

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ШАБРАЦЬКИЙ Сергій Володимирович

УДК 66-936.4.021.2(043.3)

ГІДРОДИНАМІКА ГАЗОРІДИННИХ СИСТЕМ В РЕАКТОРАХ З
САМОУСМОКТУЮЧИМИ ПЕРЕМІШУЮЧИМИ ПРИСТРОЯМИ

Спеціальність 05.17.08 – процеси та апарати хімічних технологій

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському державному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор
Стороженко Віталій Якович,
Сумський державний університет,
професор кафедри процесів та обладнання хімічних і
нафтопереробних виробництв.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шапорев Валерій Павлович,
Національний університет «Харківський політехнічний
інститут» (м. Харків),
завідувач кафедри «Хімічної техніки
та промислової екології»

кандидат технічних наук, доцент
Тараненко Геннадій Володимирович,
Технологічний інститут східноукраїнського
національного університету ім. В. Даля (м.
Сєвєродонецьк), доцент, кафедри «Обладнання хімічних
підприємств»

Захист відбудеться 3 березня 2017 року о 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 у Сумському державному університеті (40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, ауд. Ц-204).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету (40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2).

Автореферат розісланий «__» _____ 2017 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 55.051.04
кандидат технічних наук, доцент



Л.Л. Гурець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність наукової роботи. Інтенсифікація хіміко-технологічних процесів та підвищення ефективності технологічного обладнання є одним із пріоритетних завдань розвитку науки і техніки. У класичних апаратах об'ємного типу газоподібний реагент зазвичай подається під мішалку через барботер різних конструкцій. Основним показником, що характеризує ефективність цих реакторів є поверхність контакту фаз, яка досягається перемішувальними пристроями, серед яких використовуються відкриті турбінні мішалки стандартного типу. Процеси, що супроводжуються хімічною реакцією, наприклад, процеси хлорування, сульфонування, окислення і інші дуже часто залежать від раціонального вибору апаратурного оформлення. Якість продуктів цих реакцій залежить від засобу вводу газового реагенту в зону реакції та загальної гідродинаміки в реакторі. Останнім часом для цієї мети використовуються самоусмоктуючі мішалки, які, крім перемішування реакційної маси, використовуються в якості барботеру, що обертається. Останні дозволили спростити технологічні схеми виробництва, пов'язані з підтримкою надмірного тиску на лініях подачі газового реагенту. Для класичних газорідних апаратів відомі гідродинамічні розрахунки, описані в літературі, проте вони неприйнятні або недостатні для розрахунків апаратів з самоусмоктуючими перемішувальними пристроями.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає тематичному плану науково-дослідних робіт кафедри процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв (ПОХНВ) Сумського державного університету в рамках держбюджетної тематики «Розробка та дослідження вискоелективних апаратів для процесів масообміну, кристалізації та класифікації» (номер державної реєстрації 0110U001953), термін виконання – 2010–2014рр., а також держбюджетної тематики «Дослідження гідродинаміки та процесів тепломасообміну в апаратах з дисперсною фазою» (номер державної реєстрації №0115U002551), термін виконання – 2015-2019рр. Замовник – Міністерство освіти і науки України). Також робота була апробована на ТОВ «Завод органічного синтезу», ТОВ «Агросервіс», Науково-промислового центрі «Перспектива» Української технологічної академії, на всі результати наукових випробувань отримані акти впровадження.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в теоретичному та експериментальному дослідженню гідродинаміки процесу перемішування газорідного середовища в апараті об'ємного типу, визначення насосної продуктивності самоусмоктуючих ежекційних мішалок, середнього і локального газовмісту та потужності при перемішуванні газорідного середовища в залежності від гідродинамічних та конструктивних параметрів і створення науково обґрунтованої методики розрахунку реакторів об'ємного типу з самоусмоктуючими мішалками.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести такі дослідження:

- аналіз існуючих теоретичних описів процесу отримання газорідної суміші та огляд сучасних конструкцій перемішувальних пристроїв та самоусмоктуючих мішалок і газорідних апаратів;

- дослідити коефіцієнт витрат самоусмоктуючих мішалок від профілю поперечного перетину порожнистих лопатей та узагальнити отримані результати у вигляді рекомендацій для впровадження їх в апаратах об'ємного типу;

- дослідити насосну продуктивність самоусмоктуючих мішалок окремо по газовій фазі та рідині в залежності від частоти обертання та геометричних параметрів мішалки, визначення початкової частоти обертання;

- дослідити вплив ежекційної перегородки та її розташування на насосну продуктивність самоусмоктуючих мішалок по газовій фазі та рідині;

- дослідити середній та локальний газовміст перемішуемого середовища;

- дослідити залежність потужності самоусмоктуючих ежекційних мішалок при перемішуванні однорідного і газорідинного середовища.

Об'єктом дослідження є апарат об'ємного типу з самоусмоктуючими перемішувальними пристроями для проведення газорідинних реакцій.

Предмет дослідження – гідродинаміка, газовміст і потужність в апараті об'ємного типу з самоусмоктуючими перемішувальними пристроями.

Методи дослідження. При випробуванні різних моделей самоусмоктуючих мішалок в об'ємному апараті на експериментальному стенді використовувалися методи фізичного та математичного моделювання. Для визначення початкової частоти обертання мішалки та розміру бульбашок використовували візуальний та аналітичний методи. Газовміст в апараті визначали за допомогою різниці висот рідини під час перемішування. У процесі експериментальних досліджень використовували інструментальні вимірювання для визначення об'ємної продуктивності газової фази та рідини і потужності та візуальні спостереження при визначенні початкової частоти обертання мішалки та середнього і локального газовмісту. Опрацювання та узагальнення експериментальних даних виконували за допомогою комп'ютерної техніки та прикладних програмних пакетів, визначення похибок проведено методом математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів роботи. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень отримані наступні наукові результати:

- дістали подальшого розвитку фізична та математична моделі гідродинамічних процесів перемішування газорідинних систем в апаратах об'ємного типу з самоусмоктуючими перемішувальними пристроями;

- вперше отримані аналітичні залежності коефіцієнту опору порожнистої плоскої лопаті від діаметру мішалки та кута нахилу лопаті відносно площини обертання;

- вперше одержано аналітичні рівняння з визначення насосної продуктивності самоусмоктуючих перемішувальних пристроїв по газовій фазі та рідині залежно від розташування ежекційної перегородки;

- удосконалено аналітичні залежності з визначення витрат потужності на перемішування в апаратах об'ємного типу, які враховують особливості внутрішніх турбоежекційних перемішувальних пристроїв і газовміст газорідинних систем;

Практичне значення одержаних результатів.

- на основі отриманих залежностей для визначення гідродинамічних характеристик розроблена інженерна методика розрахунку газорідних апаратів об'ємного типу з самоусмоктуючими перемішувачами пристроями;
- розроблені нові високоефективні конструкції самоусмоктуючих перемішувачів пристроїв для проведення газорідних реакцій в апаратах об'ємного типу, які захищені патентами України;
- результати досліджень та методика розрахунку газорідних апаратів з самоусмоктуючими перемішувачами пристроями рекомендуються до використання в технологічних схемах таких виробництв, як наприклад, сульфонування алкілбензолів, озонування та хлорування пасивних вуглеводнів.
- наукові результати дисертаційної роботи впроваджено при виконанні промислових випробувань на ТОВ «Завод органічного синтезу», ТОВ «Агросервіс», Науково-промислового центрі «Перспектива» Української технологічної академії, що підтверджено отриманими актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, що складають сутність дисертаційної роботи отримані здобувачем, а саме проведений критичний аналіз літератури з розвитку самоусмоктуючих мішалок, створення лабораторних моделей самоусмоктуючих ежекційних мішалок, проведені експериментальні дослідження і обговорення та аналіз отриманих результатів разом із науковим керівником. Особистий внесок автора в наукових працях, опублікованих у співавторстві, наведено у списку за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на V Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології» (м. Дніпропетровськ, 2011 рік), на III

Міжнародній конференції молодих вчених «Хімія та хімічні технології» (м. Львів, 2013 рік), на III Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, 2014 рік), на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів» (м. Рубіжне, 2015 рік), на Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання розвитку технічних наук в умовах сьогодення» (м. Київ, 2015 рік).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 друкованих працях, з них 8 статей (з них 2 - у закордонних виданнях, 6 – у фахових виданнях), 8 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій та 5 патентів України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 154 найменувань на 20 сторінках, 4 додатків. Повний обсяг дисертації становить 205 сторінок, 142 сторінок основного тексту, який містить 50 рисунків, 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми досліджень гідродинаміки газорідної суміші в апаратах об'ємного типу з самоусмоктуючими мішалками, визначено зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання досліджень, їх практичне зазначення і наукову новизну, наведено відомості щодо публікації результатів роботи і апробації, приведена загальна характеристика роботи.

У **першому розділі** на основі огляду літературних джерел, авторських свідоцтв та патентів проаналізовано сучасний стан об'ємних апаратів з перемішувачами пристроями, які використовуються для проведення гетерогенних реакцій в системі газ-рідина та аналіз відомих конструкцій самоусмоктуючих мішалок, що використовуються в апаратах об'ємного типу. Розглянуто існуючі підходи до опису гідродинамічного стану, залежності середнього та локального газовмісту на потужність перемішувачого пристрою, проведено аналіз відомих розрахункових залежностей з визначення потужності в апаратах об'ємного типу з перемішувачами пристроями, в яких газовий реагент зазвичай подається під мішалку через барботер різних конструкцій.

Аналіз існуючих розрахункових залежностей показав, що істотним недоліком при використанні самоусмоктуючих мішалок є наявність малої кількості експериментальних даних та емпіричних рівнянь для визначення продуктивності по газовій фазі та рідині і впливу газовмісту на потужність самоусмоктуючих мішалок. Все це визначило основні напрямки проведення дослідження.

У **другому розділі** описана схема експериментальної установки для дослідження насосної продуктивності по газовій фазі та рідині в режимі

самоусмоктування, газовмісту перемішуємого середовища та потужності при перемішуванні в об'ємному апараті газорідної суміші.

Схема експериментального стенду (рис. 1)

включає в себе апарат об'ємного типу 1 з самоусмоктуючою ежекційною мішалкою, електронний стробоскопічний тахометр 2 для контролю частоти обертання валу мішалки, газовий лічильник 3, ротаметр 4 та проміжний прозорий стакан 5, призначений для визначення кількості рідини, що усмоктується мішалкою, кран 6 та регулюючий вентиль 7, який дозволяє підтримувати рівень води в проміжному стакані 5 таким, що дорівнює висоті рідини в апараті.

Для контролю продуктивності самоусмоктуючої ежекційної мішалки по рідині кран 6

переводиться в положення «відкрито», яке відповідає роботі апарату в безперервному режимі, забезпечуючи відведення із об'єму апарату надлишку

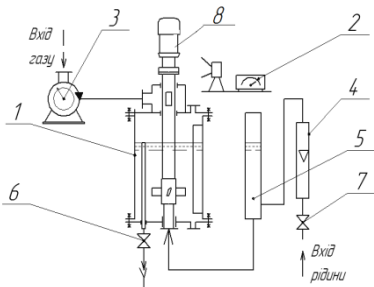


Рисунок 1—Схема експериментального стенду
1—апарат об'ємного типу з самоусмоктуючою мішалкою;
2—електронний стробоскопічний тахометр;
3—газовий лічильник;
4—ротаметр для рідини;
5—проміжний прозорий стакан;
6—кран;
7—регулюючий вентиль;
8—електродвигун

рідини через переливну трубку. Схема експериментальної установки дозволяє направляти початкову рідину безпосередньо в нижню частину мішалки, запобігаючи її попаданню в об'єм, що перемішується. При збільшенні частоти обертання мішалки в наслідок самоусмоктуючого ефекту рідина, що надходить з проміжного стакану 5 в порожнину нижньої частини мішалки потрапляє через щілинні отвори в порожнисті лопаті і далі в перемішуємий об'єм. Зменшення висоти рівня рідини в проміжному стакані 5 компенсувалося відкриттям регулюючого вентиля 7 і контролювали за допомогою ротаметру 4. Продуктивність мішалки по газовій фазі контролювали за допомогою газового лічильника 3 і секундоміру.

На експериментальному стенді проведено випробування по визначенню початкової частоти обертання самоусмоктуючої мішалки в апараті об'ємного типу (рис. 2), насосної продуктивності по газовій фазі та рідині, середнього та локального газовмісту в перемішуємому об'ємі та впливу потужності на перемішування однорідного та двофазного газорідинного середовища самоусмоктуючими мішалками по нижче описаних методиках:

1 В лабораторних моделях апаратів об'ємного типу діаметром 0,24 - 0,45 м з трьома відбивними перегородками при різних глибинах занурення 0,12-0,37 м визначали початкову частоту обертання n_0 самоусмоктуючих ежекційних мішалок діаметром 0,065; 0,126; 0,168 та 0,180 м з порожнистими лопатями різного поперечного перетину по розповсюдженню бульбашок газу в перемішуваному об'ємі апарату. Далі збільшуючи частоту обертання визначали продуктивність самоусмоктуючих мішалок по газовій фазі в режимі самоусмоктування, використовуючи газовий лічильник.

2. Середній газовміст перемішуючого середовища в апараті визначали по збільшенню висоти газорідинної суміші ΔH по відношенню до початкової поверхні рідини H за допомогою трьох метричних лінійок, розташованих з зовнішньої поверхні прозорої обичайки. При фіксованій частоті обертання самоусмоктуючої ежекційної мішалки проводили замір локального газовмісту φ_0 в певних точках вертикального перетину перемішуємого об'єму та в безпосередній близькості біля торця порожнистих лопатей. Для цього

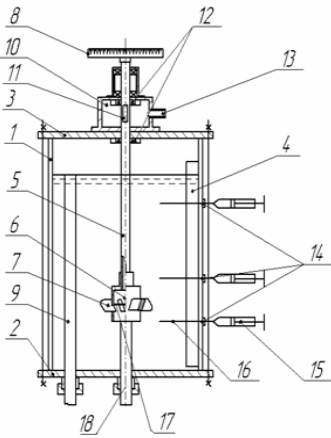


Рисунок 2 – Лабораторна модель апарату

- 1 – вертикальна циліндрична обичайка; 2 – днище;
- 3 – кришка; 4 – відбивна перегородка; 5 – порожнистий мішалка;
- 6 – самоусмоктуюча мішалка;
- 7 – порожнисті лопаті; 8 – пристрій для вимірювання потужності;
- 9 – переливна трубка;
- 10 – розподільча коробка;
- 11 – вхідний отвір в порожнистий вал; 12 – гумові манжети; 13 – штуцер подачі повітря; 14 – пробовідбірник; 15 – шпирець; 16 – капілярна трубка; 17 – ежекційна перегородка; 18 – патрубок для подачі рідини

використовували медичний шприць 15 (рис. 2) об'ємом 20 см³ сполучений з зондом у вигляді трубки з внутрішнім діаметром 1,8мм.

3. Витрати енергії на перемішування самоусмоктуючими ежекційними мішалками проводили по рідині та газорідинній суміші за допомогою спеціальної муфти 8 (рис. 2), яка дає можливість одночасно визначати частоту обертання мішалки та крутний момент на валу в рідині або газорідинній суміші. Витрати енергії на перемішування контролювали, використовуючи електричний метод. Різниця отриманих даних за допомогою механічного та електричного методів складала не більше 3-5%.

У третьому розділі наведені результати теоретичних досліджень з гідродинаміки усмоктування газової фази самоусмоктуючими ежекційними мішалками з різними профілями поперечного перетину порожнистих лопатей з метою визначення коефіцієнту опору лопаті та визначення найбільш ефективної конструкції порожнистих лопатей самоусмоктуючої мішалки і початкової частоти обертання n_0 .

Лабораторну модель апарату об'ємного типу заповнювали водою або водно-гліцериновим розчином на певну висоту, яку контролювали за допомогою міліметрової лінійки. При цьому робоча рідина, крім об'єму апарату, заповнює внутрішні порожнини самоусмоктуючої мішалки та порожнину валу, відтворюючи гідродинамічну рівновагу системи (рис.3).

При нерухомій мішалці рідина, що знаходиться в апараті врівноважується з рідиною в порожнистому валу, а енергетичний стан її може бути описаний рівнянням

$$\Delta P_B + \Delta P_{\text{Ц}} + \Delta P_{\text{Л}} - \Delta P_{\text{ГС}} - \Delta P_{\text{Г}} = 0, \quad (1)$$

де ΔP_B - тиск стовпа рідини в порожнистому валу мішалки, Па; $\Delta P_{\text{Ц}}$ - перепад тиску за рахунок відцентрової сили, Па; $\Delta P_{\text{Л}}$ - перепад тиску за рахунок обтікання лопаті потоком рідини, Па; $\Delta P_{\text{ГС}}$ - гідростатичний тиск на рівні лопаті, Па; $\Delta P_{\text{Г}}$ - гідравлічний опір валу і мішалки, Па.

Вмикання електродвигуна та поступове збільшення частоти обертання валу самоусмоктуючої мішалки приводить до зміни енергетичного стану системи, який відповідає зменшенню висоти стовпа рідини h_B (рис. 3а) в порожнистому валу. При певній частоті обертання мішалки лінія розподілу між повітрям та рідиною досягає рівня порожнистих лопатей $h_B = 0$ (рис. 3б), при цьому гідростатичний стовп рідини в порожнині валу дорівнює $\Delta P_{\text{Г}}=0$ та виникає можливість для проникнення газу в порожнину лопатей мішалки.

Отримані результати приведені у вигляді графічних залежностей $h_{\text{ГС}}$ від комплексу $n^2 d_m^2$ (рис. 4). При певній частоті обертання мішалки газ заповнює усю порожнину лопаті ($\varphi_r \approx 1$) і починає виходити з неї у вигляді поодиноких бульбашок у перемішуємий об'єм апарату.

Випробування самоусмоктуючих ежекційних мішалок з різними профілями поперечного перетину порожнистих лопатей показує, що початок обертання мішалок не співпадає з частотою, при якій починає усмоктуватися газовий компонент. Цю частоту обертання самоусмоктуючої мішалки називають початковою n_0 . Аналіз отриманих даних під час випробувань дає підставу зробити

висновки, що самоусмоктуючі мішалки з плоскими порожнистими лопатями є більш ефективними по насосній продуктивності по газовій фазі та середньому газовмісту в апараті об'ємного типу та дозволив отримати для цих мішалок емпіричну формулу для розрахунку початкової частоти обертання

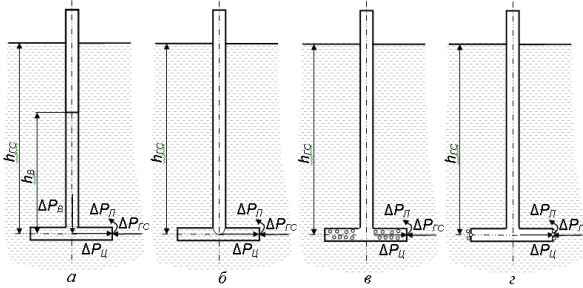


Рисунок 3 – Характерні режими роботи самоусмоктуючої мішалки: мішалка обертається з частотою при якій: *a* - рідина в порожнині валу мішалки опускається на певний рівень h_B ; *b* - рідина в порожнині валу мішалки опускається на рівень осі порожнистої лопаті h_{GC} ; *в* - газ починає змішуватись з рідиною у порожнині лопаті; *г* - газ починає виходити з лопаті в апарат

$$n_0 = 7,425 + 30,5h_{GC} - 61,3d_M, \quad (2)$$

де: d_M - діаметр мішалки, м; h_{GC} - висота рідини над порожнистою лопаттю самоусмоктуючої мішалки, м;

Рівняння (2) справедливе для самоусмоктуючих ежекційних мішалок

діаметром $d_M=0,06-0,18$ м з плоскими порожнистими лопатями.

Для самоусмоктуючих мішалок з плоскими порожнистими лопатями, що мають різний кут нахилу порожнистої лопаті по відношенню до площини обертання мішалки, отримали емпіричну формулу для розрахунку коефіцієнта опору порожнистої лопаті ξ_0 при турбулентному режимі

$$\xi_0 = 1,3 \cdot \text{Sin } \alpha - 3,75d_M - 10(0,35 - 5,56d_M^2)(\mu - 1 \cdot 10^{-3}) \quad (3)$$

де: μ - динамічна в'язкість робочої рідини, Па·с; $\text{Sin } \alpha$ - синус кута нахилу плоскої порожнистої лопаті.

Величина коефіцієнта опору порожнистої лопаті ξ_0 має досить незначні розбіжності між експериментальними та розрахунковими значеннями і може бути використана для розрахунку насосної продуктивності по газовому компоненту та потужності самоусмоктуючих мішалок.

Виток повітря з порожнистої лопаті самоусмоктуючої мішалки в перемішувачій об'єм рідини апарату починається при деякій частоті

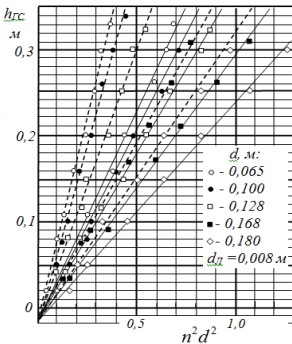


Рисунок 4 – Залежність рівня рідини в порожнистому валу і

апараті від множника $n^2 d^2$. Число лопатей $z =$

2-8; робоча рідина – вода; --- $\varphi_n=0$; ___ $\varphi_n \approx 1$

обертання мішалки n , яка перевищує початкову частоту обертання n_0 . У цьому випадку порожнина валу і лопаті заповнені повітрям, тобто $\Delta P_6=0$ (рис. 3з), тоді рівняння (1) енергетичного балансу приймає вигляд

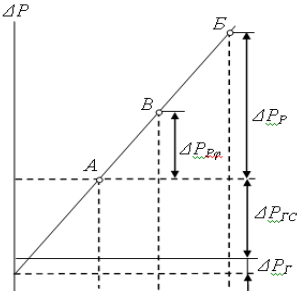


Рисунок 5 – Зміни перепаду тиску на виході з порожнистої лопаті мішалки

$$\Delta P_{Ц} + \Delta P_{Л} - \Delta P_{ГС} - \Delta P_{Г} = \Delta P_{Р}. \quad (4)$$

Перепад тиску в порожнині лопаті самоусмоктуючої мішалки за рахунок відцентрової сили складає

$$\Delta P_{Ц} = 0,5\pi^2 d_M^2 n^2 \xi_{Ц} \rho_{Г}, \quad (5)$$

в той же час перепад тиску за рахунок кінетичної енергії радіального турбулізованого потоку

$$\Delta P_{Л} = 0,5\pi^2 n^2 d_M^2 \rho \xi_0, \quad (6)$$

а гідростатичний тиск дорівнює

$$\Delta P_{ГС} = 0,5\pi^2 n_0^2 d_M^2 \rho \xi_0, \quad (7)$$

де: d_M - діаметр мішалки, м; n - частота обертання мішалки, c^{-1} ; $\rho_{Г}$ - щільність газу, $кг/м^3$; $\xi_{Ц}$ - коефіцієнт, що враховує гідравлічний опір у порожнині лопаті, ρ - щільність рідини, $кг/м^3$, n_0 - частота обертання мішалки, при якій починається виток газу з лопаті, c^{-1} .

З урахуванням рівнянь (5-7) виходить, що початкова продуктивність самоусмоктуючих відцентрово-ежекційних мішалок відповідає рівнянню

$$\Delta P_{Р} = 0,5\pi^2 d_M^2 [n^2 (\rho \xi_0 + \rho_{Г} \xi_{Ц}) - n_0^2 \rho \xi_0]. \quad (8)$$

Цей енергетичний стан системи (8) відповідає умовам, коли частота обертання самоусмоктуючої мішалки досягає початкової ($n = n_0$), (рис. 5) вона позначається літерою А, а при умовах, коли частота обертання мішалки перевищує початкову ($n > n_0$) - літерою В.

При збільшенні частоти обертання самоусмоктуючої мішалки витрати газу і питомий газоміст турбулізованого радіального потоку в середині порожнистої лопаті поступово зростають, що приводить до зменшення питомої щільності та кінетичної енергії радіального потоку, це визначає перепад тиску $\Delta P_{Л}$ газорідинної суміші в середині порожнистої лопаті

$$\Delta P_{Л} = 0,5\pi^2 n^2 d_M^2 [\rho(1 - \varphi) + \rho_{Г} \varphi] \xi_0, \quad (9)$$

де φ - питомий газоміст радіального турбулізованого потоку, $м^3$ газу/ $м^3$.

Тоді робочий перепад тиску, що визначає швидкість руху газу у порожнині лопаті складає

$$\Delta P_{Р} = 0,5\pi^2 d_M^2 \{ \{ n^2 [\rho(1 - \varphi) + \rho_{Г} \varphi] \xi_0 + \rho_{Г} \xi_{Ц} \} - n_0^2 \rho \xi_0 \}. \quad (10)$$

Враховуючи велику різницю між щільністю рідини і газу, рівняння (10) може бути спрощене, тоді перепад робочого тиску дорівнює

$$\Delta P_{Р} = 0,5\pi^2 d_M^2 \rho [n^2 (1 - \varphi) - n_0^2] \xi_0. \quad (11)$$

Такий енергетичний стан системи (рис. 5) позначено літерою В.

Швидкість транзитного потоку, що рухається в порожнистій лопаті під впливом перепаду тиску, можна вирахувати скориставшись відомим рівнянням

$$w = \sqrt{\frac{2\Delta P_p}{\rho_{II}}} , \quad (12)$$

де ρ_{II} – щільність транзитного потоку, кг/м^3 .

Враховуючи (11) теоретична насосна продуктивність по газовій фазі самоусмоктуючої мішалки V_G , $\text{м}^3/\text{с}$, визначається

$$V_G = \lambda S_0 \sqrt{\frac{2\Delta P_p}{\rho_{II}}} = \lambda_1 z S_0 \pi d_M \sqrt{\left(n^2 - \frac{n_0^2}{1-\varphi}\right) \xi_0} , \quad (13)$$

де: S_0 - площа отвору порожнистої лопаті мішалки, м^2 ; λ_1 - узагальнений коефіцієнт витрати; z - число лопатей мішалки.

При невеликій витраті газу самоусмоктуючими мішалками питомий газоміст турбулізованого радіального потоку незначний, а збільшення витрати газу відбувається при підвищенні частоти обертання мішалки n . Значення частоти обертання самоусмоктуючої мішалки n^2 значно більше значення $n_0^2/(1-\varphi)$, тому при лабораторних випробуваннях самоусмоктуючих мішалок та попередньому аналізі експериментальних даних використовувалися спрощені наступні рівняння

$$V_G = \lambda S_0 z \pi d_M \sqrt{\left(n^2 - n_0^2\right) \xi_0} . \quad (14)$$

Випробування самоусмоктуючих мішалок діаметром $d_M = 0,065; 0,1; 0,13\text{м}$ з ежекційною перегородкою та плоскими порожнистими лопатями висотою $b=0,020\text{м}$ і шириною плоскої щілини $0,004\text{м}$ при глибинах занурення $h_z=0,075; 0,12; 0,18\text{м}$ проводили в апаратах діаметром $D = 0,25 - 0,4\text{м}$ з трьома відбійними перегородками шириною $0,1D$ та статором. Результати випробувань самоусмоктуючої ежекційної мішалки діаметром $d_M = 0,1\text{м}$ з плоскими лопатями з насосної продуктивності в режимі усмоктання окремо по газовій фазі та рідині представлені у вигляді графічних залежностей (рис. 6).

Аналіз лабораторних випробувань свідчить про те, що насосна продуктивність самоусмоктуючих мішалок по газовій (рис. 6а) фазі залежить від частоти обертання, діаметру та глибини занурення мішалки, а насосна продуктивність по рідині (рис. 6б) – від діаметру та частоти обертання і не залежить від глибини занурення мішалки. Початок усмоктання повітря самоусмоктуючою ежекційною мішалкою відбувається при частоті обертання мішалки, яка відповідає $n_{ГС}$. Це приводить до здійснення циркуляції рідини, що переміщується через нижню частину порожнистої лопаті.

Удосконалення самоусмоктуючих ежекційних мішалок з щілинними порожнистими лопатями, з метою збільшення насосної продуктивності за рахунок зміни величини коефіцієнту витрати під час руху транзитного потоку в середині мішалки, яке полягає в зміні конфігурації вхідної кромки щілинного отвору на вході в порожнину лопаті. Вхідний щілинний отвір зі сторони лобової поверхні лопаті мав скіс вхідної кромки $90^0, 60^0$ і 45^0 .

Експериментальні випробування показали, що насосна продуктивність по рідині самоусмоктуючих мішалок з кутом скосу вхідної кромки 45^0 має найкращі показники в порівнянні з іншими мішалками. В наслідок обробки експериментальних даних було отримане рівняння по визначенню коефіцієнта витрати λ залежно від кута скосу вхідної кромки

$$\lambda = 0,5 + \cos^2 \beta - 0,17 \cos \beta, \quad (15)$$

де β - кут скосу вхідної кромки в порожнисту лопать.

В роторі самоусмоктуючої мішалки встановлювали ежекційну перегородку, яка поділяє площу перерізу вхідного каналу в плоску порожнисту лопать на дві частини з висотами a_1 і a_2 . Верхня частина каналу з висотою a_1 має площу перерізу

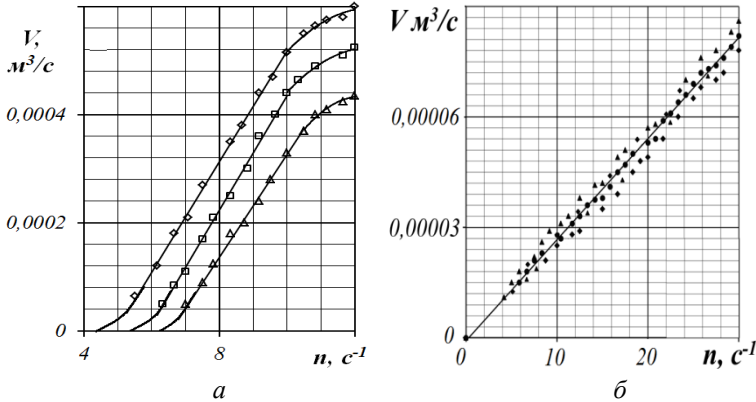


Рисунок 6 – Продуктивність самоусмоктуючої ежекційної мішалки $d_M = 0,065$ м в залежності від глибини занурення та частоти обертання мішалки: а – по газовій фазі; б – по рідинній фазі. \diamond – $h_3 = 0,075$ м; \square – $h_3 = 0,12$ м; Δ – $h_3 = 0,18$ м

S_1 , призначена для подачі газової фази, а нижня частина лопаті висотою a_2 площею S_2 призначена для подачі рідини.

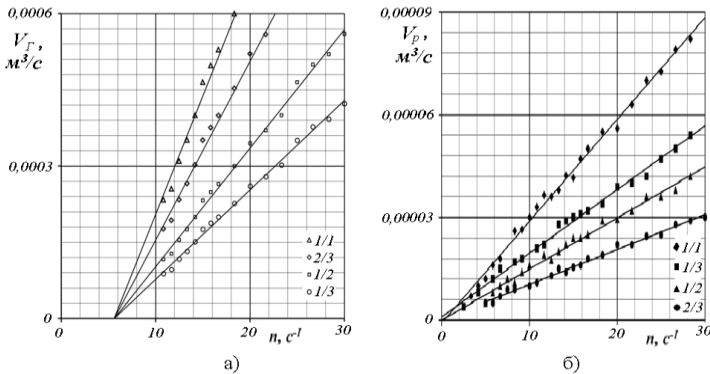


Рисунок 7 – Залежність насосної продуктивності самоусмоктуючих мішалок по газовій (а) і рідинній (б) фазах від розташування ежекційної перегородки

В період випробувань площа каналу для подачі газової фази змінювалась до площі щільного каналу лопаті S мішалки, яка пропорційна загальній висоті лопаті δ , у співвідношенні 1/3, 1/2, 2/3 (рис. 7). Отримані результати свідчать про те, що насосна продуктивність по газовій фазі самоусмоктуючих мішалок практично

залежить від співвідношення поділу площ перерізу вхідного отвору ежекційною перегородкою. Це пояснюється тим, що продуктивність самоусмоктуючих ежекційних мішалок залежить від різниці тиску (розрідження) в середині мішалки і в турбулентній зоні на торці порожнистої лопаті, яка залежить від гідродинамічних умов обтікання. Коливання отриманих величин знаходиться в межах похибки експерименту і дорівнює 5-7%. Результати лабораторних випробувань представлені в безрозмірній формі у вигляді залежностей:

для газової фази

$$\frac{V_r}{nd^3} = 0,03 \cdot \sin \alpha^{1,5} \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{-0,9} \quad (16)$$

і для рідини

$$\frac{V_p}{nd^3} = 0,0033 \cdot \left(\frac{a_2}{b}\right) \cdot \quad (17)$$

Рівняння (16) і (17) дозволяють проводити розрахунок подачі газової фази та рідини самоусмоктуючими ежекційними мішалками при проведенні газорідинних реакцій в апаратах об'ємного типу. Ці рівняння можна також використовувати для розрахунку рециркуляції газового реагенту при проведенні газорідинних реакцій з важкорозчинними реагентами в інтенсивному режимі. Для збільшення терміну перебування газового реагенту (рециркуляції газового реагенту) в рідинному об'ємі апарату, був запропонований ефективний перемішувач, який може бути використаний для проведення процесу окислення метилбензолів озonom і реакції хлорування у виробництвах антрахінонсульфокислоти, індантрона, 2,6-діхлор-4-нітроаніліна та інших пасивних вуглеводнів.

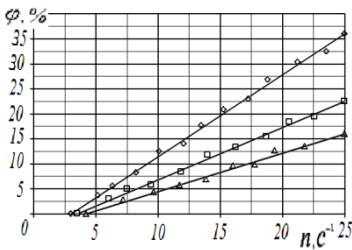


Рисунок 8 – Залежність середнього газомісту $\bar{\varphi}$ в апараті з самоусмоктуючою мішалкою від числа обертів при різних глибинах занурення: \diamond - глибина занурення мішалки 0,12м; \square - глибина занурення мішалки 0,18м; Δ - глибина занурення мішалки 0,24м

продуктивності самоусмоктуючих мішалок і глибини їх занурення та впливу газомісту на потужність.

Аналіз експериментальних даних з середнього газомісту, отриманих при зміні геометричних параметрів самоусмоктуючої ежекційної мішалки з плоскими лопатями і апарату показує, що середній газоміст перемішувачого середовища залежить від числа обертів і діаметру мішалки, ширини лопаті та діаметру апарату і глибини занурення мішалки (рис. 8), які пов'язані між собою у вигляді емпіричної залежності

У четвертому розділі наведені результати дослідження газомісту в апараті з самоусмоктуючою ежекційною мішалкою, розглянуті результати дослідження залежності середнього і локального газомісту від насосної

$$\bar{\phi} = 0,21(n - n_0)^{1,8} \cdot d_m^{1,5} \left(\frac{b}{d_m}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{H}{D_A}\right)^{0,6} \quad (18)$$

Відхилення розрахункових даних середнього газовмісту в перемішувачу середовищі від експериментальних не перевищує 11%.

Отримані результати випробувань локального газовмісту для самоусмоктуючих мішалок з циліндричними лопатями приводять до рівнянь

$$\varphi_A = z(1,67 \cdot 10^3 S_E + 0,008)(\varphi_0 - 0,2) \quad \text{при } \varphi_0 \leq 0,81 \quad (19)$$

$$\varphi_A = 1,3(\varphi_0 - 0,81) + 0,61z(1,67 \cdot 10^3 S_E + 0,008) \quad \text{при } \varphi_0 > 0,81 \quad (20)$$

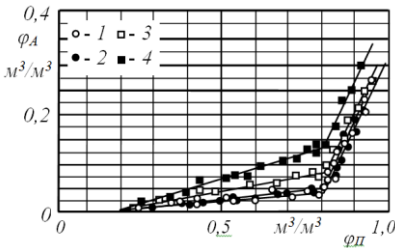


Рисунок 9 – Залежність середнього питомого газовмісту у об'ємі V_A робочого середовища від потенційного газовмісту газоріднинної суміші на радіусі мішалки: число лопатей $z = 2$; 1, 2 і 3 – $d_m = 0,128$ м, $d_o = 0,006$ м; 1-3 – циліндрична лопать з різною формою лобової поверхні; 4 – $d_m = 0,135$ м; щілинна порожниста лопать $0,02 \times 0,004$ м

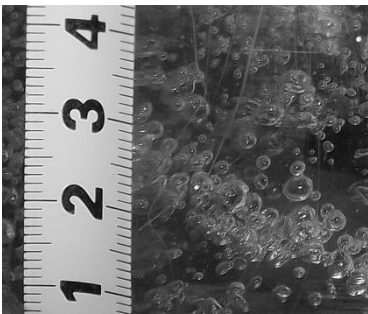


Рисунок 10 – Фото газоріднинної суміші (визначення діаметру бульбашки)

окремі бульбашки повітря з'являються в перемішувачу середовищі. Подальше підвищення частоти обертання мішалки приводить до зростання об'єму

де z – число лопатей мішалки; S_E – еквівалентна площа перетину газового потоку у отворі циліндричної лопаті.

Експериментальні вимірювання показали, що у розглянутих умовах газова фаза знаходиться у робочому середовищі у вигляді бульбашок практично однакового розміру $d_B = 0,003$ м (рис. 10). Враховуючи, що середній об'єм бульбашок газу складає

$V_B = 0,167\pi d_B^3$, а площа її поверхні $S_B = \pi d_B^2$. Тоді площу контакту фаз у апараті можна знайти по формулі

$$F = \frac{V_{GA}}{0,167\pi d_B^3} \pi d_B^2 = 2,0 \cdot 10^3 V_{GA} \quad (21)$$

Потужність, споживана при перемішуванні, є одним з параметрів, що характеризує гідродинаміку процесу. Приведення рідини у вимушений рух вимагає безперервного підведення енергії. Зв'язок між потужністю (енергією, що витрачається в одиницю часу) і умовами перемішування прийнято виражати у формі відомої залежності

$$N = k_N \rho n^3 d_m^5 \quad (22)$$

При обертанні самоусмоктуючої мішалки за рахунок дії радіального потоку та обтікання порожнистої лопаті перемішувачу рідиною виникає розрідження в порожнині валу і мішалки, яке сприяє усмоктуванню повітря та диспергуванню його в перемішувачу середовище. Це відбувається в тому випадку, коли частота обертання мішалки перевищує початкову, при якій

усмоктуємого повітря та інтенсифікації перемішувомого середовища в апараті. Внаслідок інтенсивного перемішування бульбашок повітря з рідиною в апараті середня щільність перемішувомої рідини знижується, що приводить до зменшення витрат потужності на перемішування в порівнянні з потужністю витраченою для перемішування однорідної рідини.

Коефіцієнт, званий часто критерієм потужності, іноді розглядається як аналог критерію Ейлера, у загальному випадку є змінною величиною. Він залежить від типу мішалки, розмірів і конструкції апаратів і властивостей середовища.

Введення газу в апарат і отримання у ньому газорідної суміші призводить до зниження потужності на перемішування (рис. 11), унаслідок зменшення щільності перемішувомого середовища в зоні лопатей мішалки. Це прийнято враховувати виразом

$$\frac{N_G}{N} = f\left(\frac{V_G}{nd_M^3}\right), \quad (23)$$

де N_G , N - потужність перемішувомого газорідного середовища і чистої рідини, відповідно, кВт.

При виборі конструкції та розмірів мішалок і апаратів виникає завдання оцінки ефективності перемішувомих пристроїв. Аналіз отриманих даних свідчить про те що на потужність мішалки впливають такі параметри: частота обертання та глибина занурення мішалки, ширина та кут нахилу лопаті. Далі без зміни основних параметрів апарату і мішалки з порожнистого валу виймали гумову пробку, заповнювали об'єм апарату на висоту водою, яка відповідала висоті рідини в попередньому випадку, вмикали електродвигун і підвищували частоту обертання мішалки.

Обробка експериментальних даних для самоусмоктуючих ежекційних мішалок з плоскими порожнистими лопатями від об'ємної продуктивності по газу в режимі самоусмоктування дозволила вивести залежність відношення витрат потужності $\frac{N_{G-P}}{N_P}$ від насосного ефекту $\frac{V_G}{nd_M^3}$ для апарату об'ємного типу з трьома вертикальними відбійними перегородками

$$\frac{N_{G-P}}{N_P} = 0,32 \cdot \left(\frac{V_G}{nd_M^3}\right)^{-0,08} \quad (24)$$

і для апарату зі статором

$$\frac{N_{G-P}}{N_P} = 0,42 \cdot \left(\frac{V_G}{nd_M^3}\right)^{-0,08}. \quad (25)$$

Також експериментальні дані дозволили вивести емпіричну залежність для визначення витрат потужності для самоусмоктуючих ежекційних мішалок від параметрів мішалки та об'ємного апарату

$$N_{зжс} = 4,4 \cdot \rho \cdot n^3 d_M^5 \cdot \sin \alpha^{0,3} \cdot \phi \cdot z \left(\frac{d_M}{D}\right)^{0,01} \cdot \left(\frac{h}{d_M}\right)^{-0,03} \quad (26)$$

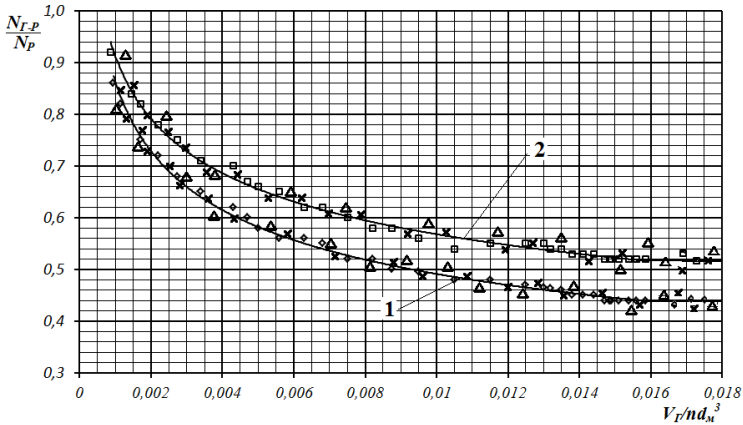


Рисунок 11 – Залежність $\frac{N_{Г-р}}{N_p}$ від насосної продуктивності $\frac{V_{Г-р}}{n \cdot d_M^3}$ самоусмоктуючих мішалок: 1 – апарат з відбійними перегородками; 2 – апарат зі статором

Отримані емпіричні рівняння можуть бути рекомендовані в процесах перемішування для малов'язких середовищ ($\mu=1.75$ спз). Аналіз проведених випробувань в апараті з відбійними перегородками і в апараті зі статором показав, що робота самоусмоктуючих ежекційних мішалок в останньому випадку менш ефективна, в той же час вона може мати перспективу при проведенні газорідних екзотермічних реакцій в режимі витіснення з послідуочим інтенсивним перемішуванням з основною реакційною масою, таким чином проводити в апаратах об'ємного типу з самоусмоктуючими мішалками швидкі екзотермічні реакції в лагідному температурному режимі, який дає можливість підвищити якість вихідного продукту реакції. Отримані емпіричні рівняння з потужності самоусмоктуючих мішалок можуть бути корисні для розрахунків реакторів, які рекомендуються для проведення реакцій сульфурвання або хлорування вуглеводнів газоподібними реагентами.

У п'ятому розділі приведений алгоритм розрахунку та деякі рекомендації щодо вибору та розрахунку апаратів об'ємного типу з перемішувачами пристроями.

Об'єм реактору періодичної дії буде визначатися одноразовою загрузкою реагентів, що залежить від середньорічної продуктивності та часу перебування реагентів в реакторі.

Для запропонованих самоусмоктуючих ежекційних мішалок з вертикальними плоскими порожнистими лопатями або мішалок, які мають певний кут нахилу порожнистих лопатей по відношенні до площини обертання мішалки отримана емпірична залежність з визначення коефіцієнту опору лопаті ξ_0 і емпіричне рівняння з визначення початкової частоти обертання мішалки в залежності від діаметру та глибини занурення мішалки.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на підставі ряду теоретичних та експериментальних досліджень та узагальнень вирішене науково-практичне завдання, яке полягає у підвищенні ефективності самоусмоктуючих ежекційних перемішуючих пристроїв.

1. У результаті проведеного аналізу літературних джерел з гідродинаміки газорідних апаратів об'ємного типу з перемішуючими пристроями був зроблений висновок про те, що самоусмоктуючі ежекційні мішалки є більш ефективні при проведенні, як швидких газорідних реакцій так і реакцій вуглеводнів з важко розчинними газовими реагентами.

2. Удосконалений і експериментально обґрунтований механізм усмоктування газового реагенту за рахунок обтікання поверхні порожнистої лопаті перемішуючим потоком.

3. Розроблена методика розрахунку насосної продуктивності самоусмоктуючої мішалки по газовій фазі та рідині. Отримані результати експериментальних випробувань оброблені у вигляді залежностей по визначенню початкової частоти обертання, при якій починається усмоктування газового реагенту, коефіцієнту опору порожнистих лопатей та насосної продуктивності по газу і рідині.

4. Отримані емпіричні рівняння по визначенню продуктивності самоусмоктуючих ежекційних мішалок при одночасному усмоктуванні реагентів.

5. Розроблені конструкції самоусмоктуючих ежекційних мішалок з урахуванням досягнення найбільш ефективного руху транзитного потоку.

6. Проведені дослідження та запропоновані рівняння придатні для розрахунку витрат потужності в об'ємних газорідних реакторах.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

D – діаметр апарату, м; d_m – діаметр самоусмоктуючої мішалки, м; d_o – середній діаметр пухирця газу, м; z – число лопатей мішалки; b, b_o – висота лопати мішалки, ширина каналу лопати, м; n_o, n_{zc}, n – початкова частота обертання мішалки, гідростатична і робоча частота обертання мішалки, 1/с; $H, H_p, \Delta H, H_{z-p}$ – висота апарату, глибина заповнення апарату, приріст висоти шару рідини за рахунок газовмісту, висота газорідного шару, м; h, h_b, h_{zc} – глибина занурення мішалки, середня висота газорідного шару над мішалкою, відстань від рівня рідини до нижньої крапки каналу лопати, м; α – кут нахилу лопаті по відношенню до площини обертання, град; β – кут скосу входної кромки в порожнисту лопать, град; ζ – коефіцієнт опору мішалки; $\bar{\varphi}$ – середній газовміст в апараті, од.; $\bar{\varphi}_o$ – середній газовміст в кільцевому обсязі на радіусі мішалки, од.; V_r – обсяг повітря усмоктуваного мішалкою, м³; V_p – обсяг рідини в апараті, м³.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Стороженко В.Я. Удосконалення перемішуючих пристроїв для газорідних реакторів об'ємного типу / В.Я. Стороженко, В.І. Склабінський, С.В.

Шабрацький // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2013 – №2. – С. 46-52.

(Здобувачем виконаний аналіз існуючих конструкцій перемішувачів пристроїв, виготовлена лабораторна модель самоусмоктуючих мішалок та проведені експериментальні випробування і аналіз отриманих даних).

2. Белкін Д.І. Дослідження витратних характеристик транзитного потоку в самоусмоктуючих мішалках / Д.І. Белкін, В.Я. Стороженко, С.В. Шабрацький, В.І. Шабрацький, В.І. Барвін // Хімічна промисловість України. – 2013 – №4. – С. 53-57.

(Здобувачем проведені експериментальні випробування лабораторних моделей самоусмоктуючих мішалок і аналіз отриманих даних, розрахований коефіцієнт витрати під час витікання рідини з лопаті мішалки).

3. Белкін Д.І. Характеристики мішалок у режимі до виходу газу з порожнистих лопатей / Д.І. Белкін, О.О. Демченко, С.В. Шабрацький, В.Я. Стороженко, В.І. Шабрацький, // Хімічна промисловість України. – 2015 – №1. – С. 25-31.

(Здобувачем проведені експериментальні випробування з визначення характеристик самоусмоктуючих ежекційних мішалок в газорідних об'ємних апаратах, необхідних для розрахунків насосної продуктивності).

4. Белкін Д.І. Гідродинаміка газорідних апаратів з відцентрово-ежекційними мішалками. Насосна продуктивність мішалок / Д.І. Белкін, О.О. Демченко, С.В. Шабрацький, В.Я. Стороженко, В.І. Шабрацький, // Хімічна промисловість України. – 2015 – №2. – С. 21-31

(Здобувачем проведені експериментальні випробування та аналіз отриманих даних з метою розробки методу розрахунку насосної продуктивності самоусмоктуючої ежекційної мішалки газорідних апаратів).

5. Белкін Д.І. Гідродинаміка газорідних апаратів з відцентрово-ежекційними мішалками. Питомий газовіст середовища і площа поверхні контакту фаз / Д.І. Белкін, О.О. Демченко, С.В. Шабрацький, В.Я. Стороженко, В.І. Шабрацький // Хімічна промисловість України. – 2015 – №3. – С. 50-56

(Здобувачем проведені експериментальні випробування і аналіз отриманих даних та участь в розробленні методу розрахунку середнього питомого газовісту у перемішувачу середовищі).

6. Sklabinsky V., Storozhenko V., Shabratsky S. Improve the performance of self-suction mixers in the apparatus of the volume tupe / Chemik – 2015 - № 6, p. 335-341.

(Здобувачем проведені експериментальні випробування потужності на перемішування самоусмоктуючих мішалок ежекційного типу та отримані емпіричні рівняння).

7. Стороженко В.Я. Насосна продуктивність самоусмоктувальних мішалок ежекційного типу / В.Я. Стороженко, С.В. Шабрацький // Хімічна промисловість України. – 2016 – №2. – С. 25-32

(Здобувачем проведені експериментальні випробування, аналіз отриманих даних з насосної продуктивності мішалок ежекційного типу та отримані емпіричні рівняння).

8. Shabratsky S., Storozhenko V. A Power Calculation Method for Self-Sucking Mixers / Eureka: Physics and Engineering, 3, 2016, p. 25-30

(Здобувачем проведені експериментальні випробування і аналіз отриманих даних з розрахунку потужності на перемішування само- усмоктуючих ежекційних мішалок та отримані емпіричні рівняння).

9. Шабрацький С.В. З питання впровадження апаратів об'ємного типу при синтезі нових речовин / С.В. Шабрацький // Хімія та сучасні технології: V Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 20-22 квітня 2011 р.: тези доп. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 276.

(Здобувачем проведений аналіз літературних даних, участь в розробці методу розрахунку насосної продуктивності самоусмоктуючої ежекційної мішалки).

10. Шабрацький В.И. Повышение эффективности работы самовсасывающих мешалок / В.И. Шабрацький, В.И. Барвін, С.В. Шабрацький, В.Я. Стороженко // Сучасні технології в промисловому виробництві: Друга всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція, 28-30 жовтня 2012 р.: тези доп. – Суми, 2012. – С. 230.

(Здобувачем проведені експериментальні випробування та проведений аналіз отриманих даних).

11. Стороженко В.Я., Дослідження гідродинаміки самоусмоктуючих мішалок / В.Я. Стороженко, С.В. Шабрацький // III Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція, 22–25 квітня 2014 р.: тези доп. — Суми, 2014. — С.81-82.

(Здобувачем проведені експериментальні випробування самоусмоктуючих мішалок і проведений аналіз отриманих даних)

12. Storozenko V.Y. Productivity of Self-Suction Mixers on Expense Coefficient / V.Y. Storozenko , S.V. Shabratsky // Хімія та хімічні технології: III Міжнародна конференція молодих вчених ССТ-2013. – Львів, 2013. — С.138-141.

(Здобувачем проведені експериментальні випробування і аналіз отриманих даних, участь в розробці методики розрахунку продуктивності самоусмоктуючих мішалок в залежності від коефіцієнта витрати).

13. Шабрацький С.В. Потужність, що витрачається самоусмоктуючими перемішуючими пристроями в газорідних реакторах. / С.В. Шабрацький, В.Я. Стороженко, В.І. Шабрацький, В.І. Барвін // Сучасні технології в промисловому виробництві.: Науково-технічна конференція 14-16 квітня 2015 р.: тези доп. – Суми. – С 105-106.

(Здобувачем проведені експериментальні випробування і аналіз отриманих даних та визначення емпіричного рівняння з визначення потужності на перемішування самоусмоктуючими мішалок в залежності від газовмісту).

14. Шабрацький С.В. Методика визначення потужності, що витрачається самоусмоктуючими перемішуючими пристроями. / Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів.: Всеукраїнська науково-технічна конференція 14-17 квітня 2015 р.: тези доп. – Рубіжне. – С 49.

(Здобувачем наведений загальний опис методики розрахунку продуктивності самоусмоктуючих мішалок)

15. Шабрацький С.В. Перспективи впровадження апаратів об'ємного типу для проведення газорідних реакцій. / С.В. Шабрацький, В.Я. Стороженко // Актуальні

питання розвитку технічних наук в умовах сьогодення : Міжнародна науково-практична конференція. 12-13 червня 2015 р.: тези до. – Київ. – С 39.

(Здобувачем проведено аналіз та наведені основні напрямки розвитку самоусмоктуючих перемішуючих пристроїв)

16. Шабрацький, С. В. Потужність, що використовується самоусмоктуючими перемішуючими пристроями в газорідних реакторах / С. В. Шабрацький, А. В. Грудина, В. Я. Стороженко // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій (м. Суми, 14-17 квітня 2015 р.) / Редкол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. – Суми : СумДУ, 2015. – Ч.2. – С. 105-106.

17. Патент на корисну модель № 60097 Україна, МПК В 01 F 5/16. Пристрій для перемішування / Шабрацький В.І., Белкін Д.І., Шабрацький С.В.; Заявник та патентовласник Шабрацький В.І. - № u201013870; заявл. 22.11.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11.

18. Патент на корисну модель № 76528 Україна, МПК В 01 F 5/16. Пристрій для перемішування рідин / Шабрацький С.В., Стороженко В.Я.; Заявник та патентовласник Шабрацький С.В. - № u201206726; заявл. 01.06.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

19. Патент на корисну модель № 87666 Україна, МПК В 01 F 5/16. Самоусмоктувальна мішалка / Шабрацький С.В., Стороженко В.Я.; Заявник та патентовласник Шабрацький С.В. - № u201311518; заявл. 30.09.2013; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3.

20. Патент на корисну модель № 89755 Україна, МПК В 01 F 5/16. Пристрій для проведення газорідних реакцій / Склабінський В.І., Стороженко В.Я., Шабрацький С.В.; Заявник та патентовласник Склабінський В.І. - № u201314790; заявл. 17.12.2013; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8.

21. Патент на корисну модель № 97358 Україна, МПК В01F 5/16. Турбозмішувач для проведення газорідних реакцій / Склабінський В.І., Стороженко В.Я., Шабрацький С.В.; Заявник та патентовласник Склабінський В.І. - №201410721; Заявлено 01.10.2014; опубл. 10.03.2015, Бюл. №5.

АНОТАЦІЯ

Шабрацький С.В. Гідродинаміка газорідних систем в реакторах з самоусмоктуючими перемішуючими пристроями. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Сумський державний університет Міністерство освіти і науки України, Суми, 2017.

В сучасній хімічній, нафтохімічній і мікробіологічній промисловості у масообмінних процесах, зокрема для систем газ-рідина, інтенсифікація та підвищення продуктивності апаратів об'ємного типу з перемішуючими пристроями є актуальною і пріоритетною задачею. Абсорбція та хемосорбція займають значне місце в структурі технологічних процесів різних виробництв, ефективність яких залежить від раціонального використання природних ресурсів, якості продукції та впливу виробництва на навколишнє середовище. Підвищення ефективності роботи

масообмінних апаратів залежить від гідродинаміки газорідинної суміші в перемішувальному об'ємі. Особливість таких процесів, що супроводжуються хімічною реакцією, наприклад, хлорування, сульфурвання, окислення та ін. дуже часто визначається раціональним вибором апаратного оформлення технологічних схем, серед яких в якості основних апаратів є реактори об'ємного типу з перемішувальними пристроями. Найбільш ефективними перемішувальними пристроями стандартного типу вважаються турбінні відкриті мішалки. Основною перевагою їх є створення розвинутої міжфазної поверхні за рахунок інтенсивного дроблення бульбашок газу або повітря та їх рівномірного розподілу в перемішувальному об'ємі.

Дисертаційна робота присвячена теоретичним та експериментальним дослідженням процесу перемішування газорідинної суміші в апаратах об'ємного типу з самоусмоктуючими перемішувальними пристроями. Експериментально були отримані залежності для розрахунку коефіцієнту гідравлічного опору лопаті самоусмоктуючої мішалки. Визначені залежності продуктивності мішалки від конструктивних особливостей профілю порожнистої лопаті та її лобової частини. Визначені залежності потужності від частоти обертання мішалки та газовмісту перемішувального об'єму. Отримані емпіричні формули для розрахунку витрати по газовій та рідинних фазах.

Отримані наукові результати стали основою для розробки нової моделі пристрою для проведення газорідинних реакцій призначений для проведення реакцій в системі газ-рідина в апаратах об'ємного типу.

Ключові слова: перемішування, гідродинаміка, самоусмоктуюча ежекційна мішалка, газорідинна система, хлорування, газовміст, потужність, витрата по газовій фазі, апарат об'ємного типу.

АННОТАЦИЯ

Шабрацкий С.В. Гидродинамика газожидкостных систем в реакторах с самовсасывающими перемешивающими устройствами. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.17.08 – процессы и оборудование химической технологии. – Сумской государственной университет Министерство образования и науки Украины, Сумы, 2017.

Процессы, сопровождаемые химической реакцией, например, процессы хлорирования, сульфирования, окисления и другие очень часто зависят от рационального выбора апаратного оформления. Качество продуктов этих реакций зависит от средства ввода газового реагента в зону реакции и общей гидродинамики в реакторе. В последнее время для этой цели используются самовсасывающие мешалки, которые, представляют собой вращающийся барботер. Последние позволили упростить технологические схемы производства, связанные с поддержанием избыточного давления на линиях подачи газового реагента. Для классических газожидкостных аппаратов известны гидродинамические расчеты, описанные в литературе, однако они неприемлемы или недостаточны для расчетов аппаратов с самовсасывающими мешалками.

Диссертационная работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса перемешивания газожидкостной смеси в аппаратах

объемного типа с самовсасывающими перемешивающими устройствами. Экспериментально были получены зависимости для расчета коэффициента гидравлического сопротивления лопасти самовсасывающей мешалки. Определены зависимости производительности мешалки от конструктивных особенностей профиля полой лопасти и ее лобовой части. Определены зависимости мощности от частоты вращения мешалки и газосодержания перемешиваемого объема. Получены эмпирические формулы для расчета расхода по газовой и жидкой фазам.

Полученные результаты стали основой для разработки новой модели устройства для проведения газожидкостных реакций предназначенного для проведения реакций хлорирования пассивных углеводородов в аппаратах объемного типа.

Ключевые слова: перемешивание, гидродинамика, самовсасывающая эжекционная мешалка, газожидкостная система, хлорирование, газосодержание, мощность, расход по газовой фазе, аппарат объемного типа.

ANNOTATION

Shabratsky S.V. Hydrodynamics of the gas-liquid systems in vehicles with mixing devices. – Manuscript.

Ph. D. thesis in Technical speciality 05.17.08 – processes and equipment of chemical technology. – Sumy State University Ministry of education and science of Ukraine, Sumy, 2017.

Dissertation work is devoted theoretical and experimental research of process of interfusion of gas-liquid mixture in the vehicles of by volume type with selfsuction mixing devices. Dependences were experimentally got for a calculation to the coefficient of hydraulic resistance the blade of selfsuction mixer . Dependences of the productivity of mixer are certain on the structural features of type of hollow blade and its frontal part. Dependences of power are certain on frequency of rotation of mixer and gas connect of mixing volume. Empiric formulas are got for the calculation of expense on gas and liquid phases.

Got results became basis for development of new model device on for the of gas-liquid reactions intended for the of reactions of chlorinating of passive hydrocarbons in the vehicles of by volume type.

Key words: mixing, hydrodynamics, self-suction mixer, gas-liquid system, chlorinating, gascontent, power, expense on gas to the phase, vehicle of by volume type.

Підписано до друку 16.01.2017 р

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк.0,9. Тираж 100 пр. Зам. №70

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007 р.