

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису  
УДК 535.52:66.045

ГОЛОВА Ольга Олександрівна

ГІДРОДИНАМІКА І ТЕПЛОБІМІН ПРИ КОНЦЕНТРУВАННІ  
НАФТОПРОДУКТІВ 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 - 1993



00820096 (P)

Робота виконана у науково-  
переробки "МАСМА"

Науковий керівник

- доктор технічних наук,  
професор Фройштетер Г.Б.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,  
професор Яхно О.М.

кандидат технічних наук  
Стадник В.Ф.

Ведуча організація:

Інститут технічної теплофізики  
Академії наук України

Захист відбудеться "12" 04 1993 р. в "14<sup>30</sup>  
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 2І, аудиторія 2І2.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці  
інституту

Автореферат розісланий "3" 03 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради,  
професор

В.Я.Круглицька

## А Н О Т А Ц І Я

Дисертаційна робота присвячена вивченню питань гідродинаміки і теплообміну при концентруванні нафтопродуктів в роторних плівкових апаратах /РПА/ з шарнірно закріпленими лопатями. Для вирішення цієї задачі були досліджені теплофізичні властивості /в'язкість, густина, теплопровідність, питома теплоємність/ масляних розчинів сульфонатних присадок у бензині з різним вміщенням розчинника, розроблена експериментальна установка і методика проведення дослідів, здійснене експериментальне визначення середнього часу перебування рідини в апараті, потужності, витраченої на перемішування продукту, локальних коефіцієнтів тепловіддачі в РПА.

Узагальнення досліджень дозволило одержати розрахункові рівняння для визначення середнього часу перебування продукту та енергетичних витрат на привод ротору в РПА, а також коефіцієнту тепловіддачі вздовж апарату в залежності від технологічних режимів процесу і теплофізичних властивостей рідини при нагріванні та випаровуванні.

Розроблена уточнююча методика інженерного розрахунку РПА з облікуванням залежності теплофізичних властивостей продукту від концентрації і температури вздовж апарату.

Результати роботи використані також при створенні схеми утилізації теплоти конденсату гріючого пару з метою зменшення втрат розчинника у ВО "Новополицькнафтооргсинтез".

Автор захищає:

- одержані залежності по теплофізичних властивостях масляних розчинів сульфонатної присадки С-150 в бензині / 40+95% мас./;

- результати досліджень середнього часу перебування рідини в апараті і потужності, витраченої приводом ротора, у процесі концентрування при різних технологічних режимах;

- результати експериментальних досліджень теплообміну в РПА при нагріві і випаруванні у вигляді критеріальних рівнянь;

- методику інженерного розрахунку роторного плівкового

апарату при концентруванні готової присадки з облічуванням змінності теплофізичних властивостей продукту вздовж апарату з використанням локальних коефіцієнтів тепловіддачі;

- схему використання вторинних енергетичних ресурсів стадії концентрування готового продукту з метою зменшення втрат розчинника.

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Характеризуючи перспективи розвитку хімічної та нафтопереробної промисловості, слід відзначити орієнтацію на пріоритетний випуск значної кількості малотонажних, але наукоємких виробів, до яких відносяться і присадки до палив і мастил, забезпечуючи високий рівень їхніх експлуатаційних властивостей, надійність та екологічність техніки. Важливе місце серед присадок за універсальністю використання, ефективністю дії та обсягом виробництва займають сульфонатні присадки.

Однією з найбільш важливих стадій в процесі виробництва сульфонатної присадки С-150 є кінцева стадія концентрування готового продукту. Характерною особливістю цього процесу є значне змінення властивостей обробляемого продукту по мірі видалення розчинника. Тому дуже важливо при виборі оптимальних режимів видалення облічувати залежність теплофізичних властивостей від температури і концентрації легколетючого компоненту вздовж апарату.

Задовільне використання серійно випускаємих роторних плівкових апаратів з шарнірним кріпленням лопатів на цій стадії потребує знань закономірностей гідродинаміки і теплообміну в них. Необхідність розрахунку технологічних та енергетичних параметрів роботи РПА на стадії концентрування готового продукту обумовила постановку даної роботи, яка включала до себе вивчення теплофізичних властивостей масляного розчину сульфонатної присадки С-150 у бензині /40+95% мас./, деякі питання гідродинаміки і теплообміну в РПА, а також розробку уточнюючої методики інженерного розрахунку РПА з

облічуванням змінності теплофізичних властивостей продукту вздовж апарату. Крім цього, процес видалення розчинника зв'язаний зі значними промисловими відходами.

Тому інтенсифікація процесів видалення розчинників є актуальною.

#### Мета роботи:

1. Дослідити теплофізичні властивості масляних розчинів сульфонатної присадки з різною концентрацією розчинника.

2. Розробити експериментальну установку та методику проведення дослідів, здійснити експериментальне визначення середнього часу перебування рідини в апараті, витраченої потужності, локальних коефіцієнтів тепловіддачі в РПА з облічуванням особливостей теплофізичних властивостей присадок.

3. На основі результатів досліджень одержати розрахункові залежності для визначення середнього часу знаходження, витраченої потужності, закономірностей теплообміну з облічуванням значного зміння теплофізичних властивостей рідини вздовж апарату.

4. Розробити методику технологічного, енергетичного, конструктивного розрахунків роторного плівкового апарату на основі проведених досліджень.

5. Порівняти результати розрахунків по відомим і запропонованій уточнюючій методиці.

6. Впровадити матеріали досліджень у виробництво.

#### Наукова новизна:

- Проведені дослідження теплофізичних властивостей /в'язкості, густини, теплопровідності, питомої теплоємності/ масляних розчинів сульфонатної присадки С-І50 у бензині в залежності від температури і концентрації легколетючого компоненту;

- встановлені залежності для середнього часу перебування продукту в апараті, енергетичних витрат на привод ротору, теплообміну в роторних плівкових апаратах з облічуванням змінності режимних параметрів, а також теплофізичних властивостей рідини вздовж апарату;

- розроблена уточнююча методика технологічного, енер-

гетичного та конструктивного розрахунків РПА при концентруванні нафтопродуктів при значній змінності теплофізичних властивостей обробляємих продуктів.

#### Практична цінність і реалізація роботи.

На основі одержаних залежностей розроблена уточнююча методика технологічного, енергетичного, конструктивного розрахунків РПА як випарника в умовах змінних теплофізичних властивостей продукту вздовж апарату, яка реалізована у вигляді програми.

Результати роботи були використані, зокрема, при створенні схеми утилізації теплоти конденсату гріючого пару з метою зменшення втрат розчинника і впроваджені у ВО "Новополицькнафтооргсинтез", а також для інтенсифікації роботи тонкоплівкового обладнання.

Економічний ефект склав 200 тис.крб.; частка автора дисертаційної роботи 40 тис.крб. /у цінах на грудень 1991 р./.

#### Апробація роботи.

Основні результати роботи доповідались на Уш Республіканській конференції "Повышение эффективности и совершенствование процессов и аппаратов химических производств" /м.Дніпропетровськ, 1991 р./, на У міжнародній конференції "Синтез, технология и применение присадок к смазочным маслам" /Дрогобич, 1992 р./.

#### Публікації.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 4 праці.

#### Об'єм і структура роботи.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури з 105 найменувань та додатків. Основний зміст викладено на 148 сторінках машинописного тексту, які включають 42 малюнки. Додатки включають таблиці експериментальних даних, алгоритми і програму розрахунків та документи, що підтверджують впровадження результатів роботи. Загальний об'єм 175 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

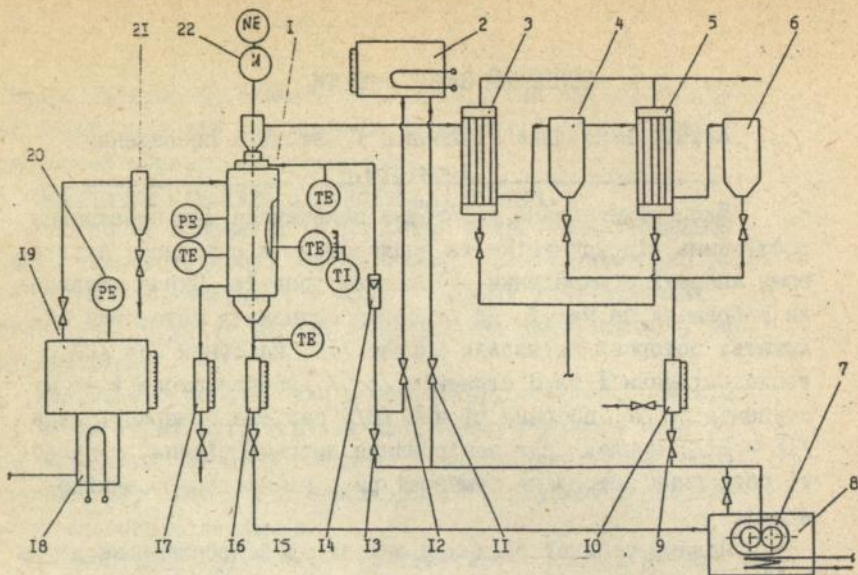
### Експериментальна установка і методика проведення дослідів.

Експериментальна установка призначена для проведення досліджень гідродинаміки та теплообміну в роторному плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатів. Схема установки зображена на мал.І. До основних елементів установки належать: роторний плівковий апарат /1/, напорний бак /2/, теплообмінники I та II ступенів /3,5/, конденсатори I та II ступенів /4,6/, збірник рідини /8/, система генерації пари /18 - 21/, прилади для замірювання витрати рідини, швидкості обертання ротора та температури в різних зонах вимірювання.

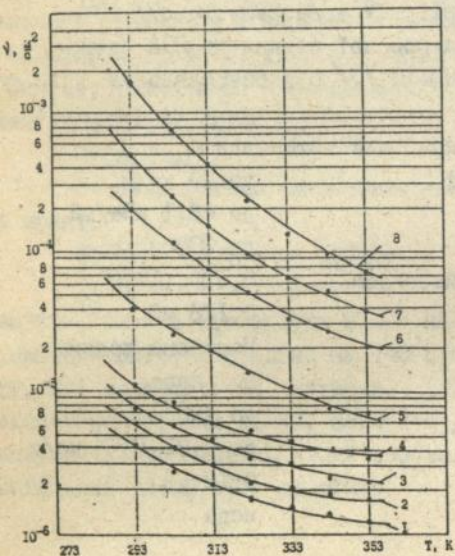
Подача робочої рідини в апарат здійснювалась за двома замкнутими циркуляційними контурами. В першому випадку рідина подавалась з напорного бака /2/. Витрата рідини регулювалась вентилем /12/. Перший контур застосовувався при дослідженні малов'язких рідин - води та водних розчинів гліцерину. Діапазон зміни в'язкості  $\nu = /0,295...5,37/ 10^6$  м<sup>2</sup>/с. У другому випадку подача робочої рідини до РПА здійснювалась шестірневим насосом НШ-10 /7/ безпосередньо із збірника /8/.

Основні технічні характеристики установки

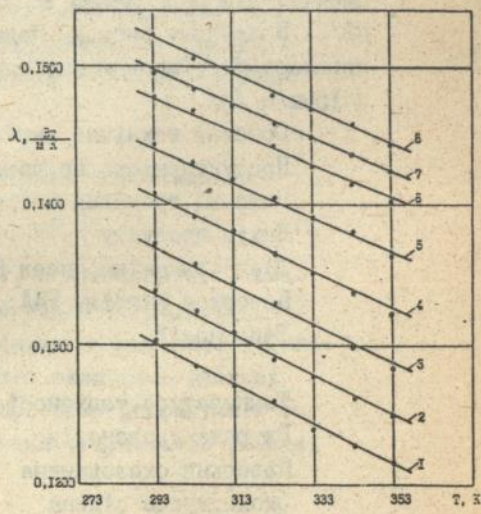
Продуктивність по волозі	до 30 кг/ч
Питомий тепловий потік	до 68,1 кВт/м <sup>2</sup>
Вихід продукту	до 300 кг/ч
Діапазон зміни чисел Рейнольдса	0,13...1920
Поверхня нагріву РПА	0,126 м <sup>2</sup>
Теплоносія	Насичена водяна пара
Температура теплоносія	до 120°C
Витрата теплоносія	до 0,83 10 <sup>-3</sup> кг/с
Поверхня охолодження	0,12 м <sup>2</sup>
Охолоджуюча рідина	вода



Мал. 1. Схема експериментальної установки



Мал. 2. Залежність в'язкості від температури розчинів присадки С-150 у бензині при вмісткості бензину: 1-60%; 2-50; 3-40; 5-20; 6-10; 7-5; 8-0%.



Мал. 3. Залежність теплопровідності від температури розчинів присадки С-150 у бензині при вмісткості бензину: 1-60%; 2-50; 3-40; 4-30; 5-20; 6-10; 7-5; 8-0%.

Температура охолоджуючої рідини	5 - 20 °С
Робочий тиск апарата	атмосферний
Частота обертання ротора	200-1100 об/хв.
Регулювання частоти обертання ротора	безступінчате

При проведенні дослідів замірювались слідуючі величини: температура рідини на вході й виході з апарату, а також по його довжині; температура стінки РПА; температура гріючої пари в рубашці; теплові витрати; витрати продукту; частота обертання ротора; потужність, витрачена на перемішування.

В стінці апарата було розташовано 5 термоелементів на відстані 80 мм один від одного. Також для дослідження особливостей впливу зміни теплофізичних властивостей рідини на локальні коефіцієнти тепловіддачі додатково використовувалась роторно-плівкова установка, основним елементом якої був скляний РПА, по довжині корпусу якого було зроблено три відведення для приєднання датчиків - пробоотбірників, які призначались для локальних вимірювань температури плівки продукту та відбору проб. Вимірювання температур провадилося приладом А565-002-01. Для підвищення точності вимірювання температур було зроблено індивідуальну тарировку термопар. Витрати теплоносіїв та продукту визначались об'ємним методом. Цифровий тахометр ТЦ-3М використовувався для замірювання частоти обертання ротора. Тиск гріючої пари в рубашці апарата визначався манометром МВП-160. Активна електрична потужність фіксувалась приладом Д 566.

В дослідіах по визначенню теплофізичних властивостей масляного розчину сульфонатної присадки С-150 у бензині кінематична в'язкість вимірювалась методом капілярного віскозиметра системи Пінкевича; густина - методом гідростатичного важення; питома теплоємність - методом непосреднього нагріву в адіабатному калориметрі; теплопровідність - методом бікалориметра.

Результати дослідження теплофізичних властивостей  
робочих рідин

Результати дослідження теплофізичних властивостей мас-

ляних розчинів сульфатної присадки С-150 у бензині представлені у вигляді графіків  $\nu = f(T, C)$ ,  $\rho = f(T, C)$ ,  $\lambda = f(T, C)$  та  $c_p = f(T, C)$ . Дякі з них зображені на мал.2,3. Аналіз одержаних експериментальних даних показав, що залежності дослідних величин від температури та концентрації розчинника в діапазоні дослідження можуть бути описані слідуєчими інтерполяційними рівняннями

$$\nu = e^{49,27 - 49,31C + 13,66C^2 - 0,225T + 27 \cdot 10^{-4}T^2 + 9,6 \cdot 10^{-2}CT} \cdot 10^{-6}$$

$$\rho_{t,C} = \rho_{293} [1 + 6,39 \cdot 10^{-4}(T - 293) - 0,377C]$$

$$\lambda_{t,C} = \lambda_{293} [1 - 7,52 \cdot 10^{-4}(T - 293) - 0,238C] \quad /I/$$

$$c_{p,t,C} = c_{p,293} [1 + 1,886 \cdot 10^{-3}(T - 293) - 0,03C],$$

$$de \quad \rho_{293} = 1038,296 \quad \text{кг/м}^3$$

$$\lambda_{293} = 0,15383 \quad \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

$$c_{p,293} = 2067 \quad \text{Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

Величини, які вимірювались, знаходились в межах:

$$\nu = /1 + 1615/ \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \rho = /740 + 1023,6/ \text{ кг/м}^3;$$

$$\lambda = /2140 + 2360/ \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}; \quad c_p = /0,12 + 0,15/ \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

З одержаних даних витікає, що вплив температури та концентрації на теплоємність та теплопровідність є незначним. Найбільш істотним є вплив концентрації на кінематичну в'язкість.

Залежності /I/ уявляють собою основу для створення методики технологічного, енергетичного та конструктивного розрахунків РІА в умовах істотної зміни властивостей продукту по мірі видалення розчинника.

#### Середній час перебування рідини в РІА

Середній час перебування рідини в РІА є фактором, який впливає на якість готового продукту. Вивчення цього питання

можна віднести до важливіших досліджень гідродинаміки в РПА.

Експерименти для визначення середнього часу перебування рідини в РПА та впливу на нього різних параметрів проводились в роторному плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатів діаметром  $d = 0,08$  м та довжиною робочої частини  $L = 0,65$  м. Рідинами, які використовувались під час дослідження, були: дистильована вода, гліцерин, масляний розчин сульфонатної присадки С-150 у бензині. Для визначення середнього часу перебування застосовувався метод миттєвої відсічки живлення з послідовним вимірюванням утриманого об'єму. Спостереження дали змогу встановити, що тривалість середнього часу перебування зростає при збільшенні частоти обертання ротора, і, навпаки, зменшується - при збільшенні щільності зрощення.

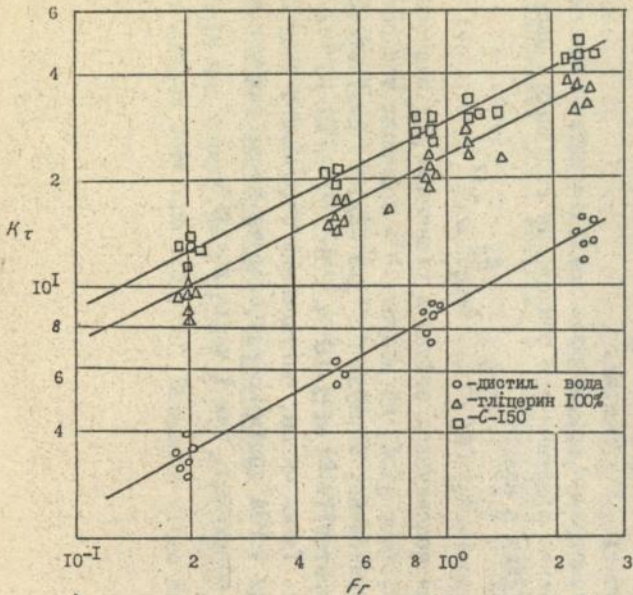
Для характеристики середнього часу перебування рідини в РПА було використано критерій часу  $K_{\tau} = \frac{\tau \cdot \omega}{L}$ .

На мал.4 узагальнені результати досліджень в числах подібності. Зростання критерія Фруда позначається на збільшенні критерія часу. Це пояснюється тим, що збільшення частоти обертання ротора веде до зростання товщини плівки рідини, при цьому підвищується тангенціальна складова швидкості руху, отож і  $\bar{\tau}$ . Аналогічні висновки одержані при зміні числа лопатів  $z$  /мал.5/.

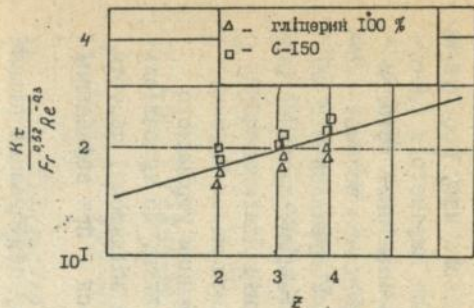
Опрацювання результатів дослідів дозволило одержати критеріальне рівняння для обчислення середнього часу перебування рідини в апараті

$$K_{\tau} = 1,45 Fr^{0,52} Re_{пл}^{-0,3} z^{0,31} \quad /2/$$

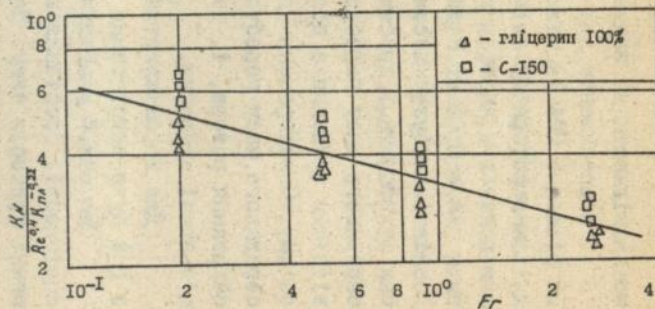
При розрахунках згідно з рівнянням /2/ відносна похибка дорівнює  $\pm 15\%$ , що допустимо в границях точності інженерних обчислень. Формула /2/ дає надійні результати в діапазоні критеріїв:  $Re_{пл} = 1,1 \cdot 10^2 + 2,6 \cdot 10^3$ ;  $Fr = 2 \cdot 10^{-1} + 2,5$ ;  $z = 2+4$ . Таким чином, регулювання середнього часу перебування рідини в РПА доцільно здійснювати як за рахунок зміни частоти обертання, так і числа лопатів,



Мал. 4. Залежність  $K_T$  від критерія Фруда  $Fr$  ( $\bar{t}_ж = 20^\circ\text{C}$ )



Мал. 5. Залежність комплексу  $\frac{K_T}{Fr^{0.52} Re^{0.23}}$  від числа лопатів  $z$ .



Мал. 6. Залежність комплексу  $\frac{K_N}{Re^{0.4} K_n^{0.22}}$  від критерія Фруда  $Fr$ .

Визначення потужності, яка витрачається на  
переміщення в РПА

Витрати енергії, яка споживається на привід ротора при переміщенні рідинної плівки, є одним з факторів, що визначають рентабельність апарата. Для досліджень енергетичних затрат використовувався метод активної електричної потужності. Рідинами, які застосовувались в експериментах, були: дистильована вода, водні розчини гліцирину, концентрація яких досягала 85 або 100 відсотків. Також використовувались масляні розчини сульфатної присадки С-150 у бензині.

Як відомо, потужність, яка витрачається на привід апарата, може бути визначена для геометрично подібних систем, як різниця між витраченою електродвигуном потужністю під навантаженням, і потужністю холостого ходу:  $N = N_H - N_{xx}$

Доцільно з'ясувати залежність потужності, яка витрачається на привід апарата, від окремих параметрів. Експериментальні дослідження показали, що потужність  $N$  і число обертів ротора  $n$  зв'язані між собою степеневою залежністю.

$$N = c_1 n^{2,46} \quad /3/$$

При цьому, коефіцієнт  $c_1$ , враховує геометричні характеристики апарата, властивості продукту та навантаження по рідині. Вплив частоти обертів ротора на енергетичні затрати  $N$  оцінювався за допомогою критерія Фруда /мал.6/. З підвищенням значень критерія Фруда величина критерія потужності  $K_N$  зменшувалась, що зв'язано з оберненопропорційною залежністю критерія потужності  $K_N$  від числа обертів ротора.

Наявність укріплених лопатів також впливає на критерій потужності, Зростання числа  $Z$  приводить до зростання середньої товщини плівки, а з рештою, до збільшення гідравлічного опору, що веде до додаткових витрат потужності. Введення плівкового числа  $K_{пл}$  дало змогу врахувати вплив фізичних властивостей рідини, і в першу чергу, в'язкості.

Експериментальні дані узагальнюються за формулою

$$K_N = 0,218 Re_{пл}^{0,4} K_{пл}^{-0,22} Fr^{-0,29} Z^{0,61} \quad /4/$$

Задовільна кореляція дослідних та розрахункових даних дозволяє вважати, що обчислення енергетичних витрат роторного плівкового апарата можливо проводити за рівнянням /4/ з достатнім ступенем точності /  $\pm 18\%$  / за вказаними раніше границями зміни критеріїв  $Re_{пл}$ ,  $Fr$ , а також  $\alpha$

Узагальнення дослідних даних теплообміну при конвективному нагріві та випаровуванні в РПА

Експериментальні дослідження тепловіддачі від стінки апарата до плівки рідини здійснювалась на масляних розчинах присадки С-150 у бензині /40 - 95% мас./, водно-гліцеринових розчинах і дистильованій воді.

Процес тепловіддачі при конвективному нагріві та випаровуванні рідини є складним і багатопараметричним. Тому не має узагальненої критеріальної залежності, яку можна було б використовувати для опрацювання дослідних даних у всіх випадках при нагріві та випаровуванні.

Відповідно з одержаними результатами експериментального дослідження, інтенсивність тепловіддачі при зростанні щільності зрошення збільшується. На підставі експерименту запропонована пропорційна степенева залежність для умов  $Re_{ц} \leq 1,2 \cdot 10^5$ ;  $Pe \leq 3,5 \cdot 10^3$

$$\begin{aligned} \alpha &\sim \Gamma_v^{1,22} && \text{при нагріві} \\ \alpha &\sim \Gamma_v^{0,97} && \text{при випаровуванні} \end{aligned}$$

Аналогічними за структурою є формули, які встановлюють залежність коефіцієнта тепловіддачі від частоти обертання ротора  $n$ . Однак вплив  $n$  набагато менший ніж щільності зрошення в тому ж діапазоні чисел подібності

$$\begin{aligned} \alpha &\sim n^{0,29} && \text{при нагріві} \\ \alpha &\sim n^{0,26} && \text{при випаровуванні} \end{aligned}$$

При розширенні діапазону критеріїв  $Re_{ц} > 1,2 \cdot 10^5$  та  $Pe > 3,5 \cdot 10^3$  були одержані співвідношення

$$\begin{aligned} \alpha &\sim \Gamma_v^{0,62} & \alpha &\sim n^{0,21} && \text{при нагріві} \\ \alpha &\sim \Gamma_v^{0,57} & \alpha &\sim n^{0,19} && \text{при випаровуванні} \end{aligned}$$

Це свідчить про наявність двох режимів течії рідини в дослідному діапазоні щільності зрошення й частоти обертання ротора. Відповідно з цим експерименти оброблялись для двох областей значень  $Re_u$  та  $Pe$  / мал.7, 8/.

У більшості відомих рівнянь, які описують процес, коефіцієнт тепловіддачі усереднюється по довжині, що не завжди коректно для випадків використання РПА в режимі концентрування. Результати досліджень показали значний вплив на коефіцієнт тепловіддачі сімплекса  $\ell/d$  / мал.9/.

Аналіз диференційних рівнянь та літературних даних показує, що узагальнюючі залежності для нагріву рідини в РПА можуть бути наведені у вигляді

$$Nu = f(Re_{пл}, Re_u, Pe_{пл}, Pr, Fr, Gr, \dots)$$

а при випаровуванні  $Nu$  також є функцією від критеріїв, які враховують тепловий потік, фазовий перехід і т.і. В області досліджених теплових потоків  $1,5 \cdot 10^3 < q < 4,5 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> при випаровуванні критерій, який враховує фазовий перехід, недостатньо впливає на процес теплообміну.

Кореляційна обробка одержаних даних дозволила узагальнити процес конвективного нагріву критеріальними рівняннями

$$Nu = 1,024 \cdot 10^{-6} Pe^{1,22} Re_u^{0,29} Pr^{0,31} \left( \frac{Pr}{Pr_{cr}} \right)^{0,25} \left( \frac{\ell}{d} \right)^{-0,42} z^{0,28} \quad /5/$$

при

$$Re_u \leq 1,2 \cdot 10^5; \quad Pe \leq 3,5 \cdot 10^3$$

$$Nu = 3,66 \cdot 10^{-6} Pe^{0,99} Re_u^{0,26} Pr^{0,31} \left( \frac{Pr}{Pr_{cr}} \right)^{0,29} \left( \frac{\ell}{d} \right)^{-0,42} z^{0,28}$$

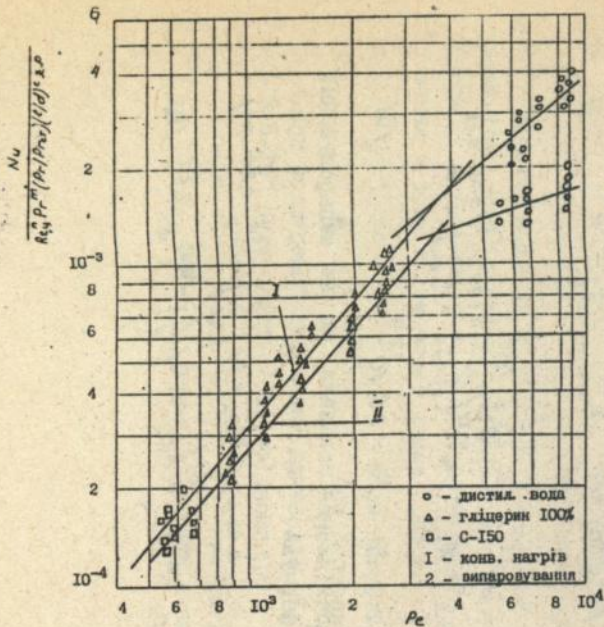
при

$$Re_u > 1,2 \cdot 10^5; \quad Pe > 3,5 \cdot 10^3 \quad /6/$$

Експериментальні дослідження показали, що при випаровуванні можна застосувати формули

$$Nu = 8,73 \cdot 10^{-4} Pe^{0,62} Re_u^{0,21} Pr^{0,27} \left( \frac{\ell}{d} \right)^{-0,37} z^{0,26} \quad /7/$$

$$Nu = 1,1 \cdot 10^{-3} Pe^{0,57} Re_u^{0,19} Pr^{0,27} \left( \frac{\ell}{d} \right)^{-0,37} z^{0,26} \quad /8/$$



Мал.7 Залежність комплексу від критерія Пекля

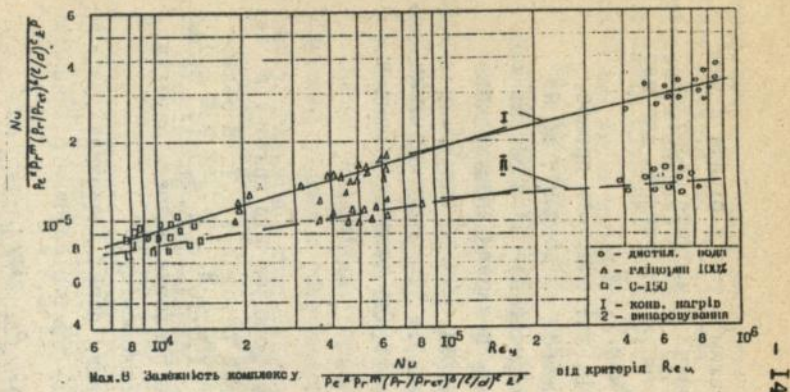
$$\frac{Nu \cdot Pr^n \cdot (Pr/Pr_c)^m \cdot (l/d)^\delta \cdot z^p}{Pe}$$

при  $Re_c \leq 1,2 \cdot 10^5$ ;  $Pe \leq 3,5 \cdot 10^3$

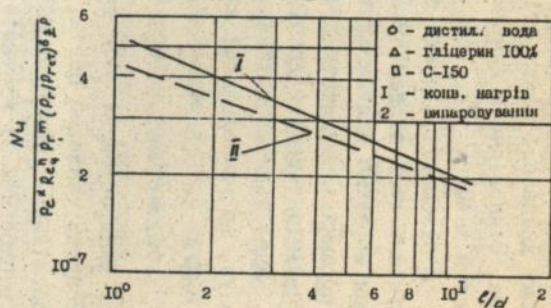
	к	n	m	δ	ε	p
I	1,22	0,29	0,31	0,25	-0,42	0,28
II	0,62	0,21	0,27	0	-0,37	0,26

при  $Re_c > 1,2 \cdot 10^5$ ;  $Pe > 3,5 \cdot 10^3$

	к	n	m	δ	ε	p
I	0,97	0,26	0,31	0,25	-0,42	0,28
II	0,57	0,19	0,27	0	-0,37	0,26



Мал.8 Залежність комплексу  $\frac{Nu \cdot Pr^n \cdot (Pr/Pr_c)^m \cdot (l/d)^\delta \cdot z^p}{Re_c}$  від критерія  $Re_c$



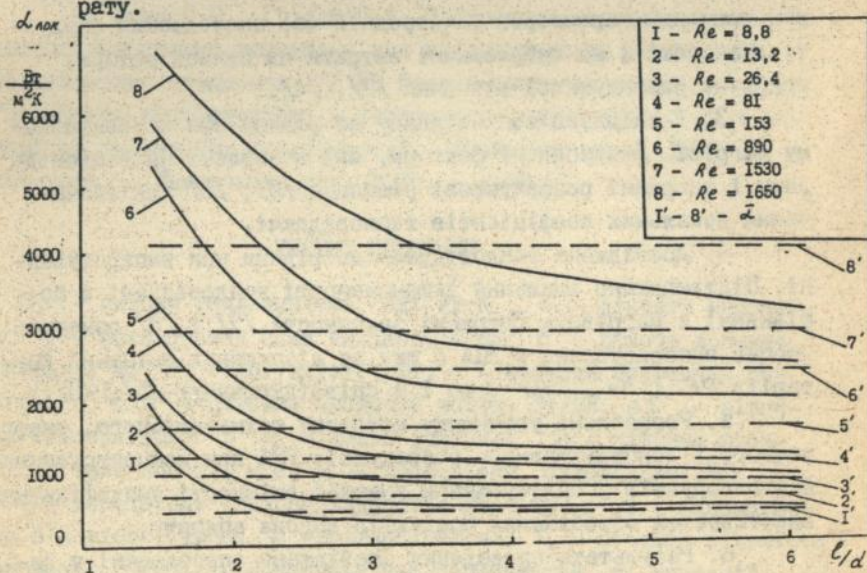
Мал.9 Залежність комплексу  $\frac{Nu \cdot Re_c^n \cdot Pr^m \cdot (Pr/Pr_c)^\delta \cdot z^p}{l/d}$  від  $l/d$

при умові, що диалазон зміни чисел  $Re_c$  і  $Pe$  буде таким, як для виразів /5/, /6/.

Порівняння формул /5/, /6/ з залежностями /7/, /8/ свідчить про те, що інтенсивність тепловіддачі при нагріві більше, ніж при випаровуванні в дослідній області чисел подібності. Це зумовлено як появою додаткового термічного опору рідини, так і зміною теплофізичних властивостей рідини при випаровуванні.

Точність опрацювання експериментальних даних в рівнянні /5/ - 16,2%; /6/ - 12,3%; /7/ - 12,4%; /8/ - 11,5%.

Одержані узагальнюючі залежності увійшли до інженерної методики технологічного, енергетичного і конструктивного розрахунків РПА з облічуванням змінення теплофізичних властивостей продукту вздовж апарату. На основі цієї методики розроблено алгоритм і програму розрахунку РПА. На мал.10 приведено залежності розрахункових значень локальних коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha_{лок}$  від геометричних розмірів апарату.



Мал.10. Залежність розрахункових значень локальних коефіцієнтів тепловіддачі від геометричних розмірів апарату.

Характер зміни кривих показує, що в області малих чисел Рейнольдса  $8,8 < Re_{n\lambda} < 81$  відбувається значне зменшення  $\alpha_{\text{лок}}$  вздовж апарату, при цьому максимальне розходження між  $\alpha_{\text{лок}}$  і середніми значеннями коефіцієнтів тепловіддачі  $\bar{\alpha}$  в цій області досягають 30%. Із збільшенням чисел Рейнольдса ця різниця поступово зменшується і при  $1530 < Re_{n\lambda} < 1650$  складає лише 13%.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено дослідження теплофізичних властивостей /в'язкості, густини, теплопровідності, теплоємності/ масляного розчину сульфонатної присадки С-150 в бензині та встановлено вплив на них температури і концентрації розчинника. Одержані інтерполяційні рівняння /1/ увійшли до основи методики розрахунку РПА в умовах значної змінності властивостей обробляемого продукту по мірі видалення розчинника.

2. Встановлено характер та інтенсивність впливу різних режимних параметрів на середній час знаходження продукту в апараті і на енергетичні витрати на привод ротора, одержані розрахункові рівняння /2/, /4/.

3. Досліджено тепловіддачу до рідини при конвективному нагріві. Встановлені фактори, які впливають на тепловіддачу і одержані розрахункові рівняння /5/, /6/ для визначення локальних коефіцієнтів тепловіддачі.

4. Досліджена тепловіддача до рідини при випаровуванні. Підтверджено зниження інтенсивності тепловіддачі в порівнянні з нагрівом. Одержані залежності /7/ і /8/ описують процес випаровування в РПА в тих же діапазонах змінення критеріїв  $Pe$ ,  $Re_c$ ,  $Pr$ , що і в співвідношеннях /5/, /6/.

5. Розроблено уточнюючу методику технологічного, енергетичного і конструктивного розрахунків РПА при концентрування нафтопродуктів з облічуванням значної змінності теплофізичних властивостей обробляемих продуктів вздовж апарату.

6. Результати проведених досліджень впроваджені у виробництво сульфонатних присадок у ВО "Новополоцькнафтооргсинтез".

Основні результати роботи відображені у публікаціях:

1/ Воронцов Е.Г., Голова О.А., Шевчук Ю.В. "Экспериментальная установка и методика проведения исследований гидродинамики и теплоотдачи к водно-глицериновым растворам и присадке С-150 в роторном пленочном аппарате. - Киев, 1992, - 31 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 13.04.92, № 460 - Ук.92.

2/ Голова О.А., Фройштетер В.Г., Черкасов А.А. Оптимизация процесса отгонки растворителей в роторно-пленочных аппаратах. // УШ Респ. конф. "Повышение эффективности и совершенствование процессов и аппаратов химических производств" /Днепропетровск, 1991/: Тез. докл. - Днепропетровск, 1991. - с.40-41.

3/ Голова О.А., Фройштетер Г.В. Основные принципы энергосбережения при отгонке растворителей из сульфатных присадок. // У Международная конференция "Синтез, технология и применение присадок к смазочным маслам". /Дрогобыч, 1992/: Тез. докл. - Дрогобыч, 1992. - с.177-179.

4/ Ишук С.Ю., Голова О.А. Применение контакторов с высокоскоростными мешалками для интенсификации химико-технологических процессов. // УШ Республиканская конференция "Повышение эффективности и совершенствование процессов и аппаратов химических производств". /Днепропетровск, 1991/. Тез. докл. - Днепропетровск, 1991. - с.28-29.

#### УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

$c_p$  - питома теплоємність, Дж/ кг·К;  $d$  - діаметр апарату, м;  $g$  - прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $l$  - робоча довжина апарату, м;  $N$  - потужність, Вт;  $n$  - частота обертання ротора, с<sup>-1</sup>;  $q$  - питомий тепловий потік, Вт/м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  - різниця температур, К;  $z$  - число лопатів;  $w$  - лінійна швидкість краю лопаті, м/с;  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/ м<sup>2</sup>к;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності; Вт/ (мК);  $\nu$  - кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с;  $\rho$  - густина, кг/м<sup>3</sup>;  $\Gamma_v$  - об'ємна щільність зрошення, м<sup>2</sup>/с;  $\bar{\tau}$  - середній час перебування, с; критерії:  $K_N = \frac{N}{\rho n^3 d^4 \ell}$  - потужності;  $K_\tau = \tau w / \ell$  - часовий;  $Nu = \alpha (\nu^2/g)^{1/3}$  - Нуссельта;  $Re_{nl} = 4\Gamma_v / \nu$  - Рейнольдса;  $Re_u = n^2 d / g$  - Рейнольдса /відцентровий/;  $Pr = c_p \rho \nu / \lambda$  - Прандтля;  $Pe = 4\Gamma_v c_p \rho / \lambda$  - Пекле;  $Fr = n^2 d / g$  - Фруда;  $K_{ll} = \frac{\delta^3 \rho}{g \mu^4}$ ; індекси: ст-стінка; лок-локальний.

АВ 26.868  
**АВ 26.868**

Подп.к печати 23.02.1993г. Формат 60x84 I/I6.  
Усл.печ.л.0,93. Зак.75, тир.100экз.

---

МП"Полипринт" г.Київ, ул.Артема, 77.