chi = \frac{t}{\tau}, \quad (9)$$

а середню величину охолодження при сталому тепловому навантаженні визначити як:

$$\chi_{\text{сер}} = \frac{\frac{t_3}{\tau_3} + \dots + \frac{t_n}{\tau_n}}{k} \quad (10)$$

де k - кількість дослідів;
 то отримаємо залежність 1, приведену на рис. 3.

Як бачимо, застосування пропелерної мішалки майже в 2 рази збільшує коефіцієнт ефективності охолодження теплообмінника, а підвищення її обертів від 300 до номінальних (720 об/хв.) не призводить до підвищення теплообміну. Одночасно це приводить до значного зростання механічної потужності мішалки (залежність 2), що змушує виробників в 5 раз збільшувати встановлену потужність електродвигуна (5,5 кВт), використовуючи його в нерегульованому режимі.

Враховуючи вищесказане, можна зробити висновок, що застосування пропелерної мішалки з обертами в зоні 220-350 об/хв. дає змогу зменшити її механічну потужність до 250 – 700 Вт, підвищивши ефективність використання теплообмінника в 2 рази. Результати досліджень були апробовані і впроваджені на установці для приготування лід-води, що охолоджує пивне сусло (ВАТ “Бровар”, м. Микулинці Тернопільської обл.). Експериментальна установка побудована на базі частотно-регульованого електроприводу, розробленого Інститутом електродинаміки АН України з двигуном $P_n = 1,5$ кВт, $n_n = 720$ об/хв. Економічний ефект склав 432 грн. при терміні окупності 2,1 року.

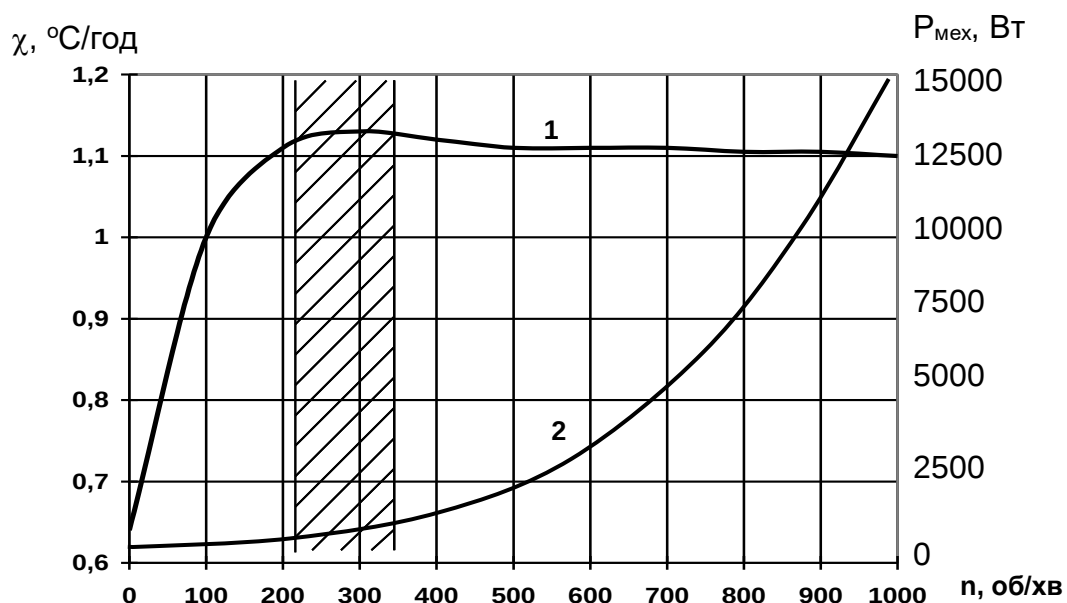


Рис.3 Залежність коефіцієнта ефективності охолодження теплообмінника (1) та механічної потужності (2) від частоти обертання мішалки.

Подальші дослідження будуть проводитись в напрямку впливу конструктивних параметрів теплообмінника (площі теплообміну, співвідношення діаметрів гвинта та баку) на інтенсивність технологічного процесу.

The operational modes of the electric drive of the heat exchanger for contribution links of cooling uncooked beer is investigated. The expediency of use of the frequency governed electric drive is shown; the control band with the purpose of saving the electric power is defined.

Література

1. Груданов В. Я., Сedaков Е. В., Левандовский С. Р. Особенности теплообменных аппаратов для стерилизации молока.- Молочная промышленность. - №12. -1999. - С 34-35.
2. Федорейко В. С., Поліщук В. А. Чотарі А. З. Підвищення енергетичної ефективності роботи холодообмінних апаратів у харчовій промисловості. Механізація та електрифікація сільського господарства. -Вип. 86. -2002. -С 229-233.
3. Ф.Стренк. Перемешивание и аппараты с мешалками. -Л.; Химия, 1975. -384с.
4. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. -Л.: Машиностроение, 1979. -272с.
5. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. В 5т. Т2. Механические и гидромеханические процессы. Под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2002. – 600с.
6. Yamamoto K., Kawanigasi Z. Studies on turbulent flow in agitating tank//Kagaku kogaku. – 1956. – V20.N12.
7. Aiba S. Flow patterns of Liquids in agitated vessels//AIChE Jornal. – 1958. – V12. №4.