

На правах рукопису

Хохлов Дмитро Львович

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ І ОХОЛОДЖЕННЯ  
АЗОТНИХ ДОБРИВ В ГРАНУЛЯЦІЙНИХ БАШТАХ

05.17.08 – процеси, машини та апарати хімічних  
та нафтохімічних виробництв

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Суми - 1995

Діло № В.Стефан  
АН УРСР

ДВ 33.037

Дисертація є рукопис  
Робота виконана на кафедрі "Хімія  
екологія" Сумського Державного

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00761309 (Q)

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Холін Борис Георгієвич

- Офіційні опоненти:
1. доктор технічних наук, професор  
Стрельцов Володимир Васильович
  2. кандидат технічних наук, доцент  
Сіренко Віктор Федорович

Провідна організація: Одеський припортовий завод, Міністерство  
промисловості, відділ мінеральних добрив, м. Одеса.

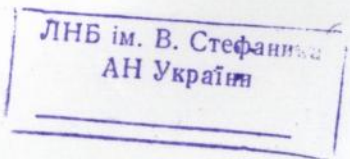
Захист відбудеться 19 жовтня 1995 р. о 14 годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 22.01.02  
в Сумському Державному Університеті (244007, м. Суми,  
вул. Р.-Корсакова, 2).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського  
Державного Університету

Автореферат розісланий "16" 09 1995 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В. Г. Неня



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аміачна селітра та сечовина є найбільш розповсюдженими азотними добривами, які отримують в товарному виді шляхом гранулювання розплавів цих речовин. У виробництві аміачної селітри та сечовини в основному застосовується метод приливання (гранулювання у баштах) завдяки його високій економічності. За нашого часу основні наукові розробки по методу приливання спрямовані на підвищення якості готового продукту. Одним з головних показників якості продукту служить розмір гранул, тому актуальною є задача отримання гранул максимально можливого розміру. З іншого боку існує тенденція зростання потужності виробництв азотних добрив. Актуальною є задача зниження енергетичних витрат, пов'язаних з подачею охолоджувачого повітря.

Все це приводить до необхідності інтенсифікації діючих башт і створенню більш ефективних конструкцій башт. Вирішення цих задач пов'язано з розробкою математичної моделі процесів теплообміну у башті. Визначення оптимальних конструктивних та технологічних параметрів башт здійснюється на основі результатів чисельного експерименту.

Дана робота спрямована на дослідження процесу кристалізації та охолодження гранул азотних добрив у баштах за допомогою чисельного експерименту на основі розробленої математичної моделі процесу. В результаті цих досліджень визначаються оптимальні конструктивні та технологічні параметри грануляційних башт при застосуванні обертаючихся віброгрануляторів, а також розмір гранул, які можна отримати за умов конкретних башт. Наведена в роботі математична модель процесу кристалізації та охолодження гранул азотних добрив у баштах адекватно описує процес і дозволяє простежити вплив усіх факторів на рух процесу. На основі аналізу роботи різних типів існуючих башт за допомогою чисельного експерименту отримано рекомендації що до інтенсифікації роботи даних башт. В той же час створення найбільш ефективною конструкції башти для отримання сечовини потребує подальших досліджень з урахуванням економічних чинників.

Мета роботи. Створення математичної моделі процесу кристалізації та охолодження гранул азотних добрив у баштах і вирішення задачі інтенсифікації роботи грануляційних башт виробництва азотних добрив із застосуванням результатів чисельного експерименту.

Наукова новизна. Розроблено математичну модель процесу кристалізації та охолодження гранул азотних добрив у баштах, яка містить задачу нестационарного теплообміну в гранулах і задачу конвективного теплообміну в газовій фазі, а також рівняння руху гранул в башті. Запропоновано опис процесу кристалізації сечовини при перемінній температурі на фазовому краї без використання експериментальних даних по кінетиці кристалізації. Розроблено математичну модель процесу переносу тепла в газовій фазі при баштовому гранулюванні, в якій коефіцієнт теплопровідності по радіусу башти визначається турбулентним рухом повітря крізь башту.

Розглянуто задачу отримання крупних гранул сечовини в низьких баштах висотом 30-35 м при застосуванні обертаючогося віброгранулятора на основі результатів чисельного експерименту.

Проведено аналіз ефективності роботи і визначені оптимальні конструктивні та технологічні параметри високих башт виробництва сечовини при застосуванні обертаючогося віброгранулятора.

Практична цінність. На основі результатів чисельного експерименту вирішено задачу інтенсифікації роботи башти висотом 31 м діаметром 10 м виробництва сечовини на Невіномиському АТ "Внештрейдинвест" з метою отримання гранул розміром понад 2 мм. З урахуванням виданих рекомендацій було здійснено реконструкцію башти, що дозволило отримувати гранули розміром понад 2 мм протягом усього року. Також вирішено задачу визначення максимально можливого розміру гранул для умов роботи башти висотом 32 м прямокутного перерізу 8x10 м виробництва аміачної селітри на підприємстві ZA Wloclawek, м. Влоцлавек, Польща. Результати розрахунків

були використані при розробці модифікації обертаючогося віброгранулятора для даної башти.

Апробація роботи. Питання, які розглянуті в дисертації, доповідалися на науково-технічній конференції викладачів, співробітників і студентів /м. Суми, СФТІ, 1991 р. і СумГУ, 1995 р./, VIII Республіканській конференції "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств" /м. Дніпропетровськ, 1991 р./, IV Ogólnopolskie Simpozjum "GRANULACJA - Stan techniki, perspektywy rozwoju procesow i aparatury - Pulawy 91", 12th Symposium on Industrial Crystallization /Warsaw, 1993/.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 5 друкованих праць. Особистий внесок дисертанта у наведених працях полягає в тому, що:

- розроблено алгоритм розв'язання задачі Стефана при перемінній температурі на фазовому краї, який враховує теплоакуюлючі властивості речовин;
- розроблено математичну модель процесу теплообміну в суцільній фазі при баштовому гранулюванні, в якій коефіцієнт теплопроводності по радіусу башти визначається турбулентним рухом повітря крізь башту;
- проведено чисельний експеримент процесу кристалізації та охолодження гранул сечовини і аміачної селітри в баштах при застосуванні обертаючогося віброгранулятора;
- проведено аналіз ефективності роботи грануляційних башт виробництва сечовини висотою 30 м діаметрами 10 м і 16 м і визначені оптимальні конструктивні та технологічні параметри башт.

Обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох глав, висновків, списку цитованої літератури та додатків. Викладена на 67 сторінках машинописного тексту, містить 20 малюнків, 1 таблицю. Бібліографія містить 88 праць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми і викладено основні положення, які виносяться на захист.

У першому розділі на основі виконаного літературного огляду розглянуто шляхи інтенсифікації роботи грануляційних башт виробництва сечовини та аміачної селітри. По-перше, необхідно застосовувати гранулятор, який забезпечує високу якість продукту. Порівняння різних типів грануляторів, які використовуються для отримання сечовини та аміачної селітри в баштах показало, що найкращими є обертаючіся віброгранулятори конструкції Холіна Б.Г. По-друге, необхідно інтенсифікувати процеси теплообміну в башті. В зв'язку з цим необхідно мати коректний математичний опис процесів теплообміну в башті.

Проведено аналіз теоретичних та експериментальних досліджень процесу кристалізації та охолодження гранул сечовини та аміачної селітри в баштах. Показано, що для коректного опису процесу необхідно розглядати теплообмін в газовій та дисперсній фазах.

На основі виконаного аналізу було сформульовано мету та завдання даної роботи.

У другому розділі розглянуто математичну модель процесу кристалізації та охолодження гранул азотних добрив в баштах, яка містить задачу нестационарного теплообміну в гранулах та задачу конвективного теплообміну в газовій фазі, а також рівняння руху гранул в баштах.

Модельвання нестационарного теплообміну в гранулах за наявності фазових перетворень здійснюється в рамках задачі Стефана, яка містить рівняння Фур'є для твердої та рідкої фаз, рівняння конвективного теплообміну між поверхнею тіла і зовнішнім середовищем, а також крайову умову Стефана на фазовому краї. З урахуванням аналізу, проведеного в першому розділі, модель процесу збудована при таких припущеннях. Крапля розплаву сферична, об'єм її зостається незмінним на

протязі усього процесу. Кристалізація краплі послідовна, з чітко виявленими фазовим краєм та краями модифікаційних перетворень. Температура на фазовому краї постійна і дорівнює температурі кристалізації. Інтенсивність відведення теплоти по поверхні краплі постійна. Завдяки різниці густин рідкої та твердої фаз в центрі краплі утворюється усадочна порожнина.

Задача Стефана є замкненою за умови, що температура на фазовому краї постійна. Процесу кристалізації краплі сечовини передуює переохолодження розплаву на 40-45 °С. Після утворення в поверхневих шарах краплі зародків кристалізації, крапля нагрівається до температури близької до температури кристалізації за рахунок виділення теплоти кристалізації. При цьому процес кристалізації відбувається при перемінній температурі на фазовому краї. До цих пір замкнення задачі Стефана при перемінній температурі на фазовому краї здійснювалось за допомогою експериментальних даних по кінетиці кристалізації в каплях. Для речовин з високими швидкостями росту кристалів опис процесу кристалізації в рамках задачі Стефана при перемінній температурі на фазовому краї без використання експериментальних даних по кінетиці кристалізації можливий на основі алгоритму, враховуючого теплоаккумулячі властивості речовини.

Розглянемо суть алгоритму. Покладаємо температуру на фазовому краї постійною. Визначаємо швидкість руху фазового краю із рівняння

$$\lambda_k \frac{\partial \theta_k(r_{kp})}{\partial r} - \lambda_p \frac{\partial \theta_p(r_{kp})}{\partial r} = (L - Q_s) \rho_k \frac{dr_{kp}}{dt}, \quad (1)$$

$$\text{де } Q_s = c_p (\theta_{kp} - \theta_s(\tau)).$$

Розв'язуючи рівняння Фур'є для кристалічної фази, знаходимо градієнт температур біля фазового краю в кристалічній фазі. Із умови Стефана визначаємо градієнт температур біля фазового краю в рідкій фазі. Розв'язуючи рівняння Фур'є для рідкої фази, отримуємо нове значення температури на фазовому краї.

Для перевірки запропонованого алгоритму було проведено розрахунки процесу кристалізації краплі сечовини в потоці повітря. Зіставлення результатів розрахунків з даними швидкостного термографічного аналізу показало, що запропонований алгоритм адекватно описує реальний процес.

До початку 80-х років при розробці моделей кристалізації та охолодження крапель розплавів в баштах робилось припущення, що зміна температури охолоджуючого повітря відбувається лише по висоті башти. Експериментальні дані, отримані на діючих баштах, свідчать про те, що температура повітря по радіусу башти суттєво перемінна. В працях М.Є. Іванова було розроблено теорію процесів обміну тепла та кількості руху, в якій перенос теплоти по радіусу башти обумовлюється турбулентними пульсаціями в факелі розсіювання від поодинокого джерела. Визначення ефективного коефіцієнту теплопровідності здійснюється за допомогою теорії струменів та слідів. Такий підхід здається неправомірним, тому що результати теорії струменів та слідів справедливі для слідів за поодинокими тілами.

В існуючих грануляційних баштах рух повітря крізь башту характеризується числом Рейнольдса порядку  $10^6$ , що відповідає турбулентному режиму. Розглянемо модель теплообміну в газовій фазі, в якій перенос теплоти по радіусу башти визначається турбулентними пульсаціями, викликаними рухом повітря крізь башту. Коефіцієнт теплопровідності при турбулентному русі визначається у такий спосіб:

$$\lambda_t = k c_e \rho_e l^2 \frac{du}{dy} \quad (2)$$

Величина шляху перемішування  $l$ , градієнт швидкості  $\frac{du}{dy}$  та коефіцієнт  $k$ , зв'язаний турбулентні коефіцієнти обміну теплоти і імпульсу визначаються за відомими експериментальними залежностями. Перенос теплоти в башті описується рівнянням конвективного теплообміну з розподіленими джерелами теплоти:

$$\left( u_x \frac{\partial \theta_c}{\partial z} + u_y \frac{\partial \theta_c}{\partial y} \right) c_c \rho_c = \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_t \frac{\partial \theta_c}{\partial y} \right) + \lambda_t \frac{1}{y} \frac{\partial \theta_c}{\partial y} + q. \quad (3)$$

Крайові умови на осі та на периферії башти

$$\frac{\partial \theta_c}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0, \quad \frac{\partial \theta_c}{\partial y} \Big|_{y=R_n} = 0. \quad (4)$$

Джерелами виділення теплоти є гранули, які охолоджуються в башті. Чисельне інтегрування рівняння (3) здійснюється знизу вверх по башті із застосуванням неявної різничної схеми.

Система рівнянь, описувачих нестационарний теплообмін в гранулах, разом з рівняннями теплообміну в газовій фазі (2-4), а також рівняння балістики для гранул складають замкнену задачу процесів теплообміну в башті.

Для перевірки запропонованої моделі було розраховано процес кристалізації та охолодження гранул для умов різних підприємств. Було також проведено тестові експерименти на діючих баштах виробництва сечовини і аміачної селітри по визначенню середньої температури гранул і ступеня кристалізації гранул в кінці польоту. Зіставлення експериментальних даних, наведених у табл. 1, показує, що запропонована модель дозволяє розрахувати процес кристалізації та охолодження гранул в баштах з достатньою для інженерних застосувань точністю.

В третьому розділі розглянуто питання інтенсифікації роботи низьких башт виробництва сечовини і аміачної селітри. Збудовані в 60-х роках башти виробництва сечовини висотой 30-35 м діаметрами 10 м і 16 м були розраховані на отримання гранул розміром 1-2 мм. В зв'язку з тим що зросли вимоги до якості продукції, виникло питання про збільшення розміру гранул до 2 мм і вище. Ця проблема розглядалась у ряді праць, і була показана принципова можливість отримання крупних гранул сечовини в низьких баштах. Оскільки у розрахунках використовувалось припущення про сильне перемішування

Таблиця 1

Тестування математичної моделі кристалізації та охолодження гранул азотних добрив в баштах

Підприємство	Одеський припортовий завод	АТ "Внеш-трейдинвест" м. Невіномиськ	ЗА "Wloclawek" м. Влоцлавек
Продукт	сечовина	сечовина	аміачна селітра
Висота башти	84 м	31 м	32 м
Поперечні розміри башти	діаметр 12 м	діаметр 10 м	переріз 8x10 м
Навантаження по плаву	43 т/Г	42 т/Г	55 т/Г
Витрати повітря	400000 м <sup>3</sup> /Г	500000 м <sup>3</sup> /Г	500000 м <sup>3</sup> /Г
Діаметр гранул	2.4 мм	2.1 мм	1.8 мм
Температура повітря в нижній частині башти	37 °С	31 °С	6 °С
Температура гранул в кінці польоту експеримент розрахунок	116 °С 113 °С		100 °С 101 °С
Ступінь кристалізації гранул в кінці польоту експеримент розрахунок		0.79 0.77	

повітря по радіусу башти, отримані оцінки є завишеними.

Виходячи з цього, було розглянуто задачу отримання крупних гранул сечовини на низьких баштах. На мал. 1 наведено результати розрахунків для низьких башт висотою 31 м діаметром 10 м і висотою 30 м діаметром 16 м, які оснащені охолоджувачем киплячого шару. Критерієм ефективності роботи башти в цьому випадку є ступінь кристалізації гранул в кінці польоту. При падінні в охолоджувач киплячого шару її величина повинна бути 0.8 і вище. Аналіз розрахунків дозволяє зробити висновок, що на башті діаметром 10 м отримання гранул сечовини розміром 2.1 мм можливо протягом усього року. На башті діаметром 16 м отримання крупних гранул сечовини недоцільно через високі енерговитрати.

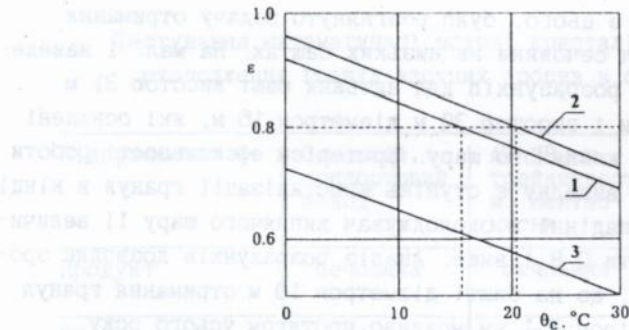
За результатами чисельного експерименту вирішено задачу інтенсифікації роботи башти висотою 31 м діаметром 10 м виробництва сечовини на Невіномиському АТ "Внештрейдинвест" з метою отримання гранул розміром понад 2 мм. Було запропоновано такі заходи:

- застосування обертаючогося віброгранулятора;
- розширення діаметру охолоджувача киплячого шару до 10 м;
- забезпечення витрати повітря під охолоджувач 500 000 м<sup>3</sup>/г;
- використання модифікаторів у розплаві.

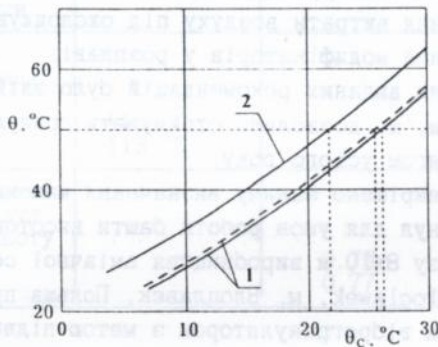
З урахуванням виданих рекомендацій було здійснено реконструкцію башти, що дозволило отримувати гранули розміром 2.1 мм протягом усього року.

Також вирішено задачу визначення максимально можливого розміру гранул для умов роботи башти висотою 32 м прямокутного перерізу 8x10 м виробництва аміачної селітри на підприємстві ZA Wloclawek, м. Влоцлавек, Польща при оснащенні її обертаючимся віброгранулятором з метою підвищення якості продукту. Результати розрахунків наведено на мал. 2.

Критерієм ефективності роботи башти в цьому випадку є адіабатична температура гранул в кінці польоту, яка за умовами виробництва не повинна перевищувати 110 °С. Із мал. 2 видно, що при існуючих параметрах виробництва в зимовий період можливо отримання гранул розміром 2.0 мм, а в літній період - гранул розміром 1.8 мм.



Мал. 1. Інтенсифікація роботи низьких башт виробництва сечовини при оснащенні їх охолоджувачем киплячого шару. Діаметр гранул 2.1 мм; навантаження по плаву 30 т/г; витрати повітря 500 000 м<sup>3</sup>/г; діаметр башти: 1,2 - 10 м, 3 - 16 м; висота башти: 1,2 - 31 м, 3 - 30 м; 2 - із застосуванням модифікаторів в розплаві.



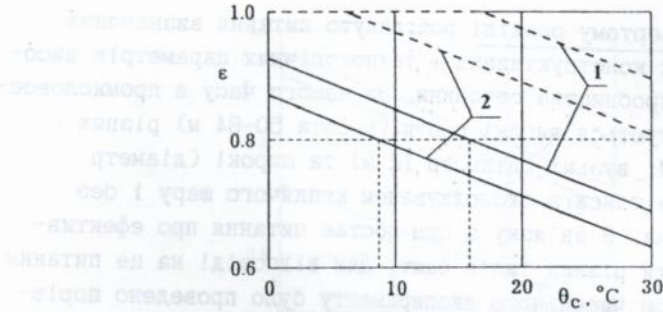
Мал. 2. Температура гранул аміачної селітри в кінці польоту в залежності від температури зовнішнього повітря. Діаметр гранул: 1 - 1.8 мм, 2 - 2.0 мм; поперечні розміри башти 8x10 м; висота башти 32 м; навантаження по плаву 55 т/г; витрати повітря 500 000 м<sup>3</sup>/г.

В четвертому розділі розглянуто питання визначення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів високх башт виробництва сечовини. За нашого часу в промисловості експлуатуються високі башти (висота 60-84 м) різних конструкцій: вузькі (діаметр 12 м) та широкі (діаметр 16-22 м), а також з охолоджувачем киплячого шару і без охолоджувача. В зв'язку з цим постає питання про ефективність роботи різних типів башт. Для відповіді на це питання за допомогою чисельного експерименту було проведено порівняльний аналіз роботи різних типів башт при оснащенні їх обертаючимися віброгрануляторами. За результатами розрахунків було визначено максимальний розмір гранул, який можливо отримати у кожній башті. Також було вивчено можливість збільшення навантаження по плаву.

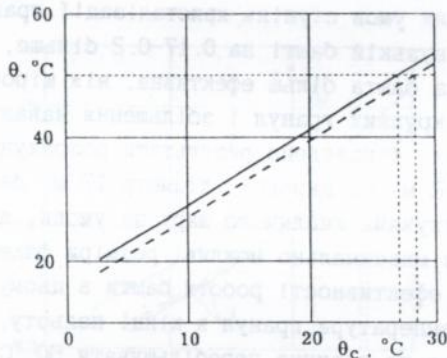
На мал. 3 наведені результати розрахунків для вузької (діаметр 12 м) і широкої (діаметр 16 м) башт висотою 84 м, які оснащені охолоджувачем киплячого шару. Зіставлення результатів розрахунків для вузької та широкої башт показує, що за рівних умов ступінь кристалізації гранул в кінці польоту у вузькій башті на 0.17-0.2 більше, ніж у широкій. Тому вузька башта більш ефективна, ніж широка з точки зору отримання крупних гранул і збільшення навантаження по плаву.

На мал. 4 наведено результати розрахунків для вузької (діаметр 12 м) та широкої (діаметр 17 м) башт висотою 84 м без охолоджувача киплячого шару за умови, що гранулятор забезпечує максимально можливі розміри факелу зрошення. Критерієм ефективності роботи башти в цьому випадку є адиабатична температура гранул в кінці польоту, яка за умовами виробництва не повинна перебільшувати 50 °С. Зіставлення результатів розрахунків для вузької та широкої башт показує, що ефективність роботи башт однакова.

Порівняння результатів розрахунків для башт з охолоджувачем киплячого шару і без охолоджувача показує, що в першому випадку ефективність роботи башти вище. У той же час на башті без охолоджувача киплячого шару нижче енергетичні витрати. Остаточне рішення що до використання охолоджувача залежить від того, який фактор є більш вагомим.



Мал. 3. Порівняння ефективності роботи високих башт виробництва сечовини при оснащенні їх охолоджувачем киплячого шару. Пунктирні лінії - діаметр башти 12 м; безперервні - 16 м; висота башти 84 м; навантаження по плаву 60 т/г; витрати повітря 500 000 м<sup>3</sup>/г; діаметр гранул: 1 - 2.4 мм, 2 - 2.7 мм.



Мал. 4. Порівняння ефективності роботи високих башт виробництва сечовини без охолоджувача киплячого шару. Пунктирні лінії - діаметр башти 17 м; безперервні - 12 м; висота башти 84 м; навантаження по плаву: 1 - 42 т/г, 2 - 60 т/г; витрати повітря 500 000 м<sup>3</sup>/г; діаметр гранул 2.1 мм.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. На основі аналізу проблеми інтенсифікації грануляційних башт виробництва сечовини і аміачної селітри показано, що головними шляхами підвищення ефективності роботи даних башт є:

- застосування обертаючогося віброгранулятора;
- інтенсифікація процесів теплообміну в баштах із використанням результатів чисельного експерименту.

2. Розроблено математичну модель процесів теплообміну в грануляційних баштах виробництва сечовини і аміачної селітри, яка містить задачу нестационарного теплообміну в гранулах і задачу конвективного теплообміну в газовій фазі, а також рівняння руху гранул в башті.

3. Проведено тестові експерименти на діючих грануляційних баштах виробництва сечовини і аміачної селітри, які показали, що розроблена математична модель адекватно описує процес кристалізації і охолодження гранул сечовини і аміачної селітри в баштах.

4. Вирішено задачу інтенсифікації роботи башти виробництва сечовини висотою 31 м діаметром 10 м на Невіномиському АТ "Внештрейдинвест" з метою отримання гранул розміром понад 2 мм. Після проведення реконструкції башти з урахуванням виданих рекомендацій на башті отримують гранули розміром 2.1 мм протягом усього року.

5. Вирішено задачу визначення максимально можливого розміру гранул для умов роботи башти висотою 32 м прямокутного перерізу 8x10 м виробництва аміачної селітри на підприємстві ZA Wloclawek, м. Влоцлавек, Польща при оснащенні її обертаючимся віброгранулятором з метою поліпшення гранулометричного складу продукту. Показано, що при існуючих параметрах виробництва в зимовий період можливе отримання гранул розміром 2.0 мм, а в літній період - гранул розміром 1.8 мм. Дані по гранулометричному складу продукту після оснащення башти обертаючимся віброгранулятором підтверджують результати розрахунків.

6. Розглянуто питання ефективності роботи різних типів грануляційних башт виробництва сечовини при застосуванні обертаючихся віброгрануляторів. Показано, що при оснащенні башти охолоджувачем киплячого шару більш ефективними є вузькі башти. За відсутності охолоджувача киплячого шару ефективність роботи вузьких і широких башт однакова. В обох випадках використання вузьких башт доцільніше, тому що навіть при однаковій ефективності будівельні витрати для вузьких башт нижче порівняно з широкими баштами.

#### ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- с - питома теплоємність, кДж/кг К;
- L - питома теплота кристалізації, кДж/кг;
- Q, q - кількість теплоти, Дж;
- г - поточний радіус, м;
- R<sub>в</sub> - радіус башти, м;
- u - швидкість руху повітря, м/с;
- y - радіальна координата у башті, м;
- z - осьова координата у башті, м;
- ε - ступінь кристалізації;
- θ - температура, °С;
- λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м К;
- ρ - густина, кг/м<sup>3</sup>;
- τ - час, с.

#### ІНДЕКСИ

- s - переохолодження;
- t - турбулентний;
- к - кристалічний;
- кр - фронт кристалізації;
- p - розплав;
- с - повітря (середовище).

За темою дисертації опубліковано такі праці:

1. B. G. Cholin, L. A. Chochlov, D. L. Chochlov Warunki otrzymywania granul mocznika o rozmiarach ponad 2.0 mm w niskich wiezach granulacyjnych // IV Ogolnopolskie Simpozjum "GRANULACJA - Stan techniki, perspektywy rozwoju procesow i aparatury - Pulawy 91". - P. 9A1-9A16.
2. Хохлов Л. А., Назаренко А. М., Хохлов Д. Л. Математическая модель процесса кристаллизации и охлаждения гранул карбамида в потоке воздуха // Химическое машиностроение: расчет, конструирование, технология. Сб. СФТИ. - Киев УМК ВО, 1992. - С. 11-19.
3. D. L. Khokhlov, L. A. Khokhlov, A. M. Nazarenko Modelling of the Process of Crystallization of Urea Drops in Towers // Proceedings of 12th Symposium on Industrial Crystallization. - Vol. 2. - Session 5. - Warsaw. - 1993. - P. 99-104.
4. B. G. Kholin, L. A. Khokhlov, D. L. Khokhlov, V. A. Khvorost Optimization of Granulation of Nitrogen Fertilizers in Towers // Proceedings of 12th Symposium on Industrial Crystallization. - Vol. 2. - Session 5. - Warsaw. - 1993. - P. 104-108.
5. Хохлов Д. Л., Хохлов Л. А., Назаренко А. М. Моделирование кристаллизации капель расплавов при переменной температуре на фазовой границе // Теор. осн. хим. техн. - 1995. - N 3, С. 327-329.

#### АННОТАЦИЯ

Хохлов Д. Л. Интенсификация процесса кристаллизации и охлаждения азотных удобрений в грануляционных башнях.  
Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 - процессы, машины и аппараты химических и нефтехимических производств.  
Сумский государственный университет, Сумы, 1995.  
Защищается 5 научных работ, в которых решается задача интенсификации работы грануляционных башен производства карбамида и аммиачной селитры на основе результатов численного эксперимента. Полученные результаты использовались при реконст-

ЛНБ ім. В. Стефанива  
АН України

рукции грануляционной башни на АО "Внештрейдинвест",  
г. Невинномыск, Россия и при разработке модификации вращающегося виброгранулятора для условий ЗА "Wloclawek",  
г. Влоцлавек, Польша.

#### RESUME

Khokhlov D.L. Intensification of the process of crystallization and cooling of nitrogen fertilizers in the prilling towers.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical science on speciality 05.17.08 - processes, machines and apparatus of chemical and oilchemical industries.

Sumy State University, Sumy, 1995.

5 papers are under defence in which the problem of intensification of the prilling towers for production of urea and nitrate ammonium is solved on the basis of the results of numerical experiments. The results obtained were applied under reconstruction of the prilling tower at the plant "Внештрейдинвест", Nevinnomysk, Russia and under creation of the modification of the centrifugal vibrogranulator for conditions of ЗА "Wloclawek", Wloclawek, Poland.

Ключові слова:

грануляційна башта, обертаючийся віброгранулятор, сечовина, аміачна селітра.

Підписано до друку 01.09.1995 р. Формат 60 x 84 1/16  
Обсяг 1.0 друк. арк. Тираж 100 екз.

---

Надруковано в Сумському державному університеті  
м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

44468

483309-1  
**AB 33.091**

Дирекция грануляционной массы на  
г. Белостоке, Белорусия в про-параметры модификации аппара-  
турной модификации для завода ЗА "Вислава"  
г. Белосток, Белорусия

**RESUME**

Chokniow B.L. Intensification of the process of crystalliza-  
tion and cooling of nitrogen fertilizers in the prilling  
towers.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical  
science on speciality 05.17.05 - processes, machines and  
apparatus of chemical and oil-chemical industries.  
Sury State University, Sury, 1984.

The papers are under reference in which the process of intensi-  
fication of the prilling towers for production of 1-1 and  
nitric acid is shown on the basis of the results of  
numerical experiments. The results obtained were applied  
under reconstruction of the prilling tower of the plant  
"Belostok", Belorussia and under creation  
of the modification of the central vibrator for  
conditions of ZA "Wislawka", Wislawka, Poland.

Ключевые слова:

грануляционная масса, аппаратура модификации, кристаллизация, охлаждение

Внесено в рефератный журнал 01.09.1985 г. Номер 20 x 84 1-18  
Объем 1.0 д.л. стр. 100 стр.

Надано в редакцию рефератного журнала  
в Центр. ун-та Белостока, Белорусия