

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**Бубликова Євгенія Володимирівна**

УДК 66.021.3+66.048.3

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ГІДРОДИНАМІКИ ТА МАСОПЕРЕДАЧІ  
ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ У ВІДЦЕНТРОВОМУ АПАРАТІ**

05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент, Моїсєєв Віктор Федорович, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, професор кафедри ХТПЕ

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, Камбург Володимир Григорович, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, завідувач кафедри прикладної математики

кандидат технічних наук, Мацак Олександр Федотович, науково-виробниче підприємство “Екомаш”, м. Харків, зам. директора

Захист відбудеться 01 лютого 2008 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.05 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Автореферат розісланий                      грудня 2007 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Тимченко В.К.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Масообміні процеси мають велике значення в більшості хімічних виробництв. Металоємність колонних апаратів на підприємствах хімічної галузі становить 28 % від всієї металоємності або 20-50% вартості всього технологічного устаткування. У цих умовах визначальне значення набуває підвищення інтенсивності масообмінних процесів і створення апаратів великої одиничної потужності, що входять до складу компактних малогабаритних установок і технологічних ліній. Зниження металоємності та енергетичних витрат поряд із підвищенням ефективності роботи апаратів можливо за допомогою використання відцентрових сил. Це дозволяє зменшити час перебування речовин в апараті, покращити керування процесами за рахунок зміни гідродинамічних факторів, а також зменшити енергетичні витрати при багатотоннажному виробництві. Поряд із традиційним використанням відцентрових апаратів у хімічній, нафтовидобувній, фармацевтичній, харчовій промисловості вони знаходять застосування як абсорбери для очистки газів, особливо в умовах малотоннажного виробництва. На базі відцентрових абсорберів розробляються біореактори, системи життєзабезпечення для космічних кораблів, холодильне обладнання.

Розповсюдження в промисловості методів інтенсифікації на основі критичних гідродинамічних режимів в значній мірі стримується з-за нестачі простих і надійних пристроїв, які забезпечують сталу роботу таких апаратів та практичної відсутності даних фундаментального характеру, рекомендацій щодо управління технологічними параметрами процесів, адекватних методів розрахунку обладнання. Таким чином, створення нових відцентрових апаратів, модернізація та оптимізація параметрів діючого обладнання є актуальною задачею, яка потребує обґрунтованих методів як теоретичних розрахунків параметрів, так і експериментального дослідження нових контактних елементів та режимів роботи відцентрових апаратів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася у відповідності до наукового напрямку кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ "ХП" у галузі хімічної техніки та технології і стосується вивчення гідродинамічних та масообмінних процесів, моделювання, розрахунків та розробки обладнання. Здобувач проводив дослідження при виконанні господарчого договору „Реконструкція обладнання ректифікації спиртових розчинів” (АТЗТ „ГНЦЛС”, м. Харків). Результати науково-дослідної роботи передані для впровадження на ВАТ „УкрНДІхіммаш” (м. Харків) відповідно до договору про творчу співпрацю.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є обґрунтоване теоретичне та експериментальне дослідження гідродинаміки і масообміну у системі газ-рідина під впливом відцентрових сил, моделювання процесів, розробка методики інженерного розрахунку вискоефективного енерго- і ресурсозберігаючого обладнання.

Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити такі завдання:

- на основі системного підходу провести комплексний аналіз існуючих процесів і апаратів хімічної технології з використанням високих відцентрових прискорень та обрані напрямки дослідження;

- розробити перспективні конструкції контактних пристроїв для відцентрових апаратів;

- на основі теоретичного аналізу та експериментального дослідження встановити основні гідродинамічні та масообмінні закономірності, вказати шляхи підвищення ефективності обладнання, виходячи з аналізу стадій і явищ, що лімітують процес;

- на основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розробити перспективну конструкцію високоефективного відцентрового тепломасообмінного апарата з використанням ефективних контактних пристроїв;

- розробити науково-обґрунтовану методику розрахунку відцентрових апаратів;

**Об'єктом дослідження** є процес масообміну у відцентровому полі і вплив на його інтенсивність гідродинамічних факторів при використанні різних контактних пристроїв.

**Предметом досліджень** є кінетика і механізм процесів масообміну, вплив гідродинамічних і масообмінних параметрів на процес і керованість процесу.

**Методи досліджень.** Математичне моделювання здійснювалося на підставі класичних положень механіки рідини та газу і технічної гідромеханіки. Фізичний експеримент проведено шляхом експериментальних досліджень стендової моделі з різними контактними пристроями та наступною обробкою експериментальних даних з використанням методів математичної статистики. Оптичні методи використовувалися для дослідження гідродинаміки, фізико-хімічні методи для якісного і кількісного аналізу складу сумішей. Побудову теоретичних залежностей виконано з застосуванням звичайних методів інтегрального та диференціального числення. На етапі комп'ютерного моделювання застосовано систему тривимірного твердотілого моделювання SolidWorks, програмний комплекс FlowVision.

**Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:**

- розроблено та досліджено три перспективні конструкції контактних пристроїв відцентрових апаратів для проведення процесів масообміну у системах газ-рідина.

- отримано залежності для розрахунку гідродинамічних параметрів, ефективності роботи від геометричних параметрів для перспективних конструкцій контактних пристроїв, залежності для визначення параметрів процесу взаємодії фаз газ-рідина, інтенсивності масопередачі, яка визначається величиною об'ємного коефіцієнту масовіддачі.

- на підставі теоретичного аналізу створених фізичної і математичної моделей руху газо- краплинного потоку та за допомогою комп'ютерного моделювання розроблено умови реалізації процесів масопередачі в системах газ-рідина з використанням відцентрових прискорень 1000-1500 g.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі отриманих в роботі наукових результатів розроблена інженерна методика розрахунку відцент-

рових апаратів, які використовуються в хімічній та суміжних галузях промисловості як обладнання для ректифікації. За цією методикою проведено розроблено проектно-конструкторську документацію на виготовлення промислових зразків відцентрових апаратів з внутрішнім діаметром ротора 200 та 400 мм.

На основі отриманих даних в роботі обґрунтовано і видано рекомендації щодо реконструкції ряду технологічних процесів, запропоновано перспективні структурні схеми цих процесів. Результати роботи передані для впровадження ВАТ „УкрНДХиммаш”, де вони використовуються при проектуванні нового масообмінного обладнання .

Результати досліджень впроваджені в навчальний процес при викладанні спеціальних дисциплін, у курсовому та дипломному проектуванні за спеціальностями 8.070220, та 8.070221 на кафедрі хімічної техніки і промислової екології НТУ ”ХП”.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні положення дисертаційної роботи, які винесені на захист, розроблені здобувачем особисто. Серед них розробка математичної моделі процесу ректифікації органічних речовин, підготовлено і проведено експериментальні дослідження, аналіз, обробка та узагальнення результатів розрахункових та експериментальних досліджень.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і матеріали дисертації доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях: I Міжнародна конференція “Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем” (Чернівці, 2002 р.), конференція з міжнародною участю “Сотрудничество для решения проблемы отходов” (Харків, 2004 р., 2005 р.), II Міжнародна науково-практичної конференції “Екологія: освіта, наука, промисловість і здоров’я ” (Белгород. – 2004 р.), Міжнародна конференція “ Екологічні проблеми водних ресурсів” (Львів, 2004 р.), Міжнародна науково-практична конференція “Інтегровані технології” (Харків, 2005).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 16 робіт, в тому числі: 6 статей в наукових фахових виданнях ВАК України та 4 деклараційних патенти України.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 150 сторінок, 40 ілюстрацій за текстом, 5 додатків на 18 сторінках, списку використаних літературних джерел з 201 найменування на 16 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, визначено мету і задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичну значущість роботи.

В першому розділі проведений аналіз різних конструкцій роторних і відцентрових апаратів і дана їх класифікація. Показано, що найбільш перспективними для інтенсифікації тепломасообміну і створення малогабаритного устаткування є високошвидкісні відцентрові апарати, що відносяться до групи апаратів з поверхню контакту у виді швидкісної постійно оновлюваної плівці рі-

дини і з поверхнею, що розвивається у вільному обсязі, за рахунок інтенсивного краплеутворення.

Розглянуто роботи, що висвітлюють гідродинаміку і кінетику масовіддачі в роторних апаратах. Показано необхідність всебічних експериментальних досліджень, без яких неможливе створення науково - обґрунтованих методів розрахунку відцентрового масообмінного устаткування. Проаналізовано існуючі контактні пристрої для відцентрових апаратів і розглянуті основні критерії вибору і порівняння відцентрових апаратів різних конструкцій.

На підставі літературного огляду сформульовані задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі описані експериментальна установка, модельні системи і методики проведення експериментів.

Вивчення гідродинаміки проводили на установці, схема якої представлена на рис.1. Рідина насосом 3 подавалася у відцентровий апарат 5 усередину обертового контактного елемента. Рідина за рахунок відцентрової сили рухалася на периферію елемента і при цьому взаємодіяла з газом (повітрям) що йде до неї протитечею і виводилася з корпусу апарата в каналізацію. Витрати вихідної рідини вимірювали ротаметрами 2. Повітря, що подавалося в апарат 5 газодувкою 6, надходило у корпус апарата тангенціально, проходило контактний елемент і виводилося з верху апарата по осьовій трубі. Витрати повітря вимірювали за допомогою діафрагми і U-образних водяних манометрів. Перепад тиску в апараті вимірювали за допомогою мікроманометра 9. Обертання ротора в апараті здійснювалося за рахунок електродвигуна. Швидкість обертання ротора змінювали за допомогою автотрансформатора.

Рис.1. Схема установки для вивчення гідродинаміки

Гідродинаміку досліджували на докладно обговорюваних нижче конструкціях контактних елементів діаметром 200 мм. Частоту обертання ротора змінювали від (1000 - 9000 об/хв), навантаження по газу варіювали від 1,04 до 2,89 кг/(м<sup>2</sup>·с) (58,6 - 145 м<sup>3</sup>/год), щільність зрошення при дослідженні масовід-

дачі - від 0,354 до 4,24 кг/(м<sup>2</sup>·с) (20-1500 кг/год). Температуру газу і рідини підтримували в межах від 18 до 23°C. Апарат 5 працював при атмосферному тиску.

Було запропоновано конструкцію апарата, використаного при проведенні досліджень. Основним елементом апарата є перфорований кошик ротора, установлений на вертикальному консольному валу, у якому розташований кільцевий контактний елемент. Вихідна рідина надходить в апарат через розподільний пристрій, розташований по осі апарата. Через штуцер у корпус апарата тангенціально подається газ чи пар, що взаємодіє з рідиною в контактному елементі і потім виводиться з апарата через штуцер. Обертання ротора здійснювалося за допомогою електродвигуна.

За рахунок цього під впливом відцентрової сили рідина, що надходить у контактний елемент, рухається протитечією з газом, що йде назустріч, (паром) і виводиться з апарата через штуцер. Для запобігання можливості обходу газом (паром) бічної поверхні ротора через осьову трубу чи вал передбачені ущільнення.

Контактні пристрої відцентрового апарата являють собою кільцеподібний простір рівномірно заповнений контактною поверхнею. Контактні пристрої різноманітні по конструкції і вибираються в залежності від фізико-хімічних властивостей контактуючих фаз. Усі досліджені контактні пристрої міцні, стійкі при обертанні, мають високу проникну здатність, розвитку питому поверхню і цілком задовольняють вимогам промислової експлуатації.

Запропоновано модель руху двухфазного середовища, з урахуванням дії конструкції, яка визначена особливостями контактних пристроїв, що характеризує три зони контакту у відцентровому апараті.

Для контактної пристрою з радіальними лопатками запропонована розрахункова формула, що дозволяє визначити мінімальне число лопаток при якій запобігається віднесення рідкої фази

$$n_p = \frac{38,2\omega_0 R_i \sin(\gamma/2)}{(R_i - R_a)(R_i + R_a)},$$

де:  $n_p$  - число оборотів ротора,  $R_n, R_o$  - зовнішній і внутрішній радіуси контактної пристрою,  $\omega_0$  - швидкість газу на вході в канал контактної пристрою,  $\gamma = 360^\circ / m$ , де  $m$  - число лопаток.

Теоретично визначені граничні режими роботи відцентрового апарата, що визначаються початком “захливання” його контактної пристрою. “Захливання” контактної пристрою відцентрового апарата визначається як навантаження по фазах, так і швидкістю обертання ротора.

При роботі апарата в режимах близьких до граничних, збільшується товщина плівки рідини в шарі контактної пристрою за рахунок гальмування дії парового потоку. Це помітно позначається на ступені перекриття живого перетину каналів, що у свою чергу, обумовлюється збільшенням сил тертя між взаємодіючими фазами. “Захливання” контактної пристрою відбувається у внутрішньому його перетині тобто при  $r = r_o$ . У режимах, близьких до захливання, швидкість газу у внутрішньому перетині контактної пристрою значною мірою

залежить від співвідношення навантаження по фазах і від швидкості обертання ротора.

Верхня границя навантажень по газовій фазі визначається початком збільшення віднесення рідкої фази з внутрішньої поверхні контактної пристрою в момент його зрошення і вимагає подальшого експериментального визначення.

Аналіз даних по гідродинаміці смолоскипа розпиленої рідини і гідродинаміці удару крапель об перешкоду дозволив виділити наступні чотири джерела віднесення рідкої фази на контактному елементі досліджуваної конструкції:

- дрібнодисперсні краплі, віднесені потоком газу (пари) зі смолоскипа розпиленої рідини;
- дрібнодисперсні краплі, що утворилися при взаємодії крапель смолоскипа між собою;
- вторинні краплі, що утворилися при ударі крапель смолоскипа об пластинки контактної пристрою.
- дрібнодисперсні краплі, що утворилися при взаємодії крапель смолоскипа і вторинних крапель між собою.

У роботі показано, що віднесення рідкої фази за рахунок першого джерела можна визначити аналітично. Оцінити інші джерела можна лише якісно; при тім четверте джерело робить більш істотний вплив на сумарне значення віднесення рідкої фази в порівнянні з другим і третім.

Було експериментально визначене сумарне значення віднесення рідкої фази. Кількість віднесеної з контактної елемента рідини визначали сепараційним методом, що заснований на уловлюванні віднесених крапель рідини у винесеному сепараторі-краплевідбійнику. Це дозволяє відокремлювати не менш 99,3% віднесеної з апарата рідини при максимальних швидкостях повітря, а зі зменшенням швидкості ефективність сепарації зростає до 99,8%.

Рис. 2. Схема установки для вивчення віднесення рідкої фази

- 1 – ємність, 2 – ротаметри, 3 – насоси, 4 – електродвигун, 5 - апарат, 6, 7 – відцентровий і об'ємний сепаратори, 8 – газодувка, 9 – засувка, 10 – діафрагма, 11 – дифманометр, 12 – мікроманометр, 13 – термометр, 14 - мірна склянка.



Експериментальні дослідження віднесення рідкої фази проводилися на установці, показаної на рис. 2. При цьому вивчалися різні конструкції контактних пристроїв. Зовнішній діаметр контактної пристрою був 200 мм, внутрішній діаметр контактної пристрою – 60 мм, висота - 50 мм.

Рис. 3. Залежність величини відносного віднесення рідкої фази від швидкості газу в апараті.  $Q = 6 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{год}$ , пластинчастий контактний елемент. 1 -  $n = 1000$  об/хв, 2 – 3000 об/хв, 3 – 5000 об/хв, 4 – 7000 об/хв, 5 – 9000 об/хв.

Рис. 4. Залежність величини відносного віднесення рідкої фази від щільності зрошення.  $W_G = 2 \text{ м/с}$ , пластинчастий контактний елемент.  $n$ , об/хв: 1 – 1000; 2 – 3000; 3 – 5000; 4 – 7000; 5 – 9000

Вивчався вплив на віднесення рідини основних робочих параметрів у межах їх зміни: щільність зрошення  $0,5-15 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ , швидкість газу  $0,5-3,5 \text{ м/с}$ , число оборотів ротора  $1000-9000$  об/хв. Як рідку фазу використовували воду, газоподібною фазою було повітря.

Величина відносного віднесення рідкої фази визначалася по формулі  $e = (L_0 / L)100\%$ , де  $L_0$  - обсяг віднесеної рідини,  $\text{м}^3/\text{год}$ ,  $L$  - обсяг рідини, що надходить в апарат,  $\text{м}^3/\text{год}$ ,

Величина віднесення росте зі збільшенням швидкості газу і числа оборотів ротора, що пов'язано зі збільшенням сили гідродинамічного впливу на краплі з боку газового потоку і зменшенням розмірів краплі при підвищенні частоти обертання ротора. При збільшенні щільності зрошення величина відносного віднесення рідини помітно знижується. Це можна пояснити тим, що зі збільшенням щільності зрошення збільшуються товщини рідинної плівки на внутрішніх поверхнях контактної пристрою апарата. Це приводить до зниження кількості бризків, що утворюються при ударі крапель, що летять з великою швидкістю, о поверхню плівок. Як показали розрахунки, зниження віднесення рідкої фази відбувається до досягнення рідинною плівкою товщини порядку 3 мм. При подальшому збільшенні її товщини (щільності зрошення) такого явища не спостерігається, віднесення рідини залишається постійним.

Для визначення впливу конструктивних характеристик контактних пристроїв на величину сумарного віднесення рідкої фази було проведено дослідження трьох різних конструкцій типів 1-3.

Рис. 5. Залежність величини відносного віднесення рідкої фази від швидкості газу в апараті для різних контактних пристроїв.  $Q = 6 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ ,  $n = 3000 \text{ об/хв}$ . 1 – тип 1; 2 – тип 2; 3 – тип 3

Рис. 6. Залежність величини відносного віднесення рідкої фази від щільності зрошення для різних контактних пристроїв.  $W_G = 2 \text{ м/с}$ ,  $n = 3000 \text{ об/хв}$ . 1 – тип 1; 2 – тип 2; 3 – тип 3

Експерименти показали, що найменше віднесення рідкої фази забезпечує контактний елемент 1 типа. Подальші дослідження з віднесення рідини проводили з його використанням. Додатково був вивчений вплив наявності сепаратора-краплевідбійника з сітки у вигляді регулярного блоку висотою 50 мм у патрубку, що відводить газ на величину сумарного віднесення рідини. Наявність сепаратора-краплевідбійника знижує віднесення рідкої фази в середньому на 90 %, а при низьких швидкостях газу дозволяє практично виключити його.

Результати експерименту узагальнені у виді емпіричної залежності, що зв'язує величину відносного віднесення рідкої фази із зазначеними параметрами

$$e = 2,3 \cdot 10^{-5} W_z^{2,54} Q_L^{-1,48} n^{1,4}$$

Середнє відносне відхилення розрахункових і експериментальних значень не перевищує 15 %.

При проведенні хіміко-технологічних процесів у системах газ-рідина виникає необхідність розрахунку припустимої швидкості газу в апараті, виходячи з величини припустимого відносного віднесення рідкої фази. Для відцентрових апаратів отримана розрахункова залежність виду

$$W_z = 160 \cdot e^{0,36} Q_L^{0,53} n^{-0,65}$$

У відцентровому тепло- масообмінному апараті найбільш "небезпечною" зоною для віднесення рідини є кільцевий простір між розподільником рідини і внутрішньою поверхнею контактної пристрою. Швидкість газу тут максимальна, а краплі рідини ще не досягли насадки, де їм додається додатковий обертальний рух і, тим самим, збільшується діюча на них відцентрова сила, що перешкоджає віднесенню рідини з апарата газовим потоком.

Було встановлено, що крім впливу швидкості газу і щільності зрошення на появу віднесення рідини істотно впливає поле відцентрових сил. Також можна припустити, що фізичні властивості системи будуть значно впливати на виникнення критичних явищ і як результату віднесення рідини. Зі збільшенням в'яз-

кості і поверхневого натягу відбувається, зсув області критичних явищ убік великих значень щільності зрощення.

Умовно апарат з контактним пристроєм, що обертається, можна розділити на три зони, в яких відбувається основна втрата тиску: зовнішня зона, зона контактної пристрою, внутрішня зона контактної пристрою.

Оскільки маса елементарної кількості газу, що знаходиться на відстані  $R$  від осі обертання в об'ємі  $F \cdot dR$ , рівна  $d_m = \rho_z \cdot F \cdot dR$ , то відцентрова сила цього елементу маси буде рівна  $dK = d_m \cdot R \cdot n^2$ . Для рівноваги, необхідно

$$\int_{R_1}^{R_2} dK = \rho_z \cdot F \cdot n^2 (R_2^2 - R_1^2) / 2, \text{ при } nR = W_{\text{окр}} \quad (P_2 - P_1) = \frac{\rho_z}{2} (W_{\text{окр}2}^2 - W_{\text{окр}1}^2) = P_{\text{ст}},$$

де  $W_{\text{окр}}$  - окружна швидкість;  $P_{\text{ст}}$  - збільшення статичного тиску в циліндрі, що викликається зміною окружних швидкостей. При русі газу в каналі, що розширюється, спостерігатиметься приріст статичного тиску за рахунок зменшення швидкостей

$$\Delta P_{\text{ст}} = \frac{\rho_z}{2} (W_{\text{отн}1}^2 - W_{\text{отн}2}^2)$$

де  $W_{\text{отн}}$  - відносна швидкість.

Приріст кінетичної енергії в роторі буде рівний

$$P^n - P^1 = \frac{\rho_z}{2} (C_{\text{абс}2}^2 - C_{\text{абс}1}^2)$$

де  $C_{\text{абс}}$  - абсолютна швидкість газу

Можна отримати загальний тиск, що створюється зміною окружних, відносних і абсолютних швидкостей потоку газу в каналі контактної пристрою ротора, що обертається:

$$\Delta P_{\text{сх}} = \frac{\rho_z}{2} (W_{\text{окр}2}^2 - W_{\text{окр}1}^2) + (W_{\text{отн}1}^2 - W_{\text{отн}2}^2) + (C_{\text{абс}2}^2 - C_{\text{абс}1}^2)$$

де  $\Delta P_{\text{сх}}$  - тиск, який перешкоджає руху газу через контактний пристрій і створює гідравлічний опір, що визначається експериментально.

$$\Delta P_{\text{сх}} = \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{вр}},$$

де  $\Delta P_{\text{ст}}$  - опір сухого контактної пристрою, що не обертається Па;  $\Delta P_{\text{вр}}$  - опір контактної пристрою, що обертається, Па.

$$\Delta P_{\text{ст}} = B \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_z W_2^2}{d_{\text{екв}}} R_2^2 \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right),$$

де  $\varepsilon$  - вільний обсяг пристрою;  $\mu_r$  - в'язкість газу,  $W_2$  - швидкість газу в контактному пристрої,  $d_{\text{екв}}$  - еквівалентний діаметр,  $R_1, R_2$  - внутрішній і зовнішній радіус ротора.

Був зроблений вивід про те, що опір контактної пристрою, що обертається, залежить від швидкості газу, структури і вільного перетину, висоти пристрою і частоти обертання ротора. Взаємозв'язок вказаних параметрів може бути представлена в наступному вигляді:

$$Eu = A(\text{Re}_z)^{\alpha_1} (\text{Re}_{\text{жс}})^{\alpha_2} (\text{Fr}_y)^{\alpha_3} (s/d_{\text{екв}})^{\alpha_4},$$

Гідравлічний опір зрошуваного шару  $\Delta P_{op}$  залежить від масових витрат рідини  $L$  і газу  $G$  і може бути представлений у вигляді

$$\Delta P_{op} / \Delta P_{сх} = C(L/G)^{c_1}$$

Проведені експерименти по визначенню гідравлічного опору роторного апарата підтвердили перспективність обраного напрямку досліджень. При досить малих швидкостях газу в контактних пристроях досягається режим міжфазної турбулентності. У ході експерименту не отриманий режим “захлинання” характерний для колонних апаратів.

На рис. 7 показана залежність втрати тиску незрошуваного апарата без контактного елемента від швидкості газу при різних режимах обертання.

Виявилось, що гідравлічний опір у даному випадку в 3-4 рази вище, ніж з контактним елементом. Очевидно, це залежить від того, що контактний елемент у роторі організує газовий потік, робить його більш упорядкованим, а при деяких швидкостях ламінарним через малу величину зазору. Завдяки цьому втрати тиску в апараті з контактним елементом менше, ніж без нього, або при використанні насипного контактного елемента. Вплив подачі рідини в обертовий ротор без контактного елемента ілюструє залежність, приведена на рис. 8. Відзначено, що з ростом навантаження по рідині гідравлічний опір при всіх режимах обертання монотонно убуває у всьому дослідженому діапазоні. Цей факт можна пояснити тим, що плівка рідини змочує поверхню перфорованого кошика ротора, робить крайку отворів негострою і, відповідно, зменшує втрати напору.

Для всіх представлених вище контактних пристроїв були проведені виміри втрат тиску при проходженні газового потоку через апарат. На рис. 9 представлена порівняльна залежність гідравлічного опору апарата з різними типами контактних елементів від швидкості газу при постійній швидкості обертання ротора  $n = 4000$  об/хв, що відповідає відцентровому прискоренню  $1150 g$ .

Рис. 7. Залежність утрат напору в апараті без контактного пристрою від швидкості газу при відсутності зрошення при різних частотах обертання ротора: а – 2000 об/хв; б – 3000 об/хв; в – 4000 об/хв; г – 5000 об/хв.

Рис. 8. Залежність утрат напору в апараті без контактного пристрою від щільності зрошення при швидкості газу  $W_g = 2,25$  м/с і при різних частотах обертання ротора: а – 2000 об/хв; б – 3000 об/хв; в – 4000 об/хв; г – 5000 об/хв.

Рис. 9. Порівняльна залежність утрат напору від швидкості газу при  $Q_L = 15,2 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$  і частоті обертання ротора  $n = 4000 \text{ об/хв}$ : а – тип 1; б – тип 3; в – тип 2; г – тип 4; д – контактний елемент з ущільненої сітки.

Рис. 10. Порівняльна залежність утрат напору в апараті з різними типами контактних елементів від щільності зрошення при  $W_G = 2,25 \text{ м/с}$  і двох частотах обертання ротора: а – 2000 об/хв; б – 5000 об/хв; 1 – тип 1; 2 – тип 3; 3 – тип 2.

Як видно з рисунка 9 найбільшим  $\Delta P_{GL}$  у досліджуваному діапазоні володіли контактні елементи з ущільненої сітки. Виходячи з припущення про те, що конструкція цих елементів малоперспективна для промислової експлуатації (можуть використовуватися тільки при роботі з чистими речовинами), і переконавшись в цьому експериментально, для подальшого дослідження були обрані перші три конструкції контактних елементів. Ці конструкції володіють меншою, чим щільні елементи, геометричною питомою поверхнею, але як показали подальші дослідження, на поділяючу здатність цей фактор не впливає, а великий вільний обсяг (90-95%) дозволяє апарату працювати з забрудненими середовищами. Втрати напору для розглянутих конструкцій контактних елементів вимірювали як у випадку зрошення їх рідиною, так і без подачі зрошення при різних швидкостях газу і частотах обертання ротора.

Гідравлічний опір у всіх випадках, зростає зі збільшенням швидкості газу і частоти обертання ротора, причому при збільшенні  $W_G$  в 2 рази  $\Delta P_{GL}$  в середньому також збільшується приблизно вдвічі, а при підвищенні частоти обертання з 2000 об/хв до 5000 об/хв - у 1,5-2 рази. Залежність втрат напору від щільності зрошення не так однозначна: у діапазоні навантажень 40-400 кг/год спостерігається дуже слабка залежність від навантаження по рідині. Цей факт може бути пояснений тим, що рідинна плівка, що рухається по контактному елементі з високою швидкістю, має дуже малу товщину, тому зміни перетину для проходження газового потоку, не відбувається. В області навантажень по рідині від 300 до 400 кг/год на всіх кривих є крапка зламу. При подальшому збільшенні щільності зрошення (вище 450 кг/ч) спостерігається монотонне зростання гідравлічного опору.

Були визначені граничні режими роботи відцентрового апарата. На рис.10 для двох режимів обертання ротора зіставлені дані по перепаду тиску на трьох вивчених типах контактних елементів. З аналізу графіка можна перекопатися, що гідравлічний опір для всіх контактних елементів монотонно збільшується з

ростом швидкості обертання ротора. Раніше було відзначено, що у всіх випадках збільшення швидкості газу приводить до істотного росту перепаду тиску при одночасному збільшенні гідравлічного опору з ростом частоти обертання ротора.

Рис. 11. Загальна залежність гідравлічного опору від щільності зрошення.

Виявилося, що найменшим гідравлічним опором володіє апарат з контактним елементом 1 типу. В апараті з контактним елементом типу 3 втрати напору трохи більше. Апарат із контактним пристроєм 2 типу має найвищий гідравлічний опір. Апарат з контактним елементом, що має найвищу питому поверхню, володіє найменшим гідравлічним опором і навпаки, апарат з елементом з поверхнею в 3 рази меншої показав найвищі значення перепаду тиску перед іншими. На основі аналізу результатів дослідження гідродинаміки було зроблено пропозицію про те, що абсолютне значення гідравлічного опору апарата визначається в основному конструктивними ознаками, при цьому дотримується вимога забезпечення високої питомої поверхні при великому вільному обсязі.

Граничні навантаження визначали для усіх вивчених у дійсній роботі конструкцій контактних елементів з метою з'ясування діапазону стабільної роботи апарата. На рис. 11 схематично показана залежність утрат тиску в апараті від навантаження по рідині для усіх вивчених конструкцій контактних елементів. Як видно з рис. 11, апарат при різних щільностях зрошення працює в різних гідродинамічних умовах.

Абсциса умовно розбита на робочі зони, границя яких для усіх випадків удалося визначити експериментально. Крапка А, названа межею усталеної роботи апарата, для розглянутих конструкцій контактних елементів відповідає різне значення навантаження по рідині.

У межах третього характерного відрізка ( $l_2l_3$ ) знаходяться крапки зламу на кривій  $\Delta P_{GL} = f(L)$  для усіх вивчених контактних елементів. Перебування значення крапки  $l_4$  для різних контактних елементів є предметом подальших досліджень. Установлено, що апарат працює стабільно в діапазоні ( $l_1l_3$ ). Далі, починаючи з крапки А відбувається поступове заповнення контактного елемента рідиною. При досягненні на графіку крапки  $l_4$  настає захливання. Ці значення

знаходяться далеко за максимальним навантаженням, використаної в наших дослідах  $L_{\max} = 55,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$  (1500 кг/год). Слід зазначити, що відцентровий апарат працював досить стійко й у діапазоні підвищених навантажень, що відносяться до області  $(l_3l_4)$  ( $500 < L < 1500 \text{ кг}/\text{год}$  на мал.11. Однак у цьому випадку лімітував граничну витрату рідини діаметр зливального патрубку з корпусу апарата. Була потрібна зміна конструкції відцентрового апарата в цілому. Тому, при формулюванні рекомендацій з меж усталеної роботи можна говорити про те, що апарат пропонованої конструкції працює стабільно, без “захливання” в діапазоні навантаження по рідині від 40 до 1000 кг/год для всіх розглянутих випадків.

В третьому розділі представлені результати експериментального вивчення кінетики масовіддачі в рідкій і газовій фазах для перерахованих контактних пристроїв. Оскільки поверхня контакту фаз і її залежність від навантажень по фазах і швидкості обертання ротора залишалися невідомими, як характеристику швидкості масообміну використовувалася висота одиниці переносу в рідкій і газовій фазах.

Виявилось, що висота одиниці переносу, у рідкій фазі, у всіх випадках росте, а ефективність масовіддачі знижується з підвищенням навантаження по газу. При цьому щільність зрошення практично не впливає на інтенсивність масовіддачі в досліджуваному діапазоні її зміни. При зміні частоти обертання ротора від  $n = 2000 \text{ об}/\text{хв}$  до  $9000 \text{ об}/\text{хв}$ , величина  $h_L$  зменшується в 2,5 - 4 рази для усіх вивчених типів контактних елементів.

Масообмін, контрольований газовою фазою в апараті з указаними контактними пристроями вивчали на прикладі десорбції аміаку з водяного розчину в потік повітря. Встановлено, що висота одиниці переносу  $h_G$  в газовій фазі росте зі збільшенням швидкості газу. Було встановлено, що для усіх вивчених конструкцій контактних елементів висота одиниці переносу знижується з ростом щільності зрошення і зі збільшенням частоти обертання ротора, тобто інтенсивність масовіддача росте і висота одиниці переносу досягає величини приблизно 25 - 30 мм при частоті обертання ротора  $5000 \text{ об}/\text{хв}$ , що на порядок нижче значень  $h_G$  одержуваних при десорбції аміаку з водяного розчину в повітря в звичайних насадочних колонах.

В четвертому розділі проведено узагальнення результатів дослідження.

Експериментально знайдені значення  $\Delta P_{GL}$  послужили основою для одержання кореляційних залежностей, що дозволяють розрахувати гідравлічний опір апарату для вивчених контактних пристроїв.

Для діапазону навантажень по рідині від 0,7 до  $15 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$  для усіх досліджених типів контактних пристроїв справедливе рівняння загального виду

$$\frac{\Delta P_{GL}}{\rho_G W_G^2} = Eu = A Re_G^{-a} Fr^b.$$

Показники ступеня  $a$  і  $b$ , та коефіцієнт  $A$  визначаються для кожного типу контактного пристроїв.

У випадку, коли навантаження по рідині перевищує межу усталеної роботи апарата  $15 < Q_L < 55,5$  кг/(м<sup>2</sup>·с) для досліджених контактних пристроїв після обробки експериментальних даних, отримані наступні рівняння:

$$\text{Тип 1} - \frac{\Delta P_{GL}}{\rho_G W_G^2} = 3,114 \operatorname{Re}_G^{-0,72} \cdot \operatorname{Re}_L^{0,2} Fr^{0,3};$$

$$\text{Тип 2} - \frac{\Delta P_{GL}}{\rho_G W_G^2} = 48,1 \cdot \operatorname{Re}_G^{-0,85} \cdot \operatorname{Re}_L^{0,2} Fr^{0,3};$$

$$\text{Тип 3} - \frac{\Delta P_{GL}}{\rho_G W_G^2} = 1,88 \cdot \operatorname{Re}_G^{-0,54} \cdot \operatorname{Re}_L^{0,2} Fr^{0,3}.$$

Середнє відносне відхилення розрахункових і експериментальних значень не перевищує 15 %.

В п'ятому розділі розглянута практична реалізація результатів дослідження. Проведено аналіз процесів хімічної технології у яких перспективне використання відцентрових апаратів. Запропоновано методи реконструкції існуючого устаткування для типових процесів з використанням обладнання для ректифікації та абсорбції.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена рішення науково-практичної задачі інтенсифікації процесу тепло-масопереносу при використанні турбулентної взаємодії фаз в процесі ректифікації. Процес ректифікації реалізовано у відцентровому апараті. У процесі досліджень отримані наступні висновки:

1. Аналіз літературних джерел показав що процес ректифікації органічних речовин з використанням відцентрових апаратів знайшов застосування у деяких галузях промисловості, але не досить розповсюджений тому що всі відомі конструкції апаратів значно розрізняються, що ускладнює розрахунки та проектування нових, а також реконструкцію діючих. Виявлено, що застосування високих відцентрових прискорень у 1000-1500 g у відцентрових апаратах дозволяє розробити на їх основі високоефективне компактне масообмінне устаткування для проведення процесів ректифікації, абсорбції та десорбції.

2. Науково обґрунтовано та розроблено три перспективні конструкції контактних елементів для відцентрового масообмінного апарата. Запропонована конструкція горизонтального відцентрового апарату який працює в турбулентному режимі при якому в апараті спостерігається найбільш інтенсивне протікання процесів тепломасопереносу.

3. Досліджено гідравлічний опір нових контактних елементів у широкому діапазоні навантажень по фазах і швидкостей обертання ротора, визначено граничні навантаження й області усталеної роботи апарата. Виявлено кореляційні залежності, що дозволяють розрахувати гідравлічний опір відцентрового апарата розробленої конструкції за різних робочих параметрах для кожного з нових контактних елементів. Досліджено характеристики сумарного віднесення рідини для перспективних контактних пристроїв відцентрового тепломасообмінного апарата.



4. Виявлено основні закономірності переносу маси для газової і рідкої фази в умовах десорбції добре і важко розчинних газів з водного розчину в потік повітря у відцентровому апараті з трьома типами контактних елементів. Одержано залежність кінетики масообміну від основних робочих параметрів апарата: навантажень за фазами, частоти обертання ротору, конструктивних особливостей контактних елементів і фізико-хімічних властивостей системи.

5. Розроблено інженерну методику гідравлічного і кінетичного розрахунку відцентрового апарата з перспективними контактними елементами, яка відрізняється врахуванням конструктивних особливостей контактних елементів.

6. На підставі отриманого експериментального і теоретичного матеріалу виконана технічна документація на виготовлення промислових зразків відцентрових тепломасообмінних апаратів із внутрішніми діаметрами роторів 200 і 400 мм. Розроблена технічна документація та методика розрахунку, прийняті до впровадження на ВАТ „УкрНДІхіммаш”, (м. Харків) при проектуванні обладнання міні установок по переробці супутніх газів при нафтовидобуванні. Результати роботи використовуються при проведенні навчального процесу на кафедрі ХТПЕ в НТУ „ХП”.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Сіренко В.І., Бубликова Є.В. Сравнительный анализ конструктивных особенностей применяемых центробежных тепломассообменных аппаратов // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ “ХП”, 2002. – вип. 16 – с. 123-137.

Здобувачем проведено порівняльний аналіз конструкцій відцентрових апаратів, вказані їх переваги та недоліки, обрані напрямки досліджень. Вказані фактори які впливають на енерговитрати при використанні відцентрових апаратів в установках ректифікації. Обрана найбільш доцільна конструкція апарату, підготовлено роботу до друку.

2. Сіренко В.І., Бубликова Є.В., Аверченко В.І. Гидродинамические характеристики центробежного тепломассообменного аппарата // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ “ХП”, 2003. – вип. 15 – с. 51-56.

Здобувачем визначено мету і напрямки дослідження, узагальнені отримані експериментальні данні, та виявлені закономірності роботи відцентрових апаратів у режимі підвищеного навантаження при використанні різних конструкцій контактних пристроїв, підготовлено роботу до друку.

3. Бубликова Є.В., Сіренко Ю.В., Моїсєєв В.Ф. Технология озонирования при очистке сточных вод // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ “ХП”, 2004. – вип. 37 – с.88-93.

Здобувачем була запропонована перспективна технологічна схема з використанням відцентрового апарата в установці по очистці стічних вод.

4. Бубликова Є.В. Совершенствование аппаратурного оформления процесса озонирования при водоподготовке и обработке сточных вод // Вісник Націона-

льного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2004. – вип. 47 – с. 38-47.

Здобувачем проаналізовано сучасний стан очистки стічних вод озонуванням, та запропонована нова технологічна схема очистки стічних вод за допомогою з використанням відцентрового апарату, підготовано роботу до друку.

5. Бубликова Є.В., Моїсєєв В.Ф. Закономерности уноса жидкой фазы в центробежном тепло- массообменном аппарате // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Харків: Технологічний центр, 2006, – вип. 6/3, – с.34-38

Здобувачем сплановано експеримент, здійсненні дослідження щодо визначення основних закономірностей, що впливають на віднесення рідкої фази у відцентровому тепло- масообмінному апараті. Проведено якісний аналіз основних джерел віднесення рідкої фази. Експериментально вивчено вплив робочих параметрів на величину сумарного віднесення рідкої фази, при використанні різних контактних пристроїв і сепаратора-відбійника.

6. Бубликова Е.В., Моисеев В.Ф. Исследование массообмена в центробежном тепломассообменном аппарате// Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Харків: Технологічний центр, 2007, – вип. 1/3, – с. 33-37

Здобувачем було проведено комплекс дослідів по аналізу ефективності масообмінних процесів для трьох перспективних конструкцій контактних елементів та отримані критеріальні рівняння для розрахунків процесів масопередачі у відцентрових апаратах.

7. Декл. патент №54051 А Україна, МПК 7 В01D3/30. Відцентровий тепломасообмінний апарат / Тютюнників А.Б., Сіренко В.І., Бубликова Є.В., Надрук. 17.02.2003, Бюл.№ 2

Здобувачем запропоновано використання змінних контактних пристроїв у конструкції апарату. Запропоновано спосіб підводу рідини у апарат.

8. Декл. патент №53498 А Україна, МПК 7 В01D3/30. Контактний пристрій відцентрового тепломасообмінного апарата / Тютюнників А.Б., Сіренко В.І., Бубликова Є.В., Надрук. 15.01.2003, Бюл.№ 1

Здобувачем запропоновано конструкцію профілю контактного елемента.

9. Декл. патент №53499 А Україна, МПК 7 В01D3/30. Контактний пристрій відцентрового тепломасообмінного апарата / Тютюнників А.Б., Сіренко В.І., Бубликова Є.В., Надрук. 15.01.2003, Бюл.№ 1

Здобувачем визначено оптимальну кількість лопаток контактного елемента.

10. Декл. патент №53500 А Україна, МПК 7 В01D3/30. Контактний пристрій відцентрового тепломасообмінного апарата / Тютюнників А.Б., Сіренко В.І., Бубликова Є.В., Надрук. 15.01.2003, Бюл.№ 1

Здобувачем запропоновано збірну конструкцію контактного елемента.

11. Сіренко В.І., Бубликова Є.В., Дергачова Н.В. Дослідження гідродинаміки та ефективності масопередачі високошвидкісного відцентрового апарату для абсорбції газових викидів // Тез. докл. Міжнародної конференції "Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем". – Чернівці, 2002, - с. 126-131

Здобувачем запропоновано використання відцентрового апарату в малогабаритних установках очистки газових викидів коксохімічних виробництв. Проаналізовані експериментальні результати.

12. Бубликова Є.В., Сіренко В.І. Применение центробежных тепломассообменных аппаратов для решения экологических задач // Тез. докл. конференції з міжнародною участю “Сотрудничество для решения проблемы отходов”. – Харків, 2004, - с. 169-171

Здобувачем було запропоновано використання відцентрового апарату при реконструкції діючих установок очистки газових та рідких викидів.

13. Бубликова Є.В., Сіренко В.І., Моїсєєв В.Ф. Перспективы разработки современного оборудования с учетом экологической направленности // Тез. докл. II Міжнародної науково-практичної конференції “Екологія: освіта, наука, промисловість і здоров’я”. – Белгород. – 2004. – с. 131-132

Здобувач проаналізував екологічні недоліки діючого обладнання для тепломасообмінних процесів та запропонував методи підвищення його ефективності зі збільшенням екологічної безпеки.

14. Бубликова Є.В., Сіренко В.І. Технология озонирования при очищении сточных вод гальванічних підприємств // Тез. докл. Міжнародної конференції “Екологічні проблеми водних ресурсів”. – Львів, 2004, – с. 34-42

Здобувач запропонував нову технологічну схему очищення стічних вод гальванічних підприємств.

15. Бубликова Є.В. Современное аппаратное оформление процесса озонирования при водоподготовке и обработке сточных вод // Тез. докл. конференції з міжнародною участю “Сотрудничество для решения проблемы отходов”. – Харків, 2005, – с. 182-184.

Здобувач проаналізував діюче обладнання процесів водо підготовки та запропонував підвищити ефективність та продуктивність завдяки використанню відцентрового апарату в процесах водопідготовки.

16. Бубликова Є.В., Сіренко В.І. Применение центробежных тепломассообменных аппаратов для решения экологических задач // Мир техники и технологий. – Харків, 2004, – вип. 2, – с.58-61

Здобувачем було запропоновано використання відцентрового апарату в малогабаритних установках очистки газових та рідких технологічних викидів.

## АНОТАЦІЇ

### **Бубликова Є.В. Закономірності гідродинаміки та масопередачі процесу ректифікації у відцентровому апараті. – Рукопис**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.17.08. – процеси й устаткування хімічної технології. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, 2007 р.

Робота присвячена виявленню основних закономірностей процесу ректифікації органічних речовин, що відбувається в апаратах, виявленню шляхів підвищення ефективності обладнання, виходячи з аналізу стадій і явищ, що лімітують процес. В роботі розроблено та всебічно досліджено три нові конструкції контактних пристроїв відцентрових апаратів для проведення процесів масообміну у системах газ-рідина.

Одержано нові критеріальні рівняння для розрахунку параметрів процесу. Отримано залежності для розрахунку гідродинамічних параметрів, ефективності роботи апарату від геометричних параметрів нових конструкцій контактних пристроїв а також залежності для визначення параметрів процесу взаємодії систем газ-рідина, інтенсивності масопередачі, яка визначається величиною об’ємного коефіцієнту масовіддачі. Створено технічний проект на виготовлення відцентрового тепломасообмінного апарату.

Ключові слова: тепломасообмін, масопередача, гідродинаміка, відцентровий апарат, ректифікація, контактні пристрої.

### **Бубликова Є.В. Закономерности гидродинамики и масопередачи процесса ректификации в центробежном аппарате. – Рукопись**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08. – процессы и оборудование химической технологии. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, г. Харьков, 2007 г.

Работа посвящена выявлению основных закономерностей процесса ректификации органических веществ в центробежных аппаратах, выявлению путей повышения эффективности оборудования, исходя из анализа стадий и явлений, которые лимитируют процесс. В работе разработано и всесторонне исследовано три новых конструкции контактных устройств центробежных аппаратов для проведения процессов массообмена в системах газ-жидкость.

Получены новые критериальные уравнения для расчета параметров процесса. Получены зависимости для расчета гидродинамических параметров, эффективности работы аппарата от геометрических параметров новых конструкций контактных устройств а также зависимости для определения параметров процесса взаимодействия систем газ-жидкость, интенсивности масопередачи, которая определяется величиной объемного коэффициента массоотдачи. На основе полученных да экспериментальных данных разработана инженерная методика гидравлического и кинетического расчета центробежного аппарата с новыми контактными элементами. Создан технический проект на изготовление центробежного тепломасообменного аппарата.

Ключевые слова: тепломассообмен, массопередача, гидродинамика, центробежный аппарат, ректификация, контактные устройства.

**Bublikova E.V. Conformities to the law of hydrodynamics and mass transfer process of rectification in a centrifugal vehicle. - Manuscript**

Dissertation on reception of scientific degree of candidate of engineering sciences on specialty 05.17.08. – processes and equipment of chemical technology. – National technical university “Kharkov polytechnic institute”, Kharkov, 2007

Distribution in industry of methods of intensification on the basis of the critical hydrodynamic modes largely restrains a temper to want of simple and reliable devices which provide steady work of such vehicles and null of fundamental character data, recommendations, in relation to a management, adequate methods of calculation of equipment, the technological parameters of processes.

However decline of capital costs the not unique advantage from introduction of strategy of intensification of process: safety of equipment will rise, to diminish loading on an environment. The decline of amount of explosive and toxic matters will happen circulating in a process, due to the decline of volume of basic equipment, that will improve the indexes of internal safety. Thus, as a result of intensification, resource-demanding (sizes of factory) of equipment goes down radically, flexibility and mobility rises, that is vitally a necessity presently.

The analysis of literary sources rotined that the process of rectification of organic matters with the use of centrifugal vehicles found application in some industries of industry, but widespread not enough because all know the construction of vehicles differentiate considerably, that complicates calculations and planning new, and also reconstruction of operating. It is discovered that application of high centrifugal accelerations in 1000-1500 g in centrifugal vehicles allows to develop on their basis a high-efficiency compact mass transfer equipment for the rectification processes, absorption and desorption.

For intensification of processes of heatmass transfer it is appeared perspective application of centrifugal vehicles in which co-operation is phase-to-phase carried out in the conditions of high turbulence of streams due to influence of the revolved rotor. Intensification of processes of chemical technology direct influence of centrifugal forces is most effective from point of both power and economic expenses on their realization. With its help it is possible to attain the high coefficients of mass transfer and considerably to reduce the sizes of mass transfer equipment, while other methods of intensification are given by not so considerable advantages. So, influence of the electric fields on the processes of mass transfer investigational in-process, where it is rotined that imposition of the electric fields allows to promote intensity of mass transfer (coefficient of mass transfer) in 7-8 times at extraction, in 1,5-2,3 time during rectification, 1,5-2,0 time at absorption.

Work is devoted to establishment of basic conformities to the law, which take place in vehicles, exposure of ways of increase of efficiency of equipment, coming the analysis of stages and phenomena which limit a process from. In-dissertation work developed and comprehensively explored new constructions of contact devices of centrifugal vehicles for conducting of processes of mass transfer in the systems

gas-liquid. The construction of horizontal centrifugal apparatus is offered which works in the turbulent mode at which there is the most intensive flowing of processes of heat-mass transfer.

Criteria equalizations are got for the calculation of parameters of process. Dependences are got for the calculation of hydrodynamic parameters, efficiency of work from the geometrical parameters of new constructions of contact devices, dependences for determination of parameters of process of co-operation of the systems gas-liquid, intensity of masstransfer, which is determined in size by volume to the coefficient of masstransfer. The technical project of centrifugal heat masstransfer vehicle is created.

Hydraulic resistance of new contact elements is investigational in the wide range of loadings on phases and speeds of rotation of rotor, certainly maximum loadings and areas of a withstand work. Found out cross-correlation dependences which allow to expect hydraulic resistance of centrifugal vehicle the developed construction after different operating parameters for each of new contact elements. Descriptions of the total taking of liquid are investigational for the perspective contact devices of centrifugal heat-masstransfer apparatus.

Found out basic conformities to the law of transfer of mass for a gas and liquid phase in the conditions of desorption well and hardness soluble gases from water solution in a blast in a centrifugal apparatus with three new types of contact elements. Dependence of kinetics of mass-transfer is got on the basic operating parameters of vehicle: loadings phases, frequency of rotation a rotor, structural features of contact elements, physical and chemical properties of the systems.

The engineering method of hydraulic and kinetic calculation of centrifugal apparatus is developed for using perspective contact elements, which differs the account of structural features of contact elements.

Keywords: heat masstransfer, masstransfer, hydrodynamics, centrifugal apparatus, rectification, contact elements.