

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

Масікевич Андрій Юрійович

УДК 536.2

**ЗАКОНОМІРНОСТІ МАСОПЕРЕДАЧІ В ПРОЦЕСІ
ВАКУУМ-ІМПУЛЬСНОЇ ДЕСОРБЦІЇ ЛЕГКОЛЕТКИХ
КОМПОНЕНТІВ ІЗ РІДКИХ ВІДХОДІВ ХІМІЧНИХ
ПІДПРИЄМСТВ**

Спеціальність 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі хімічної техніки та промислової екології
Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”,
Міністерство освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Райко Валентина Федорівна
Національний технічний університет “Харківський
політехнічний інститут”, професор кафедри
охорони праці та навколишнього середовища

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, ст. наук. співроб.
Перцев Леонід Петрович
Відкрите акціонерне товариство “Український
науково-дослідний інститут хімічного
машинобудування” (ВАТ УкрНДІХімМаш);

кандидат технічних наук, доц.
Атаманюк Володимир Михайлович
Національний технічний університет “Львівська
політехніка”, доцент кафедри хімічної інженерії та
промислової екології

Провідна установа: Сумський державний університет,
Міністерство освіти і науки України, м. Суми.

Захист відбудеться: 20.04.2007 р. в 14 на засіданні спеціалізованої вченої
ради Д 64.050.05 у Національному технічному університеті “Харківський
політехнічний інститут” (61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного
університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий 19.03.2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Тимченко В. К.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Процеси масопередачі з хімічними перетворюваннями або без них є чи не найпоширенішими в хімічній промисловості. Один з методів інтенсифікації цих процесів полягає у здійсненні масообміну в режимі інверсій фаз, коли у процесі безперервного оновлення міжфазної поверхні по черговою кожна з фаз становиться то дисперсною, то дисперсійною. Сталий режим інверсії фаз можна організувати при введенні в апарат зовнішньої енергії. Але у відомих конструкціях апаратів введена енергія майже рівномірно розподіляється по об'єму, у той час як головний опір масопереносу зосереджений у безпосередній близькості до міжфазної поверхні. Тому технологічний ККД більшості апаратів досить малий.

У зв'язку з викладеним актуальними є задачі визначення методів і способів просторового перерозподілу енергії, концентрування її у найбільш потрібному місці – поблизу міжфазної поверхні. Ця задача складна, але технічно здійснена, наприклад, механічним методом з використанням властивостей, притаманних нестационарному руху з проявленням інерційності. Одним з таких методів є метод пульсації дисперсного середовища за рахунок періодичної зміни в апараті тиску від вакууму до тиску більше атмосферного. Цей метод є особливо ефективним у системах, де спостерігається кипіння рідини при температурі нижчій за нормальну температуру кипіння, при чому під час кипіння з рідини десорбуються легколеткі гази. Такий процес може широко використовуватися в різних промислових виробництвах для обробки рідких відходів перед подачею їх на біологічну очистку. Особливо це важливо для виробництва кальцинованої соди і ряду виробництв органічної хімії, наприклад, виробництва сульфенаміду М. Однак, розробка цього процесу і створення десорбера для його реалізації ускладнюється відсутністю теоретичного обґрунтування процесу і надійних експериментальних даних, які можна було б покласти в основу методики розрахунку і вибору основних параметрів процесу і апарату. Саме на вирішення цих питань спрямована дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано на кафедрі хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” в рамках проведення досліджень відповідно до Державної науково-технічної програми та координаційного плану “Розробка наукових основ хімічної технології, створення нових неорганічних речовин і матеріалів, комплексної хімічної переробки мінеральної сировини України” (№ 0196W000134), а також відповідно до госпдоговірної теми “Розробка концепції та нових технологій рекультивациі полігонів і переробки промислових і побутових відходів” з ОАТ “Укр.промекологія” (м. Харків) та договором про науково-творчу співпрацю з ВО “Чернівцілегмаш” (м. Чернівці), де здобувач був відповідальним виконавцем робіт по напрямку “Переробка промислових рідинних відходів”.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка теоретичних основ і шляхів інтенсифікації десорбції легколетких компонентів з рідких відходів хімічних підприємств в апараті миттєвого кипіння з циклічними змінами тиску.

У відповідності до мети сформульовано і вирішено такі завдання:

- теоретично обґрунтовано і створено модель формування барботажного шару при кипінні рідини і динаміки газових бульбашок;
- створено модель кипіння рідини при вакуум-імпульсному режимі;
- проведено дослідження процесу десорбції при вакуум-імпульсному режимі з встановленням адекватності розроблених моделей і визначенням найбільш раціональних параметрів процесу;
- на основі створеної математичної моделі та результатів експерименту обрано тип апарату (десорбера), методику розрахунку і проведено розрахунок параметрів апарату.

Об'єктом дослідження є процес десорбції легколетких компонентів із рідких відходів хімічних підприємств, що мають температуру нижчу за нормальну температуру кипіння (далі “недогріта рідина”), за рахунок організації процесу кипіння шляхом циклічної зміни тиску в апараті (вакуум-імпульсного режиму).

Предметом дослідження є масоперенос під час десорбції легколетких компонентів при кипінні недогрітої рідини.

Методи дослідження. В роботі використовувались методи фізичного і математичного моделювання досліджуваного процесу. Під час проведення експериментальних досліджень здійснювався контроль за температурою та тиском з використанням сучасних атестованих приладів, хімічний аналіз виконувався із застосуванням об'ємних і вагових методів. Обробка результатів досліджень проводилась із застосуванням програмних пакетів, які реалізують методи математичної статистики. Математичне моделювання здійснювалось за допомогою ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше досліджено процес десорбції легколетких компонентів із рідких відходів хімічних підприємств під час кипіння за умов циклічної зміни тиску, а саме:

- розроблено математичні моделі формування барботажного шару і процесу кипіння недогрітої рідини при вакуум-імпульсному режимі, за допомогою яких, зокрема, визначено та обґрунтовано цикли зміни тиску в системі;
- отримано дані про величини коефіцієнтів масопередачі при проведенні процесу десорбції аміаку із рідких відходів хімічних підприємств з застосуванням вакуум-імпульсного режиму;
- встановлено механізм процесу десорбції легколетких компонентів при кипінні недогрітих рідин за умов використання вакуум-імпульсного режиму, та на основі цього механізму встановлено кінетичні закономірності процесу.

Практична цінність одержаних результатів:

- запропоновано та випробувано апарат миттєвого кипіння (десорбер) безперервної дії для десорбції легколетких компонентів із рідких відходів хімічних підприємств з застосуванням вакуум-імпульсного режиму;
- розроблено методику розрахунку десорбера із вакуум-імпульсним режимом;
- розроблено технологічну схему процесу десорбції аміаку із рідких відходів хімічних підприємств з застосуванням вакуум-імпульсного режиму;
- отримані результати передано для впровадження підприємству ВО “Чернівцілегмаш” для підготовки рідких відходів хімічних підприємств перед подачею їх на біологічне очищення.

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні експериментів, їх обробці та аналізу, встановленні кінетичних залежностей і теоретичних основ десорбції легколетких компонентів при вакуум-імпульсному режимі, розробці математичних моделей, їх розрахунку і перевірці адекватності.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались на III, IV та V міжнародних конференціях “Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки” (м. Чернівці, 2004-06 рр.), на міжнародних науково-практичних конференціях “Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології” (м. Чернівці, 2004, 2006 рр.), на XIII міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології, наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (м. Харків, 2005 р.). В цілому, результати дисертаційної роботи доповідались на науково-технічному семінарі кафедри хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” в 2003-2005 рр.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 7 наукових робіт, серед них 4 статті у фахових виданнях ВАК України, 3 тези доповідей на конференціях.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатка. Повний обсяг дисертації складає 126 сторінок, з них 11 ілюстрацій по тексту та 1 ілюстрація на окремій сторінці, 8 таблиць по тексту, додаток на 5 сторінках; 131 найменування використаних літературних джерел на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, показано її зв’язок із науковими програмами, визначено методи й задачі дослідження, сформульовано наукову новизну і практичне значення роботи, дано інформацію стосовно її основних результатів, впроваджень та публікацій.

У **першому розділі** наведено аналітичний огляд теоретичних і експериментальних даних щодо процесу десорбції легколетких компонентів із рідких відходів хімічних підприємств, засобів інтенсифікації масообмінних

процесів при десорбції, теоретичних і практичних основ кипіння рідини при температурах, нижчих за нормальну температуру кипіння. Визначено, що одним з найбільш доцільних заходів щодо інтенсифікації процесу тепло- масообміну в досліджуваних системах є застосування пульсаційних режимів, тобто режимів, що визначаються циклічними змінами тиску в апараті-десорбері. Встановлено, що в опублікованих роботах цей захід теоретично не обґрунтовано, а результати експериментальних досліджень часом досить суперечливі.

На підставі аналізу літератури сформульовані задачі досліджень.

У **другому розділі** “Теоретичні основи процесу десорбції легколетких компонентів із недогрітої рідини з застосуванням імпульсно-вакуумного режиму” розглянуто моделі формування барботажного шару при кипінні недогрітої рідини і динаміки парових бульбашок, а також модель процесу кипіння недогрітої рідини при вакуум-імпульсному режимі.

Відомо, що процес десорбції легколетких компонентів при кипінні рідини реалізується за рахунок пароутворення і виникнення барботажного шару. Основними характеристиками барботажного шару є об’ємний газо(паро)склад і площа поверхні контакту фаз. Відомо, що процес пароутворення практично не залежить від розміру поверхні апарату та висоти рівня рідини над нею, тому об’ємне пароутворення і поверхня контакту фаз залежить від швидкості росту газової бульбашки, частоти відриву (створення) парових бульбашок та їх коалесценції. Тому в розділі, в першу чергу, розглянуто динаміку парових бульбашок та умови формування барботажного шару при кипінні недогрітої рідини за рахунок акумульованого тепла.

На основі аналізу відомих літературних джерел і власних попередніх експериментів було встановлено, що тиск в системі і частота зміни тиску суттєво впливають на інтенсивність використання тепла, акумульованого в рідині. Тобто, на інтенсивність тепловіддачі при пароутворенні, частоту утворення парових бульбашок, швидкість їх зростання і швидкість руху через шар рідини. При цьому, в недогрітій рідині поверхня парових бульбашок пульсує за рахунок пульсації радіусу в інтервалі $r_{min,p} - r_{min} < r_{кр}$. Частота пульсацій зростає, а амплітуда зменшується при збільшенні величини недогріву рідини $(T_p - T_n) = \Delta T$ та швидкості її протікання через апарат. Крім того, це впливає на величину газонасичення шару рідини, відповідно величину міжфазної поверхні і здатність парової бульбашки рухатися в рідині.

В цьому розділі запропоновано фізичний механізм та розроблену на його основі математичну модель для визначення розмірів парової бульбашки здатної рухатися в рідині. Було прийнято, що бульбашка в момент початкового руху знаходиться під дією: підйомної сили, поверхневого натягу, гідравлічного тиску газової фази і сили інерції рідини. В результаті моделювання при рівновазі сил для моменту початку спливання бульбашки при $c_n \ll c_{ж}$ було одержано рівняння

$$\pi d^3 + \pi \frac{3}{\alpha} \frac{\rho}{\rho_k} Fr - 6\pi We = 24 \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_k} l^3 \left(\frac{\rho_k}{\rho_n} \right)^2 \cdot K^{-2} \frac{a_k v_B}{g d_n^2}, \quad (1)$$

де $We = \frac{\sigma}{\rho_k 2r_{\min}^2}$, $K = \frac{R}{C_p \Delta T}$, R – теплота пароутворення; c_n , c_k – питома маса

рідини і пари; $d = \frac{d_n}{d_c}$; d_n – відривний діаметр бульбашки; d_c – діаметр апарату,

$Fr = \frac{W_c^2}{gd_c}$ – число Фруда, W_c – швидкість потоку парової фази, a_k – коефіцієнт

температуропровідності, g – прискорення сили ваги, v_B – швидкість спливання бульбашки, ε_m , ε_k – коефіцієнти пропорційності.

З рівняння (1) витікає, що при формуванні парових бульбашок у недогрітій рідині можлива реалізація різних режимів. Для області відносно малих чисел Fr відривні розміри бульбашок визначаються числом Вебера і комплексом, що характеризує інтенсивність конденсації пари K (статичний режим). В другому граничному випадку, коли значення чисел Фруда досить великі, настає динамічний режим, при якому відривний розмір бульбашки залежить від чисел Фруда і комплексу інтенсивності конденсації. Між цими граничними режимами має місце перехідний режим (з відривом і рухом спливанням бульбашок в шарі рідини), коли відрив контролюється всією системою діючих на бульбашку сил, а відривні розміри бульбашки визначаються значеннями чисел We , Fr , K . Зневажаючи в перехідному режимі підйомною силою з рівняння (1) можна отримати наступне рівняння для розрахунку відносного відривного діаметру бульбашки

$$\frac{d_n}{d_c} = \left\{ \frac{\varepsilon_k}{24\varepsilon_m} \left(\frac{\rho_n}{\rho_k} \right)^2 K^2 \left(\frac{gd_n^2}{a_k v_B} \right) \left[\pi \left(\frac{3}{2} \frac{\rho}{\rho_k} Fr - 6We \right) \right] \right\}^{\frac{1}{3}}. \quad (2)$$

В попередніх експериментах було визначено, що перехідний режим спостерігається при умові ланцюгового спливання бульбашок в шарі рідини. Підставляючи в (2) відомі співвідношення для d_n в цьому режимі, для v_B та з урахуванням експериментального значення $\varepsilon_m = 32$, отримали рівняння

$$\frac{d_n}{d_c} = \left\{ 1.95 \cdot 10^{-3} \varepsilon_k \left(\frac{\rho_n}{\rho_k} \right)^2 K^2 \left[\frac{gW_c d_c}{\alpha_k v_B^2} \right] \left[\pi \left(\frac{3}{2} \frac{\rho_n}{\rho_k} Fr - 6We \right) \right] \right\}^{\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

де γ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини, μ – коефіцієнт в'язкості рідини.

В роботі доведено, що для динамічного режиму при $DT \leq 15$ рівняння (3) при $\varepsilon_k = 8$ ч 10 дає завищені результати в порівнянні з експериментом на 10 – 15 %. Розрахунки по формулі (3) порівнювались з відомими експериментальними даними, здобутими для систем: повітря – вода, повітря – етиловий спирт, бензол – пари бензолу. Було встановлено, що погрішність в вищезначеному діапазоні DT для кожної системи не перевищує $\pm 10\%$.

На основі вищенаведеного можна стверджувати, що запропонований фізичний механізм та рівняння (2), (3) правильно відбивають характер шуканої

залежності у всьому діапазоні параметрів. Знаючи d_n можна розрахувати газоутримання шару рідини по рівнянню

$$\Phi_g^{-0,37} = 1,25 \frac{\sigma^{\frac{3}{5}}}{\rho_k^{\frac{3}{5}} \epsilon^{\frac{2}{5}}} \left(\frac{\rho_k}{\rho} \right)^{\frac{1}{5}} d_n, \quad (4)$$

де $\epsilon = W_c g \left(\frac{P_1}{P_1 - P_2} \right) \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$; P_2 – тиск над рідиною; P_1 – тиск пари в шарі рідини.

Аналіз рівнянь (2) – (4) дозволяє стверджувати, що циклічна зміна тиску в системі (вакуум – тиск більше атмосферного) повинно призвести до інтенсифікації процесу пароутворення і збільшення величини Φ_g .

За достатньо швидкої зміни тиску при досягненні вакууму (що практично ідентично швидкому нагріванню рідини) основна маса зародків парової фази постачається флуктуаційним шляхом, а роль готових центрів пароутворення стає відносно незначною. В результаті, при швидкому і глибокому входженні в нестабільну область спостерігається лавиноподібне виникнення зародків в об'ємі рідини і швидкий ріст бульбашок в прогресуючому темпі. Ці бульбашки поглинають теплоту перегріву. Після видалення бульбашок з об'єму, рідина піддається надлишковому тиску, що рівнозначно більш інтенсивному використанню тепла, акумульованого в рідині. Далі в рідині, що надходить апарат, з'являються нові зародки, після чого весь цикл повторюється. В результаті, встановлюється своєрідний автоколивальний режим гомогенного утворення зародків, який обумовлений балансом між теплообміном з внутрішнім джерелом і відводом тепла зростаючими зародками. В цілому, в результаті описаного явища встановлюється автоколивальний режим гомо- або гетерогенного кипіння, відомий як “поштовхоподібне кипіння”. Вказані автоколивання призводять і до періодичних осциляцій температури, теплового потоку, густини пари в бульбашках та концентрації двофазної системи. Наявність у розглянутій системі власних частот коливань робить можливим резонансні явища і штучне параметричне збудження коливань. Наскільки відомо автору, послідовної теорії нестійкості процесу автоколиваний вказаного типу не має. Є деякі теоретичні посилання в цьому напрямку для процесів кристалізації та кипіння на поверхні нагріву при інтенсивному підводі тепла до цієї поверхні.

Для динамічного опису еволюції досліджуваної системи були застосовані рівняння для функції розподілу $f(\phi, r)$ бульбашок по радіусу, яка є нормованою на числову концентрацію бульбашок. Крім того, елементарна кількість акумульованого системою тепла, відповідно до першого начала термодинаміки, дорівнює: $dq = C_x dT + L dx$, де C_x – теплоємність двофазної системи при постійній масовій концентрації нової фази – x ; L – прихована теплота фазового переходу. Було також прийнято, що теплоємність і густина суміші приблизно співпадає з аналогічними C та c для рідини. Тоді рівняння балансу тепла представляється у вигляді

$$\rho C \frac{dT}{d\tau} = \alpha (T_m - T) - \rho L \int_r^{\infty} \frac{dv}{d\tau} f(r) dr, \quad (5)$$

де $v = \frac{4}{3}\pi r^3$, b – коефіцієнт тепловіддачі, який визначає інтенсивність використання внутрішнього тепла q для пароутворення: $\alpha = 285,0 \rho^{0,4} q^{0,7}$; T_m – максимальна температура рідини. Пропонується однорідність T_m , що асоціюється з моделлю ідеального змішування.

Кінетичне рівняння для функцій розподілу і гранична умова до неї записується

$$\frac{df}{d\tau} + \frac{d}{dr} \left(\frac{dr}{d\tau} f \right) + k_v f = 0, \quad \left(\frac{dr}{d\tau} \right)_{r=t^*} = J \left(\frac{T - T_0}{T_0} \right), \quad (6)$$

де k_v – коефіцієнт масообміну; J – швидкість утворення зародків, яка залежить від відносного перегріву понад температуру кипіння T_0 . T_0 , в інтервалі тисків від 0,25 до 1,5 атмосферного – є лінійною функцією P і легко визначається розрахунками. Гранична умова в (6) описує явище появи в системі бульбашок мінімального розміру.

Якщо ввести нові змінні та параметри

$$U = \frac{T - T_0}{T_0}, \quad U_m = \frac{T_m - T_0}{T_0}, \quad E = \frac{f}{r}, \quad S = r^2, \quad \frac{dr}{d\tau} = \frac{\beta T U}{r}, \quad \beta = \frac{\lambda}{\rho L},$$

де λ – теплопровідність рідини, при $K_v \tau \gg 1$ з (5) та (6) можна отримати еволюційне рівняння для єдиної змінної – відносно перегріву U

$$\frac{dU}{d\tau} + 4\pi \beta T_0 U_0 \frac{1}{2} \frac{\lambda}{\rho C} \int_0^{\infty} J \psi(r) e^{-k_v t} \sqrt{\tau} dt = \frac{a}{\rho C} (U_m - U). \quad (7)$$

Рівняння (7) є нелінійна система з розподіленими параметрами і воно допускає стаціонарне вирішення $U = U_0$, при цьому для визначення U_s , припускаючи, що $U_s = U_0$, маємо трансцендентне рівняння

$$\frac{4\pi T_0 \frac{1}{2} \lambda \pi U_s \frac{3}{2}}{\alpha k_v^2} \cdot J (U_s) = U_m - U_s. \quad (8)$$

Якщо ввести нові змінні

$$t = k_v \tau, \quad \zeta = \frac{x}{U_s}, \quad t^* = \frac{\rho k_v}{\alpha}, \quad U = \frac{U_m}{U_s}, \quad l = \frac{U_s J' (U_s)}{J (U_s)},$$

та поклавши, що $\zeta = \zeta_0 e^{\nu t}$, $h = iw$ можна здобути алгебраїчне рівняння для комплексного параметру h , яке розділяється на два рівняння для дійсної і мнімої частин цього параметру. Після розрахунку маємо

$$t^* \nu + U + \frac{g (U - 1)}{1 + \nu \frac{3}{2}} = 0. \quad (9)$$

Якщо також ввести, що $u = \arctg w$, $R = \frac{\tau^*}{U}$, $S = g \frac{U-1}{U}$, то з (7) витікає рівняння, яке має корень $u=0$ і корень $u=u(R)$, що монотонно зменшується від $p/2$ до $p/3$ при збільшенні R від 0 до ∞ . Першому кореню відповідає несталість

$$\frac{U_s}{J U_s} \frac{dJ}{dU} \Big|_{U=U_0} < L - \frac{U}{U-1}, \quad (10)$$

другому

$$\frac{U_s}{J U_s} \frac{dJ}{dU} \Big|_{U=U_s} > S R \equiv 1 + tg^2 U^{\frac{3}{4}} \left(-\cos \frac{3u}{2} \right)^{-3}. \quad (11)$$

З (10) витікає, що несталість можлива як для висхідних, так і для низхідних залежностей швидкості виникнення зародків відносно перегріву. Низхідні залежності нереальні для кипіння. Аналіз здобутих залежностей дозволив представити фазовий портрет автоколивального режиму для досліджуваної системи у виді прямокутника ABCD площини перемінних U та n , де n – числова концентрація бульбашок. Було доведено, що для сталого процесу автоколивання досить виконання сильної нерівності

$$J \gg \frac{U^2}{4\pi r \lambda r_*} \frac{U_m - U_*}{U_*} \ln^{-1} \frac{U_m - U_A}{U_m - U_*}, \quad (12)$$

де U_A – функція від фізичних параметрів і часу. При цьому тривалість одного циклу (період автоколивання) визначається як

$$t_{AB} + t_{CD} = t_1 + t^* \ln \left(\frac{U_m - U_A}{U_m - U_*} \right). \quad (13)$$

Таким чином, рівняння (13) фактично відображає раціональний, термодинамічно-обґрунтований час періодів включення вакууму, його вимкнення, витримки, підняття тиску. При витримці цих періодів в апараті буде спостерігатися сталий автоколивальний режим. Тому при експериментальному визначенні адекватності моделі вищезначені періоди розраховувались відповідно рівнянь моделі.

В третьому розділі “Методи дослідження процесу десорбції легколетких компонентів із рідких відходів хімічних підприємств з застосуванням імпульсних режимів” наведено методики: проведення досліджень на лабораторній і дослідній установках, визначення масових концентрацій легколетких компонентів в рідині, ступеню відгонки компонентів, а також основні рівняння для визначення коефіцієнтів масопередачі, масовіддачі і основних критеріїв Nu , Re , Pr .

На рис. 1 наведено схему дослідної установки. Установка містила апарат миттєвого закипання (АМВ) (поз. 1), холодильник (поз. 2), бак – мірник для флегми (поз. 4), заводський трубопровід скидання забрудненої стічної води (поз. 5), заводський трубопровід свіжої технічної води (поз. 6). Функціонування установки здійснювалось наступним чином. З трубопроводу 5 забруднена стічна вода з температурою (95-98 °С) подавалась в кубову частину АМВ, де за рахунок

розрідження, що створювалось, відбувалось миттєве закипання води. При цьому, виділялися водяні пари та аміак, які спрямовувались в холодильник 2, де вони конденсувались. Флегма, що утворювалась в холодильнику, направлялася в бак-мірник, а частково очищений конденсат – у ресивер.

Повітря та пароаміачна суміш, що не сконденсувалась відсмоктувалися вакуум-насосом в атмосферу.

Дослідження проводилися в два етапи. На першому етапі досліджувався процес десорбції аміаку з рідких відходів хімічних підприємств в режимі, коли в АМВ підтримувалось визначене постійне розрідження. На другому етапі досліджувався імпульсно-вакуумний режим. Під час проведення досліджень, рівень “забрудненої” води в кубовій частині АМВ підтримувався постійним $\sim 1,5$ м, витрата “забрудненої” води змінювався в інтервалі від 2 до $4,5$ м³/год, витрата охолоджувальної води від 2 до 10 м³/год. Обробка експериментальних даних проводилася з метою визначення параметрів, що характеризували процес десорбції аміаку з використанням методу планування експерименту. Для обробки результатів експериментів застосовувався методи математичної статистики реалізовані на ЕОМ.

В четвертому розділі “Дослідження процесу десорбції аміаку зі рідких відходів хімічних підприємств в апаратах з вакуум-імпульсним режимом”, зокрема, розглянута кінетика зміни масової концентрації аміаку в розчині під час десорбції при постійних тискові та температурі (98 °С) з рідин, що мають різні вихідні концентрації (рис. 2.). З аналізу наведених даних випливає загальна тенденція: для будь-яких режимів зі зниженням вихідної концентрації аміаку в рідині в 2 рази швидкість відгону NH_3 зменшується в 2,5 – 3 рази. Це можна пояснити тим, що при зниженні концентрації аміаку у вихідній рідині зменшується парціальний тиск його парів, відповідно, рушійна сила процесу десорбції. При проходженні визначеного періоду часу i , відповідно, досягненні визначених залишкових концентрацій NH_3 у рідині при проведенні процесу під вакуумом та вакуум-імпульсному режимах швидкості виділення аміаку стають приблизно однаковими (рис. 2 – 5, криві 3, 5; 4, 6). Це явища не спостерігається при відгонці аміаку за рахунок барботажу повітря (мал.3, криві 1, 2). Очевидно, що це можна пояснити різницею характеристик двофазного барботажного шару в реакторі.

Природа барботажного шару залежить від способу його утворення. У випадку, коли для цього застосовують повітря, міжфазна поверхня бульбашок і барботажний шар виникають в наслідок подрібнення газового струменя. Процес масообміну для цього випадку достатньо добре вивчений. Його інтенсивність пропорційна величині газовмісту шару. На відміну від цього при вакуумі і вакуум-імпульсному режимі барботажний шар, створений з парових бульбашок, формується на твердій поверхні при кипінні недогрітої рідини. При чому, на відміну від газових бульбашок, поверхня парових – пульсує.

Аналіз експериментальних даних, наведених на рис. 2 також свідчить про те, що при вакуум-імпульсному режимі при будь-яких вихідних концентраціях

NH_3 , інтенсивність процесу десорбції аміаку в 2-3 рази вище в порівнянні з іншими дослідженими режимами.

При циклічному знятті розрідження придушується коалесценція парових бульбашок. При цьому, до початку наступного циклу вакууму шар рідини не встигає дегазуватися і при повторному розрідженні міжфазна поверхня значно вище, що призводить до інтенсифікації масообміну.

На рис. 3 наведено експериментальні дані, що відбивають вплив величини розрідження на ступінь відгонки аміаку. Досліди виконувалися з рідиною в якій містилось 200 мг/дм^3 та нагрітою до 98°C . Видно, що інтенсивність десорбції аміаку є функцією величини тиску в реакторі. Однак, при вакуумному режимі при досягненні концентрації аміаку $15\text{-}25 \text{ мг/дм}^3$ рушійна сила процесу десорбції близька до нуля і повне видалення NH_3 з розчину неможливе за даних експериментальних умов. Це можна пояснити наступним. За даними Н.Хахама 93-97 % аміаку в розчині знаходиться у вигляді NH_4OH з дуже малим ступенем електролітичної дисоціації.

При температурі 80°C гідроксид амонію цілком розкладається і розчинність NH_3 стає пропорційною його парціальному тискові у газі. Як відомо, рівноважний тиск над розчином пропорційний мольній частці компонента в рідкій фазі. За даних експериментальних умов спостерігається рівноважний стан. Очевидно, що це “хибна” рівновага, оскільки включення циклічного режиму дозволяє досягти майже повного видалення аміаку (рис.3, криві 5, 6).

На рис. 4 представлений вплив температури процесу на кінетику відгону NH_3 . Досліди проводилися з рідиною, що містила 200 мг/дм^3 аміаку. Аналіз даних, наведених на рис. 4 підтверджує загальновідомий факт, що з підвищенням температури процесу зростає його рушійна сила. Так, при зменшенні температури на 10-15 градусів інтенсивність виділення аміаку знижується на 30-35 %. Однак, як бачимо, основним фактором, що поряд з рушійною силою процесу є гідродинамічний фактор. Це доводять дані, наведені на рис. 5 (криві 6, 7; 4, 5).

Таким чином, аналіз експериментальних даних, наведених на рисунках 3 – 5, свідчить про те, що загальні кінетичні закономірності процесу десорбції при продуванні повітрям, при десорбції під вакуумом і при десорбції при реалізації вакуум-імпульсного режиму ідентичні.

Різниця в швидкостях процесів десорбції, яка спостерігається в експериментах, пов'язана з відмінністю гідродинамічних режимів, наслідком чого є різниця в значеннях об'ємного коефіцієнта масовіддачі. Тому на наступному етапі досліджували процеси масопереносу при різних гідродинамічних режимах. Слід відмітити експериментально встановлений факт про переваги реалізації процесу десорбції за вакуумно-імпульсних режимів.

У таблиці 1 наведені основні результати дослідження процесу на дослідній установці. У кожному рядку наведені середньоарифметичні значення з 85 дослідів.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень процесу відгонки NH_3 на дослідному обладнанні.

Тиск в АМВ, мм рт.ст./ МПа	Температура °С	Витрати G_{NH_3} , кг/год	Коефіцієнт масовіддачі K_L , м/год	Коефіцієнт дифузії D , м ² /год
	$x_1 \cdot 10^1$	$x_2 \cdot 10^1$	$x_3 \cdot 10^3$	$x_4 \cdot 10^3$
* 570/0,076	950	0600	0670	150
** 570/0,076	950	0600	0900	170
* 499/0,0653	880	0585	0572	148
** 490/0,0653	870	0600	0732	160
* 468/0,0624	865	0528	0684	157
** 440/0,0586	855	0477	0836	165
* 440/0,0586	850	0832	1534	162
** 420/0,056	843	0740	1934	174
* 360/0,048	805	0840	1420	188
** 360/0,048	805	0800	2540	200
* 220/0,0293	730	1375	4628	280
** 220/0,0293	700	1986	8165	350

* - режим стаціонарний; ** - режим імпульсно-вакуумний

Як і слід було очікувати, при проведенні процесу десорбції NH_3 із рідких відходів хімічних підприємств у стаціонарному режимі, ступінь очищення рідких відходів хімічних підприємств від аміаку залежить від величини розрідження в АМВ. Так, при витраті рідких відходів хімічних підприємств $4 \text{ м}^3/\text{год}$ і розрідженні $4 \cdot 10^4 \text{ Па}$ (300 мм рт. ст.) ступінь відгону складає 20 %, а при розрідженні $6 \cdot 10^4 \text{ Па}$ (450 мм рт. ст.) – близько 60 %, тобто практично досягає граничного значення для стаціонарних умов. Відповідно величині розрідження в АМВ змінюється і коефіцієнт масовіддачі, який при зростанні розрідження на 10-15 % збільшується в 1,6ч1,8 рази, відповідно збільшується і коефіцієнт дифузії на 6 – 8 %. Зменшення витрати рідких відходів хімічних підприємств до $2 \text{ м}^3/\text{год}$ практично не впливає на вищевідзначені показники. Істотний вплив має масова концентрація аміаку в стічній воді, що надходить на процес десорбції.

Аналіз експериментальних даних показав, що при зниженні масової концентрації аміаку у вихідному розчині (за інших рівних умов) швидкість процесу десорбції зменшується, про що свідчить значення K_L , яке зі зменшенням концентрації NH_3 у два рази зменшується в 2,5 – 3 рази. Однак, ступінь відгонки NH_3 практично не залежить від його вихідної масової концентрації. Так за інших рівних умов, при вихідній концентрації аміаку в рідких відходах хімічних підприємствах $90\text{-}125 \text{ мг}/\text{дм}^3$ гранична ступінь відгонки складає 60 %, а при збільшенні вихідної концентрації в 3 рази ($260\text{-}375 \text{ мг}/\text{дм}^3$) гранична ступінь відгонки не перевищує 62-65 %. Це, очевидно, пов'язано з особливостями процесу кипіння недогрітої рідини при впливі вакууму і, відповідно, структурою газорідного шару. Можна припустити, що при досягненні ступеня відгонки 60-65 %, розмір парових бульбашок не досягає своїх критичних значень, вони не спливають до поверхні шару рідини.

Масообмін, хоча і відбувається в момент зародження газових бульбашок, однак вони, не досягаючи критичного розміру, конденсуються. Підвищення температури на 7 – 10 градусів, навіть при меншому розрідженні (тиск в АМВ $1,6 \cdot 10^4$ Па) призводить до підвищення значення K_L у 1,17 рази і ступеня відгонки в 1,3 рази (до 39 %) у порівнянні з даними при температурі 88 °С і тиску в АМВ – $6,53 \cdot 10^4$ Па.

Крім того, було встановлено, що підвищення температури на 7 – 10 градусів збільшує значення граничного ступеню відгонки на 10 – 12 %.

Усі ці явища, які спостерігаються при стаціонарному режимі, досить коректно пояснюються з точки зору теорії процесу кипіння рідини у великому об'ємі. Згідно теорії, критичний радіус парової бульбашки оцінюється за рівнянням.

$$r_{кр} = \frac{2\sigma}{P_n - P_p}, \quad (14)$$

де P_n, P_p – тиск пари всередині бульбашки і тиск рідини, що знаходиться навколо бульбашки, відповідно; σ – поверхневий натяг самої бульбашки.

Якщо утворюється вакуум в системі, то в рівнянні (14) змінюється величина σ , зростає різниця $(P_n - P_p)$ і відповідно зростає $\Delta T = T_p - T_n$ за рахунок того, що при зниженні тиску зменшується T_n – температура насичення. Відповідно зменшується $r_{кр}$. Це призводить до різкого збільшення швидкості пароутворення

$$W = \frac{q}{r\rho_n}, \quad (15)$$

де q – величина акумульованого рідиною тепла; ρ_n – густина парової бульбашки (пара + легколеткий компонент). При зменшенні концентрації NH_3 у розчині, число потенційних центрів утворення зародків різко зменшується. Треба також взяти до уваги, що парова бульбашка в основному містить H_2O і для утворення такої, що спливає крізь шар рідини, потрібне більше значення $r_{кр}$. Тому, для забезпечення пароутворення необхідно збільшити розрідження АМВ, підвищувати значення q (див. рівняння 24), або збільшувати інтенсивність q .

Для забезпечення останнього необхідно вже над киплячою рідиною підвищити тиск. При цьому інтенсивність тепловіддачі, тобто інтенсивність використання (q) для пароутворення збільшується. Зі збільшенням T_n зменшується σ . В результаті величина необхідного ΔT для підтримки бульбашкового кипіння знижується. В цих умовах внаслідок активізації більш дрібних центрів паротворення збільшується число життєздатних зародків парової фази, що призводить до інтенсифікації тепло-масопереносу. Таким чином, можна припустити, що поєднання стаціонарного вакуумного режиму з періодичним (циклічним) підвищенням тиску в системі може інтенсифікувати процес і підвищити ступінь відгонки NH_3 . Експериментальні результати, наведені в табл. 1 наглядно підтверджують це припущення. Відповідні заміри параметрів та спостереження за процесом показали, що при нестационарному (циклічному) режимі, в момент створення розрідження, відбувається інтенсивний відбір пароаміачної суміші з АМВ, при цьому швидкість відгонки

NH_3 порівняно зі стаціонарним режимом збільшується в 1,4 – 1,6 рази. При наступному підвищенні тиску, ступінь відгонки NH_3 в сепараційний об'єм АМВ майже такий, як і при протіканні процесу в стаціонарному режимі. Було встановлено, що при підвищенні тиску температура пароаміачної суміші в паровому просторі АМВ збільшується. Перегрів рідини зменшується тільки на межі між шаром рідини та паровим простором АМВ. В об'ємі рідини температура підвищується на 2 – 3 градуси, тому кипіння продовжується, що підтверджує вищевикладені думки. За нового підвищення вакууму відбувається знову інтенсивне кипіння по всьому об'ємові.

Аналіз експериментальних даних показав, що найбільш інтенсивно процес десорбції NH_3 протікає при тривалості циклу 5 хв., коли 220 с паро-газова суміш всмоктується з АМВ і 80 с – ні. Візуально і вимірами встановлено: якщо висмоктування триває більш 240 с, кипіння в шарі рідини подавляється, що пояснюється підвищенням тиску в системі до значень близьких до атмосферного. Було також встановлено, що якщо клапан закритий менше однієї хвилини, то тиск у паровому просторі підвищується не значно, тобто не встигають пройти процеси, які забезпечують зниження ДТ для підтримки бульбашкового кипіння. Крім того, за цей період часу в конденсаторі не встигає сконденсуватися пароаміачна суміш (про що свідчить температура води на виході з конденсатора $t_{B2} = 7,2$ °С) і відповідно не досягається необхідне розрідження. За час 220 с, коли відсмоктування триває, у системі досягається граничний ступінь відгонки ~ 60 %. Таким чином при висмоктуванні процес протікає майже як стаціонарний, а циклічна зміна тиску в якості сумарного ефекту дозволяє досягнути ступеня відгонки аміаку 94 – 96 % проти 60 – 65 %, що спостерігаються при застосуванні стаціонарного режиму. З даних, які наведені у табл. 1, випливає, що при реалізації циклічного режиму, коефіцієнти масовіддачі і дифузії (за інших рівних умов) у 1,8 – 2 рази вище, ніж при реалізації стаціонарного режиму. Це свідчить про те, що розміри парових бульбашок, інтенсивність пароутворення визначають структуру паро-рідинного шару, гідродинаміку шару і, відповідно, інтенсивність масопереносу і відгонки аміаку.

У табл. 1 у кожному стовбці зміна параметрів відмічена у вигляді змінних x_i . Для обробки результатів, які наведені в таблиці 1, застосували регресійний аналіз.

У рамках лінійного регресивного аналізу модель має вигляд

$$y = z_0 + v_1x_1 + v_2x_2 + e_1 \quad (16)$$

де $y = \ln Nu$; $z_0 = \ln v_0$; $x_1 = \ln Re$; $x_2 = \ln Pr$, e – адитивна випадкова помилка моделі з центром в нулі та середньоквадратичним відхиленням (СКВ) y_y . Розмірність y_y співпадає з розмірністю величини y . Тому оцінка залишкової помилки рівняння (16) є СКВ натурального логарифма величини Nu , $S_0 \rightarrow y_y$.

В результаті обробки даних (табл. 1) методом регресійного аналізу на ЕОМ знайшли, що коефіцієнт $v_2 = 0$ (тобто коливання Pr значно не впливає на Nu . Тоді шукана залежність буде мати вигляд

- для імпульсного режиму

$$Nu = 5.96 \cdot 10^{-5} Re^{1.27} \quad (17)$$

- для стаціонарного режиму

$$Nu = 3.28 \cdot 10^{-5} Re^{1.1} \quad (18)$$

Коефіцієнт ν_l значущий на рівні значущості 10^{-7} ; середньоквадратичне відхилення (СКВ) залишкової похибки величини Nu дорівнює $S = 0,18$; рівняння (17), (18) визначені в області $2800 < Re < 14300$; $0,69 < Pr < 0,73$. Ці залежності інформативні, так як співвідношення дисперсії логарифму Nu , $S^2_{про} = 0,56$, що характеризує загальне розсіяння відгуку $\ln Nu$ навколо середнього значення логарифма $\ln Nu = 3,29$, до залишкової дисперсії логарифму Nu більше ($S^2_{об}/S^2_0 = 0,56^2/0,18^2 \approx 9,7$). Адекватність рівнянь (17), (18) оцінена шляхом порівняння СКВ S_0 з СКВ помилки відтворення S величини $\ln Nu$. Оскільки на дослідному обладнанні проводився пасивний експеримент (паралельні досліди не проводилися), то за допомогою спеціальної програми на ЕОМ знайшли 98 пар майже паралельних дослідів, в яких величини Re були приблизно рівні і відповідно $S_B = 0,16$. Порівняння S_0 з S_B за критерієм Фішера ($F = S^2_0/S^2_B = 1,23$) дозволило відхилити гіпотезу про неадекватність рівнянь (17), (18) на рівні значущості $\hat{\alpha} = 0,2$. Останній дорівнює вірогідності помилкового відхилення гіпотези, що перевіряється, у разі, коли вона вірна. Так, при малому значенні $\hat{\alpha}$ (порівняно з $\hat{\alpha}_{кр} = 0,05$) гіпотезу, що перевіряється, про рівність коефіцієнту ν_l нулю було б відхилено, а при більшому значенні $\hat{\alpha} \gg \hat{\alpha}_{кр}$ гіпотезу про адекватність залежностей підтвердили.

Таким чином, отримані адекватні залежності (17), (18) підтверджують, що гідродинаміка парорідинного шару в АМВ визначає інтенсивність масопередачі (K_{La}) і ступінь відгонки аміаку.

Визначена в розділі експериментальна тривалість вакуумування і підвищення тиску узгоджується з модельними уявленнями за рівняннями (7) – (13). Підставляючи в рівняння значення U_i було встановлено, що схема автоколивального процесу стала, а періоди (тривалість) підйому та зняття тиску в системі, які розраховано за вищенаведеними рівняннями, відрізняються від тієї, що експериментально спостерігалася не більш, ніж на 3 % абсолютних.

Далі в розділі наведено експериментальні дані по десорбції морфоліну зі рідких відходів хімічних підприємств у виробництві сульфонаміду „М”, а також при випарюванні стоків гальванічного травлення. Було показано, що при використанні вакуум-імпульсних режимів процес протікає відповідно до виявлених вище закономірностей і значно більш інтенсивно, ніж під сталим вакуумом.

Таким чином експериментальні дослідження підтверджують адекватність розроблених в роботі математичних моделей.

У п'ятому розділі “Алгоритм технологічного розрахунку дослідно-промислового зразку апарата миттєвого закипання при циклічній зміні тиску в апараті” наведена методика розрахунку апаратів миттєвого кипіння і роторно-плівкових, в яких реалізується імпульсно-вакуумний режим десорбції. Наведено розрахунки вищезазначених апаратів для конкретних виробництв. Результати розрахунків покладено в основу розробки апаратурно-технологічної

схеми процесу і технічного процесу апаратів. Результати в якості рекомендацій передані для впровадження на Чернівецький машинобудівний завод.

У шостому розділі “Очікувана економічна ефективність від впровадження технологічної схеми підготовки та утилізації слабомінералізованих промстоків на Лисичанському содовому заводі” наведено оцінку економічної ефективності реалізації проекту підготовки забруднених аміаком рідких відходів хімічних підприємств заводу перед подачею на біохімічну очистку шляхом десорбції аміаку в апараті з вакуум-імпульсним режимом. В розділі доведена значимість використання розробленого процесу і його привабливість. Показано, що при впровадженні процесу очікуваний економічний ефект буде складати 743 тис. грн. на рік.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено вирішення актуальної науково-практичної задачі розробки теоретичних основ і шляхів інтенсифікації десорбції легколетких компонентів із рідких відходів хімічних підприємств в апараті миттєвого кипіння з циклічними змінами тиску, та зроблені наступні висновки:

- 1 Розроблені математичні моделі формування барботажного шару і процесу кипіння недогрітої рідини при вакуум-імпульсному режимі. Використовуючи моделі, обґрунтовано і визначено цикли зміни тиску в апаратах для десорбції легколетких компонентів.
- 2 Для досліджуваного процесу отримані дані по величині коефіцієнтів масовіддачі при проведенні процесу десорбції аміаку із рідких відходів хімічних підприємств з застосуванням вакуум-імпульсних режимів, підтверджена адекватність моделей і доведено, що напрямок інтенсифікації масообмінних процесів має перевагу перед всіма відомими. Показано, що коефіцієнт масовіддачі, при проведенні вакуум-імпульсних режимів в 1,5...2 рази вищий в порівнянні з методом інтенсифікації, заснованим на збільшенні відносних швидкостей контакту фаз, в 1,3 – 1,5 вище в порівнянні зі стаціонарними вакуумними режимами.
- 3 Встановлено кінетичні закономірності і механізм процесу десорбції легколетких компонентів при кипінні недогрітої рідини з використанням вакуум-імпульсних режимів, що дає змогу розробити математичну модель та рекомендації щодо проектування апарату.
- 4 Визначені найбільш раціональні параметри циклів для десорбції NH_3 із рідких відходів хімічних підприємств: повний цикл $\phi_{1-4} + \phi_{3-2} = 5$ хв., ϕ_{3-2} – висмоктування паро-газової суміші з повним виводом газових бульбашок – 3,6 хв., ϕ_{1-4} – підвищення тиску – 1,33 хв., зміна тиску від 0,133 МПа до 0,05 МПа. Ці значення узгоджуються з розрахунками по формулам математичних моделей. Розбіжності в значеннях не перевищують 3 %.
- 5 В результаті аналізу якісних експериментів по десорбції морфоліну із рідких відходів хімічних підприємств і розпарювання рідких відходів хімічних підприємств травильних відділень було показано, що модельні уявлення про

метод інтенсифікації масообмінних процесів з використанням імпульсно-вакуумних режимів застосовні в цих випадках, що дає підставу судити про універсальності математичних моделей, розроблених в дисертації.

6. Практична цінність отриманих результатів полягає у виборі типу десорбера для проведення процесу, розробки методики і алгоритму його розрахунку, створенні апаратурно-технологічної схеми процесу підготовки рідких відходів хімічних підприємств. Практична цінність також підтверджується розрахунками очікуваного економічного ефекту від впровадження розробки на Лисичанському содовому заводі (Україна), очікуваний економічний ефект становить 743 тис. грн. за рік. Рекомендації прийняті до впровадження також виробничим об'єднанням ВО „Чернівцілегмаш”.

ПЕРЕЛІК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. А.Ю. Масикевич, В.Ф. Райко, В.П. Шапоров, О.А. Лопухина. О формировании барботажного слоя при кипении недогретой жидкости // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Харьков: Техн. центр, 2005. – № S (13).– С. 107-111.

Особистий внесок: здобувач запропонував фізичну модель рівноваги бульбашок у недогрітій рідині

2. А.Ю. Масикевич, В.П. Шапоров, О.А. Лопухина. Исследование процесса десорбции аммиака из сточных вод в аппарате с вакуум-импульсным режимом // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харьков: НТУ „ХПІ”, 2005 – № 1. – С. 53-61.

Особистий внесок: здобувач провів експеримент процесу десорбції аміака зі рідких відходів хімічних підприємств в апараті

3. А.Ю. Масикевич, В.П. Шапоров, В.Ф. Райко, О.А. Лопухина. Экспериментальное изучение кинетики десорбции NH_3 из сточных вод при использовании вакуума и вакуум-импульсного режима // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.– Харків: НТУ “ХПІ”, 2004.– № 41 (13).– С. 35-47.

Особистий внесок: здобувач провів експеримент процесу вивчення кінетики десорбції NH_3 і виконав обробку експериментальних даних

4. В.П. Шапоров, В.Ф. Райко, А.Ю. Масикевич. К теории процесса кипения недогретой жидкости при вакуум-импульсном режиме // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005.– № 27.– С. 159-167.

Особистий внесок: здобувач прийняв участь у створенні математичної моделі процесу кипіння і запропонував методи рішення рівнянь моделі з заданими граничними умовами

5. В.П. Шапоров, В.Ф. Райко, А.Ю. Масікевич. Згідно теорії процесу кипіння недогрітої рідини при вакуум-імпульсному режимі // Тези четвертої міжнародної наукової конференції „Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки”. – м. Чернівці: Зелена Буковина, 2005.– С. 337-346.

Особистий внесок: здобувач розробив теорію процесу кипіння недогрітої рідини при вакуумно-імпульсному режимі.

6. А.Ю. Масикевич, С.А. Терещенко, В.П. Шапорев, Способ очистки промышленных сточных вод от свободного аммиака // Тези третьої міжнародної наукової конференції „Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки. – м. Чернівці: Зелена Буковина, 2004.– С. 209-210.

Особистий внесок: здобувач запропонував схему очистки рідких відходів хімічних підприємств

7. А.Ю. Масикевич, В.П. Шапорев. Исследование процесса очистки сточных вод от свободного аммиака // Тези доповідей учасників науково-практичної конференції „Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології”.– м. Чернівці: 2004.– С. 85-86.

Особистий внесок: здобувач провів експеримент.

АНОТАЦІЯ

Масикевич А.Ю. “Закономірності масопередачі в процесі вакуум-імпульсної десорбції легколетких компонентів із рідких відходів хімічних підприємств” – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2006.

Захищаються результати теоретичних і експериментальних досліджень гідродинамічних і тепло- масообмінних характеристик процесу десорбції легколетких компонентів зі рідких відходів хімічних підприємств. Досліджувалися рідкі відходи, підігріті до температури 75 – 90 °С. Десорбція здійснювалася при кипінні води за рахунок застосування вакуум-імпульсних режимів (циклічної зміни в апараті тиску від вакууму до тиску більше атмосферного). Установлено особливості процесу кипіння рідини й десорбції, кінетика видалення легколетких компонентів. Розроблено математичні моделі процесу десорбції при кипінні підігрітої рідини. Доведено адекватність моделі. Запропоновано технологічну схему процесу й конструкцію апарата (десорбера). Виконано техніко-економічну оцінку запропонованого процесу.

Ключові слова: гідродинаміка газорідинних систем, теплообмін в рідинних системах, масообмін в газорідинних системах, математична модель, пульсація, вакуум-імпульсний режим, кінетика, аміак, морфолін.

АННОТАЦИЯ

Масикевич А.Ю. “Закономерности массопередачи в процессе вакуум-импульсной десорбции легколетучих компонентов из жидких отходов химических предприятий”. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – процессы и оборудование химической технологии –

Национальный технический университет „Харьковский политехнический институт”, Харьков 2006.

В диссертационной работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований гидродинамики и тепломассообмена, методы интенсификации при проведении процесса десорбции легколетучих компонентов из жидких отходов химических предприятий с использованием импульсных режимов.

Методы подготовки жидких отходов перед подачей их на биологическую очистку на большинстве предприятий включают стадию десорбции из вод легколетучих компонентов (NH_3 , SO_3 , морфолина, спиртов и т.п.)

Как правило, жидкие отходы имеют температуру от 75 до 95 °С, то есть являются недогретыми до температуры кипения. Среди возможных путей организации процесса десорбции является путь, позволяющий осуществлять процесс за счет кипения недогретой жидкости при реализации вакуум-импульсного режима, то режима циклического изменения в аппарате давления от вакуума до выше атмосферного с повторением циклов. Этот режим позволяет использовать аккумулированное тепло в жидкости и достигать степени десорбции 97-98 %.

В работе разработана физическая модель возникновения барботажного слоя при кипении недогретой жидкости при циклическом изменении давления. Показано, что кипение недогретой жидкости при циклическом изменении давления представляет собой автоколебательный режим, аналогичный режиму “толчкообразного” кипения. Для описания эволюции исследуемых систем разработана математическая модель. Исследованы условия неустойчивости автоколебательного режима, выведено уравнение для периода автоколебания с определением моментов включения-выключения вакуума, давления, т.п.

Адекватность математических моделей проверялась на процессе десорбции аммиака и морфолина из сточных вод с температурой 85-90 °С и концентрацией летучих компонентов 15-20 %. С использованием методов математической статистики была доказана адекватность моделей и определено, что коэффициенты массоотдачи при вакуум-импульсном режиме в 2-3 раза больше, чем при стационарном вакууме и простой отдувкой воздухом.

Показано, что степень отгонки NH_3 достигает 97-98 %, что на 15-20 % больше, чем при стационарном вакууме. По результатам исследований предложена технологическая схема процесса, конструкция десорбера и методика его расчета.

Рассчитан экономический эффект для процесса десорбции аммиака из сточных вод одного из содовых заводов Украины, который составил 734 тыс. грн. за год.

Ключевые слова: гидродинамика газожидкостных систем, теплообмен в жидкостных системах, массообмен в газожидкостных системах, математическая модель, пульсация, вакуум-импульсный режим, кинетика, аммиак, морфолин.

SUMMARY

Masikevich A.J. “Conformities to the law of mass transfer in the vacuum - pulse desorption process of a volatile components from liquid wastes of chemical enterprises” – Manuscript.

A dissertation for the scientific degree of candidate of technical sciences in specialty 05.17.08 – processes and equipment of chemical technology. National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Kharkov, 2006.

The work is dedicated to a theoretical and experimental research of hydrodynamics and heat and mass exchange characteristics of desorption process of a volatile components from sewage. Sewage heated up to temperature 75 – 90 °C was investigated. Desorption was carried out through application of vacuum-pulse modes (cyclic change of pressure in the apparatus from vacuum to more than atmospheric pressure). Features of boiling of a liquid and of a desorption, kinetics of volatile components removals are established. Mathematical models of desorption process from a heated sewage are developed. Adequacy of models is proved. The technological circuit of process and a design of the device (desorber) are offered. The technical and economic estimation of the suggested process is executed.

Key words: hydrodynamics of gas-liquid systems, heat exchange in liquid systems, mass transfer in gas-liquid systems, mathematical model, a pulsation, a vacuum - pulse mode, kinetics, ammonia, morpholine.

Здобувач висловлює глибоку подяку д.т.н. Шапореву В.П. за цінні поради при виконанні роботи і критичні зауваження при читанні роботи.