

УДК 66.023.2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ ПЕРЕМІШУВАННІ МІШАЛКАМИ З МАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Л.І. Ружинська

Кандидат технічних наук, професор*

Контактний тел.: (044) 544-24-34

К.В. Кузьменко*

Контактний тел.: 063-799-20-10

E-mail: KoozmenkoK@gmail.com

*Кафедра біотехніки та інженерії

Національний технічний університет України "Київський

політехнічний інститут"

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

В хімічній та фармацевтичній промисловості широко використовуються апарати з мішалками з магнітним приводом. Авторами приведено експериментальні дані дослідження процесів теплообміну при перемішуванні рідини в таких апаратах

Ключові слова: перемішування, теплообмін, магнітний привод

В химической и фармацевтической промышленности широко используются аппараты с мешалками с магнитным приводом. Авторами приведены экспериментальные данные исследования процессов теплообмена при перемешивании жидкости в таких аппаратах

Ключевые слова: перемешивание, теплообмен, магнитный привод

Apparatus with mixers with magnetic drives are widely used in chemical and pharmaceutical industry. The authors present experimental data of the research of heat transfer processes in the time of liquid mixing in such apparatus

Key words: mixing, heat transfer, magnetic drive

1. Вступ

Перемішування широко використовується у фармацевтичній та біотехнологічній промисловостях на різних стадіях технологічного процесу. Перемішування здійснюється здебільшого в апаратах з механічними перемішувачами різними конструкціями. Енергія, необхідна для перемішування передається від двигуна, розміщеного зовні апарата, на вал мішалки. Герметичність апарата забезпечується ущільненням валу мішалки.

При виготовленні більшості лікарських засобів необхідно зберегти стерильні умови в апаратах [1]. Для апаратів з механічними перемішувачами забезпечення стерильності вимагає використання ущільнювачів складної конструкції. На сучасних підприємствах галузі останнім часом все ширше застосовують перемішувачі пристрої, в яких передача руху до мішалки здійснюється безконтактно, що забезпечує високий рівень стерильності та зменшення втрат енергії в ущільненнях валу мішалки. До числа таких перемішувачів пристроїв відносяться мішалки з магнітним приводом.

2. Актуальність проблеми

Процеси теплообміну при перемішуванні з використанням традиційних перемішувачів пристроїв в літературі описані достатньо повно. В той же час, на жаль, практично відсутні відомості щодо протікання процесів теплопередачі в апаратах при перемішуванні мішалками з магнітним приводом [1]. Поширеність

саме таких перемішувачів пристроїв на сучасних підприємствах, обумовлює необхідність проведення досліджень теплообміну при перемішуванні в апаратах з мішалками з магнітним приводом.

3. Основна частина

Схема експериментальної установки для вивчення теплообміну при перемішуванні зображена на рис. 1. Вона складається з мішалки магнітної, нагрівального елемента у вигляді змійовика, п'яти термопар, з'єднаних з вимірювальними приладами та ємності об'ємом 0,003 м³.

Використана мішалка призначена для перемішування і підігріву неагресивних та агресивних водних розчинів.

Корпус 1 мішалки виконаний з листової сталі товщиною 1 мм. До верхньої обичайки кріпиться електродвигун з встановленим на його валу постійним магнітом. На верхній частині корпусу встановлена електроплитка потужністю 150 ВА, закрита латунним кожухом 2. На передній панелі корпусу розташовані: перемикач для вмикання електродвигуна 3, лампа сигнальна 4, яка загорається одночасно з вмиканням електродвигуна, перемикач для вмикання електроплитки 5, індикатор роботи підігріву 6, ручка регулювання швидкості обертання валу електродвигуна з магнітом 7.

Принцип роботи мішалки оснований на передачі руху від обертаючого магніту до перемішувачого стержня 8 за допомогою магнітного поля. Розчин перемішується обертанням стержня 8, поміщеного в

посудину 9. Стержень герметично запаяний в поліетиленову оболонку для захисту від корозії та хімічної реакції з розчинами. Інтенсивність перемішування залежить від швидкості обертання магніту, довжини стержня, розчину, що перемішується. Конструкція приладу забезпечує при перемішуванні розчинів їх підігрів до температури $40 \pm 5^\circ\text{C}$. Для проведення дослідів використовується перемішувачий елемент розміром 40×6 мм.

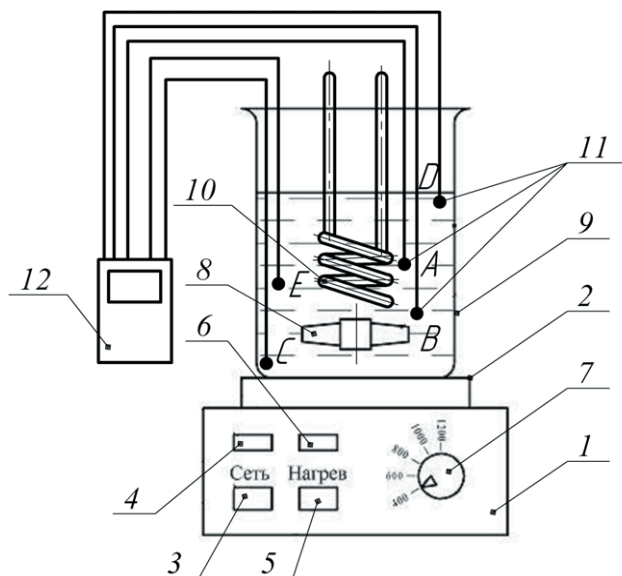


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

- 1 – корпус; 2 – кожух; 3 – перемикач для вмикання/вимикання електродвигуна; 4 – сигнальна лампа;
- 5 – перемикач для вмикання/вимикання електроплитки;
- 6 – індикатор роботи підігріву; 7 – ручка регулювання швидкості обертання вала електродвигуна з магнітом;
- 8 – перемішувачий стрижень; 9 – скляна ємність;
- 10 – електричний нагрівальний елемент; 11 – термометри;
- 12 – вимірювальний прилад

Нагрівальний елемент являє собою електричний прилад виконаний у вигляді змійовика, потужністю 1 кВт.

В якості ємності використано стакан хімічний скляний об'ємом $0,003 \text{ м}^3$, діаметр якого 150 мм, висота – 210 мм, товщина стінки – 2 мм.

З метою отримання найбільш повної інформації щодо розподілу поля температур термометри розміщують в наступних точках (рис. 2):

- в точці А поблизу нагрівального елемента;
- в точці В неподалік від мішалки;
- в точці С біля дна ємності (в застійній зоні);
- в точці D біля поверхні рідини;
- в точці E біля стінки ємності.

Для проведення експерименту ємність 9 з рідиною розміщують на мішалці з магнітним приводом 1 (рис. 1). В ємність поміщають електричний нагрівальний елемент 10, з'єднаний з електромережею. Температуру рідини в ємності вимірюють за допомогою п'яти термометрів 11, розміщених в різних точках об'єму (рис. 2). Сигнал з термометрів передається на електронний вимірювальний прилад 12.

Методика проведення експерименту. Спочатку готують експериментальну установку, воду дистильо-

вану, розчин цукру 15%, олію. Вимірюють в'язкість кожного розчину. Посудину з рідиною розміщують на установці. Вимірюють початкову температуру рідини та записують її до звітної таблиці. Вмикають нагрівальний прилад. Вмикають електродвигун. Кожні 30 с фіксують значення температури рідини в усіх точках. Повторюють вимірювання три рази. Обчислюють та записують середні величини отриманих значень.

При проведенні дослідів слід змінювати:

- частоту обертання мішалки;
- рівень рідини в посудині;
- в'язкість рідини, що перемішується.

Характер зміни температури з різних точок посудини у часі за результатами проведеного дослідження показано на рис. 3. З графіку очевидно, що найвища температура рідини встановлюється навколо нагрівального елемента і зберігається найбільше протягом всього часу перемішування. Нижча температура в точках В та Е. При чому в перші 3 хвилини температура в цих точках змінюється повільно і швидкість цієї зміни однакова. Різниця температур в точках В та Е складає близько 1°C . Починаючи з третьої хвилини дослідів температура в точці В зростає швидше, ніж в точці Е і, відповідно, різниця температур збільшується.

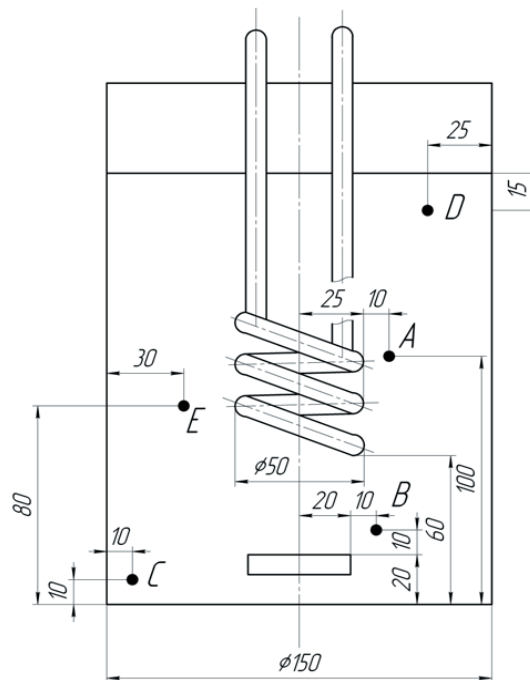


Рис. 2. Схема розміщення термометрів

Найнижча температура рідини спостерігається в точках С та D. Різниця температур рідини в цих точках незначна (не більше 2°C) і зберігається протягом всього часу проведення дослідів. Така ситуація обумовлена тим, що в точці С створюється застійна зона при перемішуванні, а точка D знаходиться далеко від нагрівального елемента та мішалки. Температура в точці D дещо вища, оскільки розповсюдженню тепла вгору у вертикальному напрямку сприяє природна конвекція.

Однак, значна різниця температур між точками D, В та Е (5°C) говорить про те, що потужності

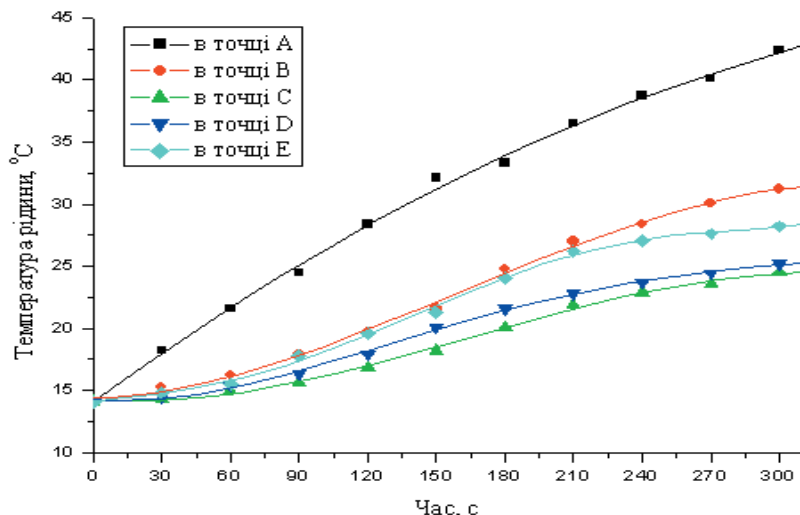


Рис. 3. Залежність температури рідини від часу

перемішуючого пристрою недостатньо для забезпечення рівномірного розподілу температур по об'єму ємності. Для зменшення цієї різниці можна збільшити потужність перемішуючого пристрою, швидкість обертання мішалки, її розмір або змінити форму мішалки для покращення гідродинамічної обстановки в апараті та зниження градієнтів температур.

Для аналізу впливу різних факторів на теплообмін при перемішуванні побудовані графіки зміни середньої температури рідини в ємності за різних умов (рис. 4 – 6).

Швидкість обертання мішалки $n_1 = 400$ об/с; об'єм рідини, що перемішується $V_1 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м³; рідина – вода дистильована

З графіку (рис. 4) видно, що чим вища швидкість обертання мішалки,

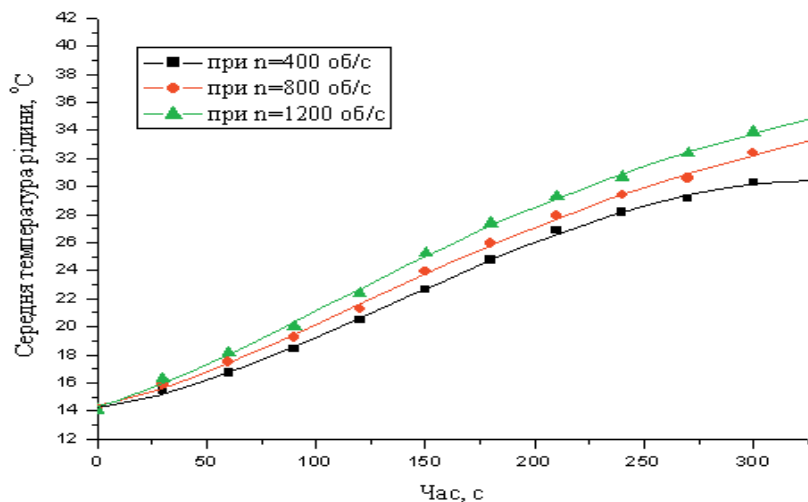


Рис. 4. Залежність середньої температури рідини від часу для різної частоти обертання мішалки

тим вища середня температура рідини в ємності. Оскільки потужність нагрівального елемента в досліді не змінюється, то можемо зробити висновок, що підвищення швидкості обертання мішалки сприяє зменшенню градієнтів температур рідини в ємності.

На рис. 5 зображена залежність середньої температури рідини в ємності від часу для різного об'єму перемішуваної рідини. Очевидно, що чим більший об'єм рідини, що перемішується, тим нижча середня температура рідини в ємності, оскільки потужності перемішуючого пристрою не достатньо для повноцінного перемішування всієї рідини і усунення градієнтів температур по об'єму посудини.

На рис. 6 розглянуто вплив в'яз-

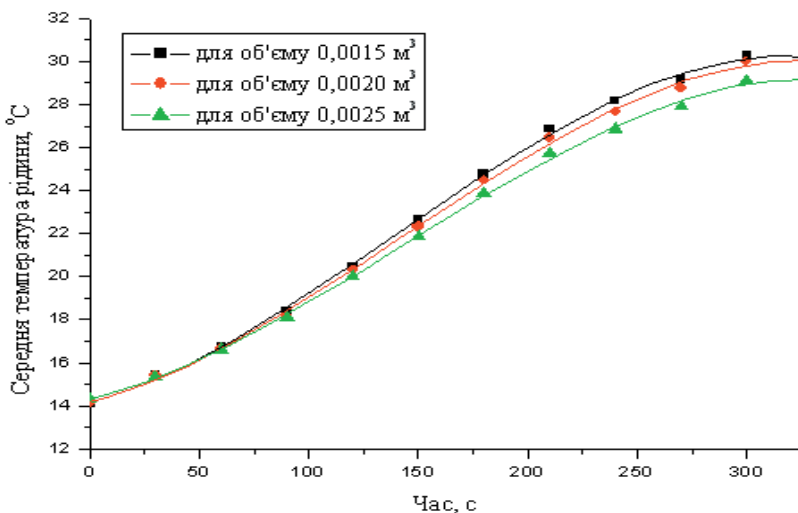


Рис. 5. Залежність середньої температури рідини від часу для різного об'єму перемішуваної рідини

кості рідини на середню температуру рідини в ємності при перемішуванні. Для досліді було використано воду дистильовану (в'язкість якої становить $1,0 \cdot 10^{-6}$ м²/с), розчин цукру 15 % ($2,1 \cdot 10^{-6}$) м²/с та олію ($60,0 \cdot 10^{-6}$ м²/с).

При незначній зміні в'язкості рідини умови теплообміну практично не змінюються. Однак при значному збільшенні в'язкості середня температура рідини в ємності зменшується і знижується швидкість зростання температури.

Крім того, відповідно до результатів проведених дослідів, поле температур в ємності розподіляється більш нерівномірно, тобто підвищуються градієнти температур.

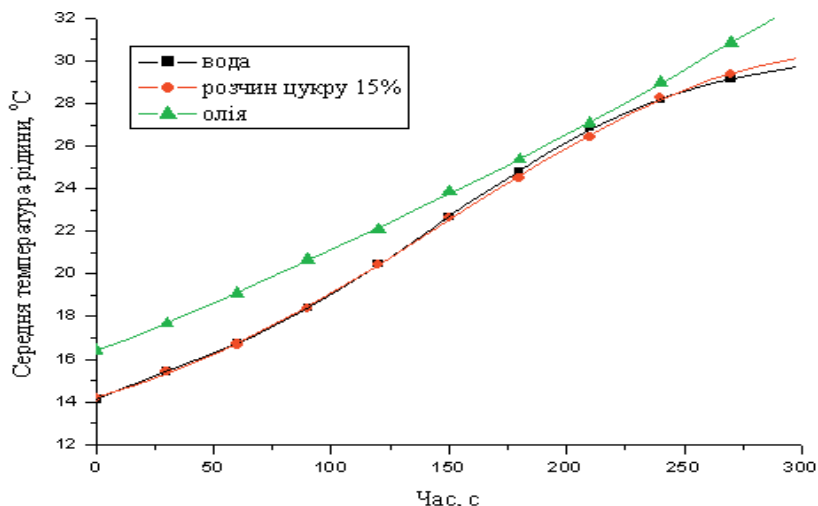


Рис. 6. Залежність середньої температури рідини від часу для різної в'язкості перемішуваної рідини

Висновки

Отже, згідно до результатів проведеного дослідження, можна зробити висновок, що найбільше на рівномірність розподілу температури рідини в ємності впливає швидкість обертання перемішуючого пристрою. Однак, не менш важливим є його форма, розміри та місце встановлення.

Крім того, встановлено, що чим більший об'єм рідини перемішується, тим гірше перемішуються верхні шари рідини і, відповідно, температура рідини в них нижча за середні шари. Тому для перемішування великих об'ємів рідини необхідно особливу увагу

звернути на розміри перемішуючого елемента, їх кількість, потужність. Для покращення умов теплообміну можна встановлювати додаткові теплообмінні пристрої або змінювати спосіб підведення теплоти. Іноді, доцільним є розділення всього об'єму рідини, що перемішується на декілька апаратів.

Також важливим параметром, який впливає на умови теплообміну при перемішуванні є в'язкість рідини. Але цей параметр неможливо змінювати в промислових умовах, адже він зумовлений вимогами технологічного процесу і є фізичною властивістю рідини.

Таким чином, рівномірний розподіл температури в ємності з рідиною про перемішуванні залежить від умов ведення процесу, співвідношення розмірів апарату та тривалості процесу. Проте, рівномірний розподіл температури по об'єму апарату є обов'язковою умовою для проведення більшості процесів фармацевтичного та мікробіологічного виробництва. Тому при розробці технологічних процесів необхідно ретельно дослідити характер розподілу поля температур у ємності та визначити такі умови ведення процесу (потужність нагрівання, швидкість обертання перемішуючого пристрою, місце встановлення перемішуючого елемента, його форму та розміри), які дозволять наблизити умови культивування до оптимальних.

Література

1. Штербачек З. Перемешивание в химической промышленности [Текст] / З. Штербачек, П. Тауск: Л., Ленинградское отделение Госхимиздата. 1963 г. – 416 с.
2. Seungjoo Haam. Local heat transfer in a mixing vessel using heat flux sensors [Thesis]: master of science dissertation / Seungjoo Haam. – The Ohio State University, 1990. – 151 p.