

КРЕСТОШІНА О. П., студентка; БИШКО М. А., аспірант PhD; ПОДИМАН Г. С., аспірант PhD; ДВОЙНОС Я. Г., к.т.н.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОД ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТІВ З МІШАЛКОЮ

Запропоновано методику оцінки енергосилових параметрів перемішувачів з мішалкою турбінного типу, та режимом розвинутої центральної воронки. Методика дозволяє оцінити якість перемішування в залежності від продуктивності апарату, режимів роботи та конструктивних особливостей ротора. Наведено приклад моделювання, та отримані результати.

Ключові слова: апарат з мішалкою, концентраційна неоднорідність, турбінна мішалка, центральна воронка.

© Крестошіна О. П., Бишко М. А., Подиман Г. С., Двойнос Я. Г., 2019

Постановка проблеми. Процеси перемішування складні для чисельного моделювання, а натурні випробування витратні, тому для попередньої оцінки можливих результатів проектування (перевірки розрахунків) пропонується використати імітаційне моделювання у середовищі SolidWorks для визначення режимів перемішування (потужність приводу, якість перемішування, продуктивність) при заданих визначальних розмірах апарату та мішалки. Крім перевірного розрахунку пропонується використати методику для оцінки, як змінюються параметри якості процесу, а саме, концентраційна неоднорідність та потужність приводу при зміні режимів і визначальних розмірів.

Аналіз попередніх досліджень. Технологія перемішування з утворенням емульсій шляхом дії мішалки на розділ фаз рідини та газу в зоні центральної воронки передбачає створення умов для утворення центральної воронки [1], та стабільності її форми. Відомі залежності для моделювання поведінки центральної воронки, які передбачають натурний експеримент та вимірювання глибини центральної воронки, і розрахунок радіусу вимушеного завихрення.

Невирішеною частиною наукової проблеми є визначення радіусу вимушеного завихрення в апараті що проектується, за даними натурних експериментів, що масштабуються.

Метою цієї статті є визначення можливості масштабування даних лабораторних досліджень для імітаційного моделювання промислового апарату з мішалкою, що проектується, створення методики проведення імітаційного експерименту і обробки результатів.

Виклад основного матеріалу. Турбінні мішалки широко використовуються для створення емульсій, – значні зсувні напруження біля поверхні мішалки дозволяють подрібнювати крупні краплі в'язкої рідини, при цьому закрита форма турбіни дозволяє зменшити енерговитрати на циркуляцію рідини в апараті для оброблення у пристінному до поверхні мішалки шарі. Широкий спектр задач хімічного синтезу включає створення умов для перемішування рідини з зрідженим газом, наприклад, у схемі синтезу етиленгліколю шляхом гідратації етилену процес розчинення зрідженого окису етилену у воді відбувається в апараті з мішалкою [2]. Використання турбінної мішалки з розвинутою центральною воронкою дозволяє збільшити площу поверхні фаз за рахунок утворення великої кількості бульок у рідині.

Конструкція та розміри турбінних мішалок і апаратів різноманітні, і визначити умови створення стабільної форми центральної воронки аналітично ускладнені, тому пропонується провести натурні та імітаційні експерименти з метою перевірки адекватності імітаційного експерименту з визначення радіусу вимушеного завихрення для турбінного типу мішалки при різних відносних розмірах апарату.

Для проведення натурального експерименту використано лабораторну установку з обертами валу мішалки $n=240 \text{ хв}^{-1}$ ($\omega=25 \text{ рад/с}$), радіус циліндричної частини ємності $R=0,06 \text{ м}$, висота рівня рідини у спокої $H_0=0,14 \text{ м}$. Для експерименту спроектовано та виготовлено на 3D принтері турбінну мішалку оригінальної конструкції з закритими спіральними лопатями та кільцевою щільною у верхній частині мішалки (радіус мішалки $R_m=0,03 \text{ м}$). Конструкція мішалки передбачає відсутність осаду та мінімальні енерговитрати, потрапляння повітря до внутрішнього простору ротора через центральну воронку, подрібнення бульок, та їх циркуляцію. В ході експерименту (рис. 1, 2) глибина центральної воронки становила $z_0=0,11 \text{ м}$. Розрахунок радіусу вимушеного завихрення, R_c (циліндр рідини, локальна швидкість рідини в якому відповідає швидкості на поверхні мішалки) виконано за методикою [1], м:

$$\frac{(H_0 - z_0)g}{R^2\omega^2} = \left(\frac{R_c}{R}\right)^2 - \left(\frac{R_c}{R}\right)^4 \left(0,75 + \ln\left(\frac{R}{R_c}\right)\right) \Rightarrow R_c = 0,021.$$

Імітаційний експеримент проведено за визначених в натурному експерименті умовах у середовищі SolidWorks, при цьому радіус вимушеного завихрення визначався за умови 10% розбіжності локальної швидкості рідини (води) від лінійної швидкості поверхні мішалки, на висоті 50% радіусу мішалки (0,03 м). Визначений радіус вимушеного завихрення склав 0,027 м. Розбіжність натурального та імітаційного експериментів склала 28,5%. Для уточнення умов імітаційного експерименту було розраховано глибину центральної воронки та відтворено її

у експерименті. Повторні дослідження з уточненими умовами дали меншу похибку результатів по відношенню до натурального експерименту – радіус вимушеного завихрення 0,024 м (розбіжність 14,3%).

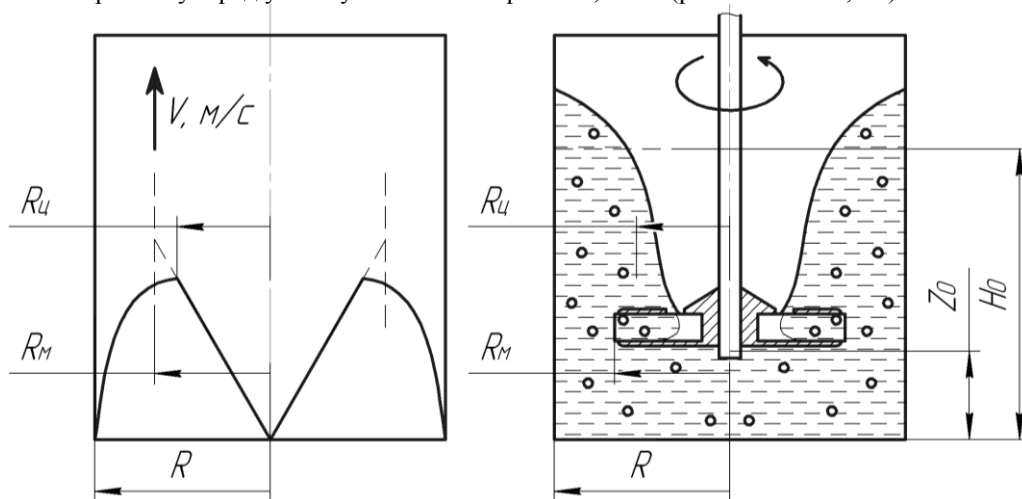


Рис. 1 – Основні позначення та схема натурального і імітаційного експериментів

Збільшення діаметру ємності для перемішування в натурному і імітаційному експериментах (до 0,15 м) призвело до збільшення глибини центральної воронки та радіусу вимушеного завихрення.

З метою оцінки перемішуючої здатності конструкцій, та енергосилових параметрів було проведено імітаційний експеримент з метою визначення якості перемішування, крутного моменту та продуктивності апарату, рис. 2. Якість перемішування було оцінено за концентраційною неоднорідністю потоку рідини на виході. Модельною рідиною обрано ацетон.

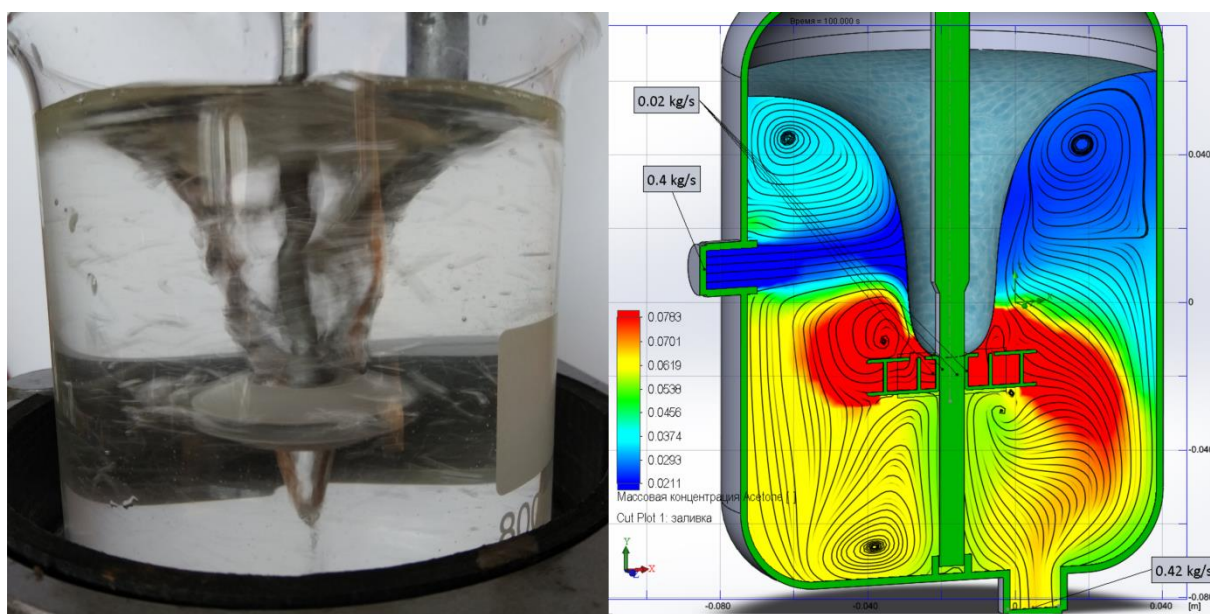


Рис. 2 – Натурний експеримент перемішування з режимом розвинутої центральної воронки (зліва), вхідні параметри для імітаційного експерименту, результати (праворуч)

Отримані результати з концентраційної неоднорідності представлено на рис. 3.

Проведено серію імітаційних експериментів, та запропоновано оцінювати перемішуючу здатність апарату за відношенням розбіжності концентрацій у потоці на виході з апарату до середньої концентрації на виході:

$$K_{mix} = \frac{C_{max} - C_{min}}{C},$$

де C_{max} – максимальна локальна масова доля рідини, що перемішується на виході з апарату, доля; C_{min} – мінімальна локальна масова доля рідини, що перемішується на виході з апарату, доля; C – середня масова доля рідини, що перемішується на виході з апарату, доля; K_{mix} – критерій якості перемішування.

Критерій якості перемішування монотонно зменшується при збільшенні продуктивності апарату.

Висновки. Проведені натурні та імітаційні експерименти збігаються у визначенні радіусу вимушеного завихрення (за наведених умов постановки експерименту) з достатньою для інженерних розрахунків точністю, а характер впливу параметрів процесів відображає реальний процес. При обрахунку різних умов процесу результати змінювались монотонно.

Перспективи подальших досліджень. Спрямування подальших досліджень полягає у проведенні натурних експериментів для визначення енергосилових параметрів, та накопичення даних для порівняння з результатами імітаційного моделювання та практичного впровадження результатів роботи.

Список використаної літератури

1. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности. Л., Ленинградское отделение Госхимиздата, пер. чешского, под ред. И.С. Павлушенко, 1963 г., 416 с.
2. Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза: учеб. для химико-технологических специальностей. — М.: Химия, 1968. — 846с.: ил.

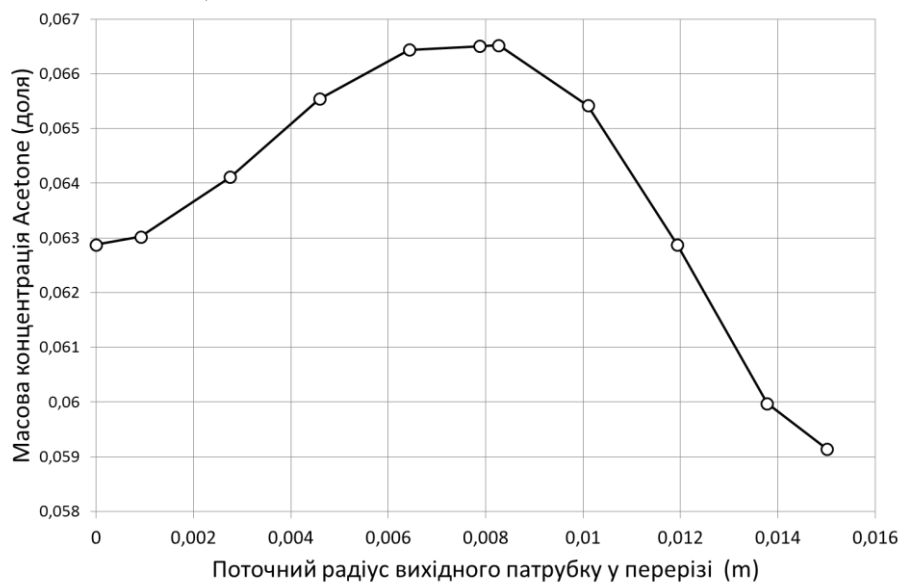


Рис. 3 – Результати імітаційного експерименту (концентраційна неоднорідність)

Надійшла до редакції 25.04.2019