КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису
УДК 535.52:66.045

БАРШТЕЙН Віктор Юрійович

ГІДРОДИНАМІКА І ТЕПЛООБМІН ПРИ ДВОСТАДІЙНІЙ ОБРОБЦІ ОСАДКОУТВОРЮЮЧИХ ПРОДУКТІВ В РОТОРНИХ ПЛІВКОВИХ АПАРАТАХ

Спеціальність 05.17.08 - Процеси і апарати хімічної технології

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1994

ЛВ 30.7

Дисертація є рукописом

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00777491 (Z)

Робота виконана в Київському політехнічному інституті на кафедрі машин і апаратів хімічних виробництв та Інституті харчової хімії і технології АН України і Держхарчопрому України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Воронцов Є.Г.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Яхно О.М.

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Колесник В.В.

Ведуча організація: Інститут технічної теплофізики Академії наук України.

Захист відбудеться 20 червня 1994 р. в "14.30" годин на засіданні спеціалізованої ради Д 068.14.06 при Київському політехнічному інституті за адресою: 252056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37, політехнічний інститут, корпус 21, аудиторія 212.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту

Автореферат розісланий "19" травня 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради, професор В.Я. Круглицька

ЛНБ ім. В. Стефаника АН України

Ав-30.172

А Н О Т А Ц І Я

Дисертаційна робота присвячена вивченню гідродинаміки і теплообміну при двостадійній обробці осадкоутворюючих продуктів в роторних плівкових апаратах (РПА). Для вирішення цієї задачі були досліджені фізико-хімічні властивості (густина, в'язкість, теплопровідність, питома теплоємність) реакційної маси, що містить 5,5-диметилгідантоїн (ДМГ), розроблена та модифікована експериментальні установки і методика проведення дослідів, здійснено експериментальне визначення мінімальної щільності зрошення, середнього часу перебування продукту в апараті, енергетичних витрат на привід ротора, а також коефіцієнта тепловіддачі в РПА.

Узагальнення експериментальних даних дозволило одержати розрахункові рівняння для визначення мінімального числа Рейнольдса, середнього часу перебування продукту в апараті, потужності на привід ротора та коефіцієнта тепловіддачі на різних стадіях концентрування осадкоутворюючих продуктів, в залежності від технологічних режимів процесу, фізико-хімічних властивостей продукту і конструктивних особливостей ротора.

Розроблено балансну модель енергетичних витрат на привід ротора на стадії утворення осадка, методику інженерного розрахунку, алгоритм та програму розрахунку РПА для глибокого концентрування осадкоутворюючих продуктів, нові спосіб одержання ДМГ та обладнання для його реалізації.

Результати роботи використані при розробці КНДІ "Синтеко" вихідних даних для проектування виробництва для ВО "Хімпром" (с.м.т. Первомайський, Харківської обл.) та УкрНДІхіммашем роторного плівкового апарата для цього ж виробництва.

Автор захищає:

- одержані дані досліджень фізико-хімічних властивостей реакційної маси, в якій міститься ДМГ;

- результати експериментальних досліджень та, зокрема, вплив фізико-хімічних властивостей продукту, частоти обертання ротора, його конструктивних особливостей, неізотермічності процесу та поточної довжини апарату на мінімальну щільність

зрошення і критичний тепловий потік;

- результати експериментального вивчення впливу щільності зрошення, фізико-хімічних властивостей продукту, частоти обертання ротора, його конструктивних особливостей, неньютонівської поведінки суспензії на середній час перебування продукту в апараті і потужність, яку витрачає ротор при обробці осадкоутворюючих продуктів;

- результати експериментальних досліджень впливу щільності зрошення, фізико-хімічних властивостей продукту, частоти обертання ротора, його конструктивних особливостей, довжини апарату, питомого теплового потоку, неньютонівської поведінки суспензії та стану поверхні зрошення апарату на коефіцієнт тепловідачі при нагріві та випарюванні осадкоутворюючих продуктів;

- балансну модель енергетичних витрат на стадії утворення осадку;

- методику інженерного розрахунку РПА;

- нові спосіб і обладнання для глибокого концентрування осадкоутворюючих продуктів.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи.

Одним з основних напрямків розвитку хімічної, харчової і фармацевтичної технології є заміна періодичних, багатостадійних процесів безперервними, суміщеними, з використанням інтенсивних методів виробництва.

Широке застосування одного з найбільш ефективних дезінфікуючих засобів - сульфохлорантину, розробленого в КНДФ ДержНДІхлорпроект, і активного препарату бактерицидної дії - 1,3-дихлор-5,5-диметилгідантоїну залежить від доступного способу одержання 5,5-диметилгідантоїну.

Багатостадійний спосіб одержання ДМГ є періодичним, відзначається складністю апаратурного оформлення, високою його вартістю та втратами кінцевого продукту.

В технічно розвинених країнах все більше використовуються роторні плівкові апарати для безперервного одержання сухого порошкоподібного продукту з розчинів і суспензій.

Разом з цим, відсутність знання закономірностей процесів

гідродинаміки і теплообміну, що відбуваються в РПА при глибокому концентруванні розчинів і суспензій, стримують більш широке використання цього ефективного типу обладнання.

Тому вивчення цих закономірностей є актуальною народногосподарською і науковою проблемою.

Мета роботи:

1. Дослідити фізико-хімічні властивості реакційної маси, що містить ДМГ.

2. Розробити і модернізувати експериментальні установки, розробити методику проведення дослідів, здійснити експериментальне визначення мінімальної щільности зрошення, середнього часу перебування продукту в апараті, витраченої потужності, коефіцієнту тепловіддачі в процесі обробки осадкоутворюючих продуктів в РПА.

3. Розробити балансну модель енергетичних витрат в РПА на стадії утворення осадка.

4. Розробити методику інженерного розрахунку РПА для процесу глибокого концентрування осадкоутворюючих продуктів.

5. Розробити новий спосіб одержання ДМГ і обладнання для його реалізації.

6. Впровадити матеріали досліджень у виробництво.

Наукова новизна:

1. Проведені дослідження фізико-хімічних властивостей реакційної маси, що містить ДМГ, в залежності від температури і концентрації ДМГ.

2. Одержані і узагальнені експериментальні дані про вплив, при обробці осадкоутворюючих продуктів в РПА:

- фізико-хімічних властивостей продукту, частоти обертання ротора, його конструктивних особливостей, неізотермічності процесу та поточної довжини апарату на мінімальну щільність зрошення і критичний тепловий потік;

- щільності зрошення, фізико-хімічних властивостей, частоти обертання ротора, його конструктивних особливостей, неньютонівської поведінки суспензії на середній час перебування і енергетичні витрати на привід ротора;

- щільності зрошення, теплофізичних властивостей продукту, частоты обертання ротора, його конструктивных особливостей, довжини апарата, питомого теплового потоку і неньютонівської

поведінки суспензії та стану поверхні зрошення на коефіцієнт тепловіддачі при нагріві і випарюванні.

3. Розроблена балансна модель енергетичних витрат в РПА на стадії утворення осадку.

Практична цінність і реалізація роботи

Результати експериментальних досліджень дозволили одержати розрахункові залежності для визначення основних режимних і конструктивних параметрів РПА і розробити методику розрахунку РПА для процесу випарювання осадкоутворюючих продуктів, яка реалізована в вигляді програми для ЕОМ.

На основі одержаних даних запропановані новий спосіб одержання ДМГ і конструкції для його інтенсифікації.

Результати роботи використані при розробці КНДІ "Синтеко" вихідних даних для проектування виробництва ДМГ для ВО "Хімпром" (с.м.т. Первомайський, Харківської обл.) та УкрНДІхіммашем - роторного плівкового апарата для цього ж виробництва.

Економічний ефект склав 777 тис. крб; частка автора дисертаційної роботи - 129 тис. крб.(в цінах 1989 р.).

Апробація роботи

Основні результати роботи доповідались на УШ Республіканській конференції "Повышение эффективности и совершенствование процессов и аппаратов химических производств" (м.Дніпропетровськ, 1991 р.), та конференції конкурсі ВХО ім. Д.І.Менделєєва МНВО "Синтез" на кращі науково-дослідні, проектно-конструкторські і дослідні роботи (м.Москва,1991 р.).

Публікації

За результатами виконаних досліджень опубліковано 7 робіт, одержано 5 авторських свідоцтв і одне позитивне рішення на винахід.

Об'єм і структура роботи

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списка літератури з 137 найменувань та додатків.

Основний зміст викладено на 148 сторінках машинописного тексту, які вміщують 58 малюнків. Додатки вміщують таблиці експериментальних даних, документи, що підтверджують впровад-

ження результатів роботи, алгоритм і програму розрахунків РПА для ЕОМ.

Загальний об'єм - 179 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

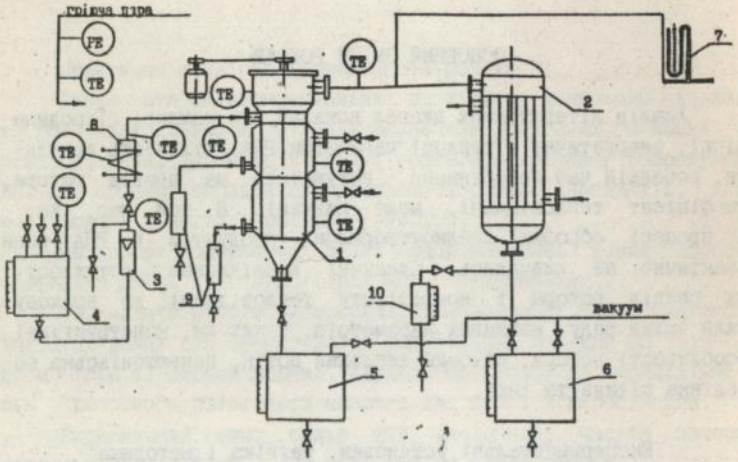
Аналіз літературних джерел показав, що важливі гідродинамічні, енергетичні і теплові параметри РПА: щільність зрошення, середній час перебування, потужність на привід ротора, коефіцієнт тепловіддачі, мало вивчені. В той час, як, в процесі обробки осадкоутворюючих продуктів в РПА, вони практично не вивчались. Одиничні дослідження потужності на привід ротора і коефіцієнту тепловіддачі не враховували вплив ряду важливих параметрів, таких як, конструктивні особливості ротора, питомий тепловий потік, неньютонівська поведінка рідини та інші.

Експериментальні установки, техніка і методика проведення дослідів

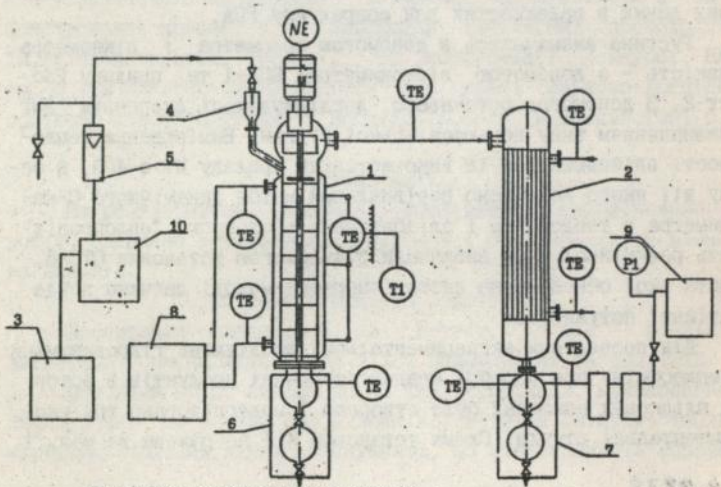
Дослідження фізико-хімічних властивостей реакційної маси, що містить ДМГ, було викликано необхідністю використання одержаних даних в залежностях для розрахунку РПА.

Густина визначалась з допомогою ареометра і пікнометра, в'язкість - з допомогою віскозиметра ВПЖ-1 та приладу Реотест-2. З допомогою останнього, досліджувалась суспензія ДМГ з визначенням типу неньютонівської рідини. Вимірювання теплоємності здійснювалось із використанням приладу ИТ-с-400, в основу дії якого покладено порівняльний метод динамічного С-калориметра з тепломіром і адіабатичною оболонкою. Теплопровідність реакційної маси визначали з допомогою установки ОТС-6, робота якої основана на нестаціонарному методі датчика-зонда постійної потужності.

Для проведення експериментальних досліджень гідродинаміки і теплообміну при обробці осадкоутворюючих продуктів в роторних плівкових апаратах було створено і модернізовано три експериментальні стенди. Схема установки N 1 зображена на мал. 1.



Мал .1. Схема експериментального стенда № 1.



Мал .2. Схема експериментального стенда №2

До основних елементів установки належать: роторний плівковий апарат (1), конденсатор (2), дозуючий пристрій - ротаметр (3), ємкість вихідного продукту (4), збірник кубового залишку (5), збірник дистиляту (6). Між ротаметром (3) та РПА (1) знаходився підігрівник (8). Установка була обладнана мірниками конденсату гріючої пари (9), дистиляту (10), ртутним вакуумметром (7). Виконання основних апаратів установки N 2 із термостійкого скла типу "пірекс" дозволяло візуально спостерігати процеси, які в них проходили. Основними елементами установки (мал. 2) були: роторний плівковий апарат (1), конденсатор (2), ємкість вихідного продукту (3), дозуючий пристрій (4), ротаметр (5), обладнання для збирання кубового залишку (6) та дистиляту (7), термостат (8), вакуум-насос (9) і дозуючий насос (10). Стенд N 3 мав металевий РПА іншого діаметра.

Основні технічні характеристики установок

		N 1	N 2	N 3
Продуктивність по волозі, кг/г	до	30	2	25
Питомий тепловий потік, кВт/кв.м	до	136	12,5	85
Вихід продукту, кг/г	до	50	80	50
Діапазон зміни чисел Рейнольдса		80... 545	0,1... 1500	100... 340
Діаметр РПА, м		0,05	0,05	0,08
Робоча довжина РПА, м		0,9	0,595	0,5
Поверхня нагріву РПА, кв.м		0,14	0,1	0,126
Кількість лопатей в ярусі ротора		2;3;4	2;3;4	2;3;4
Теплоносій		насичена водяна пара	вода, гліцерин	насичена водяна пара
Частота обертання ротора РПА, 1/с		38;65;110	1,67... 18,33	3,33... 18,33

Експериментальне дослідження гідродинаміки реакційної маси, що містить ДМГ, в РПА

Дослідження спільного впливу технологічних, конструктивних та інших параметрів на гідродинамічні характеристики РПА необхідно для одержання, на основі узагальнення експериментальних даних, залежностей для розрахунку розмірів апарата, ротора і лопатей, потужності на привід ротора.

Повна стала змочувальність зрошеної поверхні плівкового устаткування є основною умовою його надійної роботи, високої продуктивності і якості кінцевого продукту. Максимальні коефіцієнти тепло- і масовіддачі мають місце, коли стало забезпечується мінімальне припустиме навантаження по рідині, чи, відповідно, мінімальне число Рейнольдса $Re_{мін}$.

Дослідження дозволили розділити процес обробки осадкоутворюючого продукту умовно на три зони: конвективного нагріву і незначного поверхневого випаровування; інтенсивного поверхневого випаровування і випарювання; сушки.

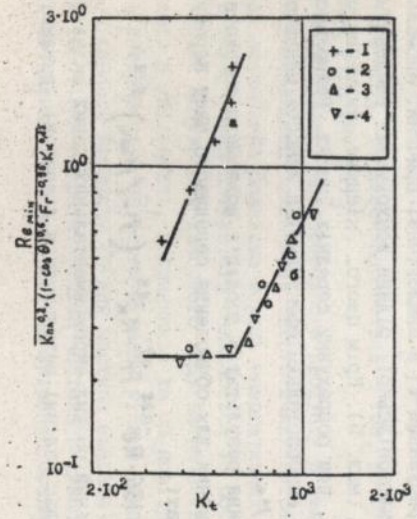
Поведінка реакційної маси, що містить ДМГ, при ізотермічних умовах і процесі конвективного нагріву і незначного поверхневого випаровування нічим не відрізняється від поведінки еталонних рідин (дистильованої води, розчинів гліцерину). Найбільший практичний інтерес представляли дослідження мінімального числа Рейнольдса $Re_{мін}$ в процесі інтенсивного поверхневого випаровування і випарювання реакційної маси. Вплив термічного критерію K_t (питомого теплового потоку) на величину мінімального числа Рейнольдса $Re_{мін}$ ставав вагомішим, що пояснюється різким зменьшенням локального потоку рідини і випадінням осадка (мал. 3). Якщо при нагріві і незначному поверхневому випаровуванні розриви плівки з'являлись, в основному, в верхній частині апарата, то при інтенсивному поверхневому випаровуванні і випарюванні реакційної маси "сухі плями" з"являлись у нижній частині апарата і підіймались вверх по обогріваючій поверхні апарата із зростанням питомого теплового потоку чи зменьшенням витрати рідини. Таким чином, суттєвим був вплив на мінімальне число Рейнольдса $Re_{мін}$ геометричного симплексу ℓ/d (мал. 4).

Обробка експериментальних даних дозволила одержати узагальнену залежність для визначення мінімального числа Рейнольдса $Re_{мін}$ в другій зоні

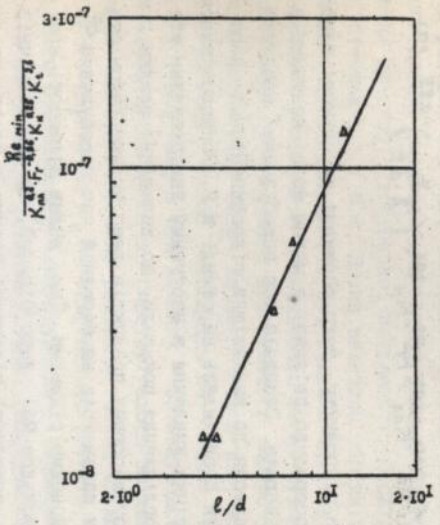
$$Re_{мін} = 5{,}75 \cdot 10^{-10} \cdot K_{пл}^{0{,}2} \cdot Fr^{-0{,}96} \cdot K_к^{0{,}25} \cdot K_t^{2{,}6} \cdot (\ell/d)^{2{,}14} \quad (1)$$

з максимальним розкидом дослідних даних ±24%. Діапазон зміни величин, що входять до рівняння (1): $K_{пл} = 5{,}72 \cdot 10^{9} \div 6{,}67 \cdot 10^{10}$; $Fr = 0{,}17 \div 1{,}42$; $K_к = 0{,}531 \div 1{,}06$; $K_t = 3{,}2 \cdot 10^{2} \div 5{,}8 \cdot 10^{2}$; $\ell/d = 3{,}9 \div 11{,}9$.

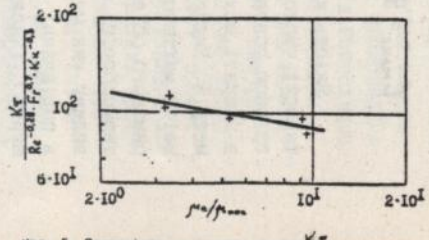
Рівняння (1) дозволяє, при числі Рейнольдса, що задане, розрахувати мінімальний питомий тепловий потік $q_{мін}$, при якому



Мал. 3. Залежність комплексу $\frac{Re_{min}}{K_{an}^{0,1}\cdot(1-\cos\theta)^{0,4}\cdot Fr^{-0,14}\cdot K_n^{0,22}}$ від термічного критерія K_t/1-реакційна маса, що містить ДМГ; 2-дистильована вода; 3-гліцерин 25%; 4-гліцерин 50%; а-інтенсивне поверхневе випаровування і випарювання реакційної маси; б-конвективний нагрів і випаровування еталонних рідин/



Мал. 4. Залежність комплексу $\frac{Re_{min}}{K_{an}^{0,1}\cdot Fr^{-0,14}\cdot K_n^{0,22}\cdot K_t^{0,3}}$ від геометричного симплексу $\frac{\ell}{d}$



Мал. 5. Залежність комплексу $\frac{K_t}{Re^{-0,14}\cdot Fr^{0,7}\cdot K_n^{-0,3}}$ від симплексу μ_a/μ_{max}

відбувається розрив тонкого шару рідини, а при відомих числі Рейнольдса $Re_{мін}$ і питомому тепловому потоці q - максимальну припустиму довжину апарата

$$q_{мін} = 3{,}6 \cdot 10^{3} \cdot \frac{\lambda \cdot \Delta t}{L^{1{,}82}} \cdot Re^{0{,}38} \cdot K_{пл}^{-0{,}08} \cdot Fr^{0{,}37} \cdot K_{к}^{-0{,}1} \cdot d^{0{,}82} \qquad (2)$$

$$l_{макс} = 90 \cdot d^{0{,}45} \cdot Re^{0{,}21} \cdot K_{пл}^{-0{,}04} \cdot Fr^{0{,}2} \cdot K_{к}^{-0{,}05} \cdot \left(\frac{q}{\lambda \cdot \Delta t}\right)^{-0{,}55} \qquad (3)$$

Якість кінцевого продукту, його споживчі та смакові властивості часто безпосередньо зв'язані з часом його контакту з гріючою поверхнею апарата. Середній час перебування продукту в апараті можна віднести до важливіших гідродинамічних параметрів. Експерименти проводились на стенді N 2. Застосовувався метод миттєвої відсічки живлення з наступним вимірюванням утриманого об'єму. Дослідження показали, що випадіння осадка при термообробці осадкоутворюючих продуктів дещо змінює вагомість впливу тих чи інших параметрів на середній час перебування $\bar{\tau}$ в порівнянні з еталонними рідинами. Так, вплив щільності зрошення Γ_v (числа Рейнольдса Re) дещо більший, бо при незначній її величині, крім невеликої кількості рідини в плівці за лопаттю, її руху в аксиальному напрямку заважає шар осадка, який збільшує шорсткість поверхні. Збільшення частоти обертання ротора n (числа Фруда Fr) та зменьшення конструктивного параметра $K_к$, за рахунок перерозподілу рідини між валиком і плівкою за лопаттю, на користь валика, веде к більшому зростанню середнього часу перебування $\bar{\tau}$ з аналогічної причини. Аномальність поведінки неньютонівської рідини враховували введенням симплексу $\mu_a/\mu_{пов}$ (мал. 5). Крім цього, кінцеве значення чисел Рейнольдса Re, при розрахунку середніх чисел Рейнольдса $\overline{Re}$, визначалось з використанням ефективної в'язкості неньютонівської рідини μ_a .

Опрацювання результатів дослідів дозволило одержати критеріальне рівняння для обчислення середнього часу перебування рідини в апараті

$$K_{\bar{\tau}} = 136 \cdot Re^{-0{,}28} \cdot Fr^{0{,}7} \cdot K_{к}^{-0{,}3} \cdot \left(\mu_a/\mu_{пов}\right)^{-0{,}18} \qquad (4)$$

Максимальний розкид експериментальних даних склав ±17%. Рівняння (4) дає надійні результати в діапазоні параметрів:

$Re = 78 \div 170$; $Fr = 0,5 \div 1,4$; $K_к = 0,531 \div 1,06$; $(\mu_а/\mu_{пов}) = 3,1 \div 9,5$.

Важливим гідроенергетичним параметром, зв'язаним із забезпеченням необхідної гідродинаміки потоку, підведенням до нього теплових потоків, є потужність, що витрачається на привід ротора, від якої залежить вартість кінцевого продукту. Для дослідження енергетичних витрат використовувався метод вимірювання активної електричної потужності. Дослідження проводились на стендах N 1 і N 2. Вплив величини середніх чисел Рейнольдса $\overline{Re}$ на витрати потужності був більшим на стадії конвективного нагріву і незначного поверхневого випаровування, в порівнянні із стадією інтенсивного поверхневого випаровування і випарювання реакційної маси. Це пояснюється тим, що в другому випадку, при малих числах Рейнольдса $\overline{Re}$, швидче починався процес осадкоутворення, а при великих - збільшувався об'єм рідини, що її перемішують лопаття. Спостерігалося збільшення впливу зростання частоти обертання ротора n (числа Фруда Fr) та конструктивного параметра $K_к$ на енергетичні витрати, на стадії інтенсивного поверхневого випаровування і випарювання, що пояснюється зменьшенням товщини плівки, скорішим осадкоутворенням і, як наслідок - зростанням дотичних напружень. Зменьшення симплексу $\mu_а/\mu_{пов}$ (зростання початкової концентрації ДМГ в реакційній масі) викликало, за рахунок прискорення процесу осадкоутворення, збільшення енергетичних витрат (мал. 6).

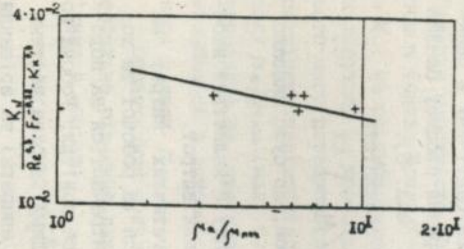
Експериментальні дані узагальнюються залежністю

$$K_N = 0,03 \cdot Re^{0,3} \cdot Fr^{-0,22} \cdot K_к^{0,9} \cdot \left(\mu_а/\mu_{пов}\right)^{-0,2} \qquad (5)$$

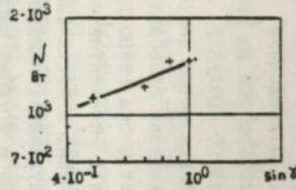
із точністю ±25%. Діапазон параметрів - той, що було вказано раніше для рівняння (4).

На стадії появи пастообразного продукту з'являється необхідність в переоцінці складових енергетичних витрат.

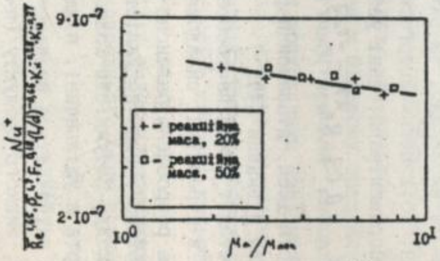
Була розроблена балансна модель енергетичних витрат на привід ротора. Повна потужність складається із робочої та холостого ходу. Потужність холостого ходу витрачається на подолання тертя в ущільненні, підшипниках та об повітря. Робоча потужність витрачається на перемішування рідини (верхня частина апарата), сипкого продукту (нижня частина апарата) та зрізання продукту із стінки апарата. Більша частина потужності, як показали дослідження, витрачається на зрізання осадка. Використ-



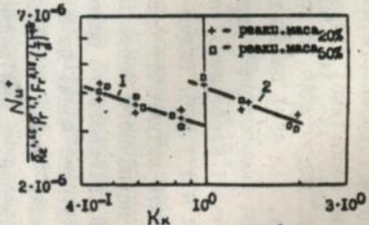
Мал. 6. Залежність комплексу $\frac{K_N}{Re^{0,5}\cdot Fr^{-0,22}\cdot K_к^{0,5}}$ від симплексу $\mu_м/\mu_{мон}$



Мал. 7. Залежність потужності N від синуса кута зрізання лопаті $\sin\gamma$



Мал. 8. Залежність комплексу $\frac{Nu^+}{Re^{1,45}\cdot Pr^{1,7}\cdot Fr^{0,18}\cdot (L/d)^{-0,45}\cdot K_к^{-0,25}\cdot K_м^{-0,37}}$ від симплексу $\mu_м/\mu_{мон}$ /металевий РПА стенда №1/



Мал. 9. Залежність комплексу $\frac{Nu^+}{Re^{1,45}\cdot Pr^{1,7}\cdot Fr^{0,18}\cdot (\frac{L}{d})^{-0,45}}$ від конструкції лопатей /1-стандартна лопать; 2-лопать з вікном/

тання лопатей з вікнами та зміненим до 45° кутом зрізу дозволило зменьшити витрати потужності на 18 - 20% (мал. 7).

Тепловіддача при обробці реакційної маси в РПА

Експериментальні дослідження тепловіддачі від стінки апарата до плівки проводились на установках NN 1...3.

В процесі конвективного нагріву і незначного поверхневого випаровування поведінка реакційної маси не відрізнялась від еталонних рідин. Із збільшенням щільності зрошення тепловіддача зростала через поліпшення змочуваності робочої поверхні апарата та додаткової турбулізації рідини за рахунок зміни режиму роботи лопатей. Збільшення частоти обертання ротора n викликало зростання турбулізуючого впливу лопатей і, як слідство - інтенсифікацію тепловіддачі. Аналогічний вплив викликало збільшення числа лопатей (зменьшення конструктивного параметра $K_к$). Зменьшення інтенсивності тепловіддачі по довжині апарата викликалось зменьшенням рушійної сили процесу.

Обробкою експериментальних даних для скляного апарата стенду N 2 одержано рівняння

$$Nu^{+} = 6,81 \cdot 10^{-6} \cdot Re^{1,6} \cdot Pr^{1,9} \cdot Fr^{0,22} \cdot (L/d)^{-0,65} \cdot K_к^{-0,3} \qquad (6)$$

Максимальний розкид даних становив ±18,8%.

Для металевого апарату стенду N 3 трохи зменьшувався вплив чисел Рейнольдса Re та довжини апарату, що пояснюється різницею в стані робочої поверхні та появою на внутрішній поверхні рубашки плівки конденсату.

Залежність, одержана для металевого РПА, узагальнювала дослідні дані з точністю ±19,7%

$$Nu^{+} = 1,38 \cdot 10^{-6} \cdot Re^{1,38} \cdot Pr^{1,9} \cdot Fr^{0,21} \cdot (L/d)^{-0,6} \cdot K_к^{-0,29} \qquad (7)$$

В процесі інтенсивного поверхневого випаровування і випарювання поведінка реакційної маси дещо відрізнялась від еталонних рідин. Вона перетворювалась на суспензію із відповідною зміною властивостей, в першу чергу, реологічних. Крім середніх чисел Рейнольдса $\overline{Re}$, використовувались середні числа Прандтля $\overline{Pr}$ з урахуванням ефективної в'язкості неньютонівської рідини. Вплив чисел Рейнольдса $\overline{Re}$ на коефіцієнт тепловіддачі збільшувався для реакційної маси, що можна пояснити тамуванням проце-

су осадкоутворення із зростанням щільності зрошення. Поява шару осадку приводила до зменьшення впливу частоти обертання ротора n, яка зв"язана з турбулізацією рідини. Із зростанням різниці між початковою і ефективною в'язкістю інтенсивність тепловіддачі зростала (мал. 8).

Узагальнені залежності для еталонних рідин і реакційної маси мали вигляд

$$Nu^{+} = 1{,}44 \cdot 10^{-6} \cdot \bar{Re}^{1{,}6} \cdot \bar{Pr}^{1{,}75} \cdot Fr^{0{,}2} \cdot (L/d)^{-0{,}55} \cdot K_к^{-0{,}28} \cdot K_и^{-0{,}2} \quad (8)$$

$$Nu^{+} = 4{,}75 \cdot 10^{-7} \cdot \bar{Re}^{1{,}65} \cdot \bar{Pr}^{1{,}7} \cdot Fr^{0{,}18} \cdot (L/d)^{-0{,}65} \cdot K_к^{-0{,}28} \cdot K_и^{-0{,}27} \cdot \left(\frac{\mu_в}{\mu_{пов}}\right)^{0{,}15} \quad (9)$$

Розкид дослідних даних становив ±20,3% (8) та ±21,6% (9).

Використання лопатей з вікнами показало, що незважаючи на зростання конструктивного параметра $K_к$ інтенсивність тепловіддачі практично не змінювалась, що можна пояснити додатковою турбулізацією суспензії при проходженні вікон (мал. 9).

ВИСНОВКИ

1. Проведено експериментальне дослідження фізико-хімічних властивостей (густини, в'язкості, теплоємності, теплопровідності) реакційної маси, що містить ДМГ, та встановлено вплив на них температури і концентрації ДМГ. Одержані дані увійшли до рівнянь для розрахунку РПА.

2. Проведені експериментальні дослідження мінімальної щільності зрошення в РПА при обробці осадкоутворюючих продуктів. Одержана узагальнена залежність для розрахунку мінімального числа Рейнольдса $Re_{мін}$, де враховано спільний вплив фізико-хімічних властивостей продукту, частоти обертання ротора, його конструктивних особливостей, неізотермічності процесу і поточної довжини апарата. Ця залежність дозволила розрахувати мінімальний тепловий потік, при якому починаються розриви плівки рідини, і максимальну довжину апарата з повністю зрошеною поверхнею, за даних умов.

3. На основі експериментальних даних одержані узагальнені залежності для розрахунку середнього часу перебування продукту в РПА і енергетичних витрат на привід ротора, з урахуванням спільного впливу щільності зрошення, фізико-хімічних

властивостей продукту, частоти обертання ротора, його конструктивних особливостей і неньютонівської поведінки суспензії.

4. Розроблена балансна модель енергетичних витрат на привід ротора, на стадії утворення осадка, з аналізом складових балансу і перевіркою адекватності цієї моделі з одержаними експериментальними результатами.

5. Встановлено вплив на тепловіддачу при інтенсивному поверхневому випаровуванні і випарюванні продуктів щільності зрошення, теплофізичних властивостей продукту, частоти обертання ротора, його конструктивних особливостей, довжини апарата. Із зростанням питомого теплового потоку інтенсивність тепловіддачі знижувалась. Крім перерахованих факторів, в узагальненій залежності враховано вплив неньютонівської поведінки суспензії.

6. На основі результатів роботи запропановано новий спосіб одержання ДМГ в РПА та ряд конструкцій для інтенсифікації цього процесу, що визнані винаходами, розроблена методика розрахунку РПА для процесу глибокого концентрування осадкоутворюючих продуктів, реалізована в алгоритмі і програмі для ЕОМ.

7. Результати роботи впроваджено у виробництво. Економічний ефект становить 777 тис. крб.; доля автора дисертаційної роботи - 129 тис. крб. (в цінах 1989 р.).

Основні результати роботи відображені у публікаціях:

1) Барштейн В.Ю., Чижик Ю.Л., Колобов В.И. Выделение химических продуктов в сухом виде из растворов в роторном пленочном аппарате// УШ Республиканская конференция "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств (Днепропетровск, сентябрь 1991 г.): Тез. докл.- Днепропетровск, 1991.- с.95-96.

2) Барштейн В.Ю., Овчинников В.Г., Стучков Г.С., Смирнова Н.А., Назаров В.П. Разработка процесса выделения 5,5-диметилгидантоина в роторном пленочном аппарате//Конференция конкурс ВХО им. Д.И.Менделеева МНПО "Синтез" на лучшие научно-исследовательские, проектно-конструкторские и опытные работы (Москва, 1991 г.): Тез. докл.- М., 1991.- с. 58-59.

3) Воронцов Е.Г., Барштейн В.Ю., Вдовиченко А.М. Исследование физико-химических свойств реакционной массы, содержащей 5,5-диметилгидантоин.- Киев, 1993.- 29 с.- Деп. в УкрИНТЭИ 09.03.93, N 401 - Ук93.

4) Барштейн В.Ю., Воронцов Е.Г. Методика и техника прове-

дения исследований в роторных пленочных аппаратах. - Киев, 1993. -35с. - Деп. в ГНТБ Украины 30.03.93, N 700 - Ук93.

5) Воронцов Е.Г., Барштейн В.Ю. Оптимальные параметры тонкожидкостного слоя в роторных аппаратах. - Промышленная теплотехника. 1993, N 4 -с.70-72.

6) Барштейн В.Ю., Воронцов Е.Г. Гидродинамические особенности обработки реакционной массы, содержащей 5,5-диметилгидантоин, в роторном пленочном аппарате. - Киев, 1994.- 17 с. - Деп. в ГНТБ Украины 22.02.94, N 404- Ук 94.

7) Барштейн В.Ю., Воронцов Е.Г. Теплообмен при концентрировании реакционной массы, содержащей 5,5-диметилгидантоин, в роторном пленочном аппарате. -Киев, 1994. - Деп. в ГНТБ Украины 22.02.94, N 405 - Ук 94.

8) А.с. СРСР N 1421394, МКИ В01Д 1/22. Роторный пленочный аппарат для проведения гетерогенных химических реакций / В.Б.Бондарь, В.В.Йова, И.М.Сухоруков, В.Ю.Барштейн.- Опубл. 07.09.88. Бюл.N 33.

9) А.с. СРСР N 1680245, МКИ В01Д 1/22. Роторный пленочный аппарат для получения сухих веществ/ В.Ю.Барштейн, Ю.Л.Чижик, Г.С.Стучков, В.И.Колобов, Г.А.Анохин, Е.М.Воронов. - Опубл. 30.09.91. Бюл. N 36.

10) А.с. СРСР N 1768213, МКИ В01Д.1/22. Роторный пленочный аппарат/ В.Ю.Барштейн, Ю.Л.Чижик, Г.С.Стучков, В.И.Колобов, В.П.Назаров, В.П.Скрипка, Н.Н.Запорощенко, Г.А.Анохин, Е.М.Воронов.- Опубл.15.10.92. Бюл. N 38.

11) Позитивне рiшення на заявку N 4866794/04. Способ получения 5,5-диметилгидантоина/В.Г.Овчинников, В.Ю.Барштейн, В.П.Назаров, Г.С.Стучков, А.С.Ромашев, Н.А.Смирнова.- Прийнято 26.05.92.

Винаходи, створенi для реалiзацiї другої стадiї двостадiйного процесу обробки осадкоутворюючих продуктiв, що мають непряме вiдношення до теми дисертацiйної роботи:

12) А.с. СРСР N 1622741, МКИ F26B 11/14. Барабанная сушилка/ В.Ю.Барштейн, Г.С.Стучков, В.В.Йова, Л.И.Кравецкий, О.П.Коваль.- Опубл. 23.01.91. Бюл. N 3.

13) А.с. СРСР N 1629713, МКИ F26B 17/10. Сушилка взвешенного слоя/В.Ю.Барштейн, Г.С.Стучков, В.В.Йова, А.С.Ромашев.- Опубл. 23.02.91. Бюл. N 7.

ЛНБ iм. В. Стефаника
АН України

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

b - ширина лопаті, м; c_p - питома теплоємність, Дж/(кг К); d - діаметр апарата, м; g - прискорення сили тяжіння, м /кв.с; L - робоча довжина апарата, м; ℓ - поточна довжина апарата, м; $m_{пт}$ - питома маса лопатей, кг/м; N - потужність, Вт; n - частота обертання ротора, с ; q - питомий тепловий потік, Вт/кв.м; r - захована теплота пароутворення, Дж/кг; Δt - різниця температур, К; v - лінійна швидкість краю лопаті, м/с; z - число лопатей; α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(кв.м К); θ - крайовий кут змочування, рад; λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м К); μ - динамічна в'язкість, Па с; μ_a - ефективна в'язкість неньютонівської рідини, Па с; ν - кінематична в'язкість, кв.м/с; ρ - густина, кг/куб.м; σ - поверхневий натяг, Н/м; φ - кут атаки лопаті, рад.; Γ_v - об'ємна щільність зрошення, кв.м/с; $\bar{\tau}$ - середній час перебування, с; γ - кут зрізання лопаті, рад.; критерії: $K_{пл}=\sigma^3/(g\cdot\nu^4\cdot\rho^3)$ - Капіци; $K_к=\rho_л\cdot b^2\cdot\sin\gamma/(m_{пт}\cdot z\cdot\sin\varphi)$ - конструктивний; $K_N=N/(\rho\cdot n^3\cdot d^4\cdot L)$ - потужності; $K_t=q\cdot L/(\lambda\cdot\Delta t)$ - термічний; $K_q=q/(\Gamma\cdot\rho_п\cdot v)$ - враховуючий вплив питомого теплового потоку; $K_\tau=\bar{\tau}v/L$ - часовий; $Re=4\Gamma_v/\nu$ - Рейнольдса; $Nu^+=\alpha\cdot(\nu^2/g)^{1/3}/\lambda$ - модифікований Нусселта; $Pr=c_p\cdot\rho\cdot\nu/\lambda$ - Прандтля; $Fr=n^2d/g$ - Фруда; індекси: кр - критичний; л - лопать; макс - максимальний; мін - мінімальний; п - пара; поч - початковий.

Підп. до друку 17.05.94 Формат 60×84 1/16.
Папір друк. № 3. Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 0,93.
Умовн. фарбо-відб. 1,04. Обл.-вид. арк. 1,0.
Тираж 120. Зам. № 4-22 78

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

45790

Ав 30.172