

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кочергін Микола Олександрович



УДК 661.525.099.2

**ГІДРО- ТА ТЕРМОДИНАМІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОЇ
СТРУКТУРИ ГРАНУЛ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ**

05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми 2010 р.

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському державному університеті Міністерства освіти та науки України, м. Суми.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Склабінський Всеволод Іванович,
Сумський державний університет, м. Суми,
завідувач кафедри “Процесів та обладнання
хімічних та нафтопереробних виробництв”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Якуба Олександр Родіонович,
Сумський Національний аграрний університет
Міністерства освіти і науки України, м. Суми,
професор кафедри “Технологічного обладнання
харчових виробництв”

доктор технічних наук, доцент
Атаманюк Володимир Михайлович,
Національний університет „Львівська політехніка”
Міністерства освіти і науки України, м. Львів,
професор кафедри “Хімічної інженерії”

Захист відбудеться «11» червня 2010 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова 2, корпус А, ауд. 215.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету (40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова 2).

Автореферат розісланий «08» травня 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доцент



Гурець Л.Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із затребуваних гранульованих продуктів пористої структури є пориста аміачна селітра (ПАС). Тому, приймаючи в даній роботі аміачну селітру як модельний продукт для вивчення процесів гранулювання, одночасно вирішується й практичне завдання - створення розрахункової методики для промислових способів одержання ПАС.

Основний споживач пористої аміачної селітри - це гірничодобувна промисловість, у якій пориста селітра використовується для виготовлення простих вибухових речовин (ВР).

Найпростіші вибухові речовини на основі гранульованої аміачної селітри й дизельного палива знайшли, завдяки своїй дешевизні й високій ефективності, широке застосування як у країнах СНГ, так і в США, Канаді, Англії, Японії. У США й Канаді близько 70% гірської маси, що добувається вибуховим способом на відкритих і підземних розробках, виробляється за допомогою таких речовин.

При додаванні 6% рідкого палива до звичайної гранульованої селітри сільськогосподарського призначення воно практично не всмоктується гранулами, але залишається на їхній поверхні. Після перемішування суміш має вигляд замасленої несипучої зернистої маси. Такі суміші називають ігданітами. Вони виготовляються безпосередньо на місці застосування й призначаються для використання в якості вибухових речовин в гірничій справі як для відкритих, так і для підземних робіт.

Недоліком ігданітів є швидке стікання рідкого пального компонента з поверхні гранул. Наприклад, через 1,5 години після приготування ігданіту, вміст у ньому дизельного палива знижується на 30÷70%, тому що воно стікає в нижні шари маси, і ефективність дії такого ігданіту знижується аж до повної відсутності детонації. Тому сучасні ефективні промислові суміші почали випускати на основі спеціально виготовленої пористої аміачної селітри (ПАС), яка добре поглинає і утримує рідкі нафтопродукти та відрізняється однорідністю й стабільністю сполуки при тривалому зберіганні.

У колишньому Радянському Союзі така суміш одержала назву «грануліт М». Вона виготовлялася не на місці використання, як ігданіти, а на спеціальних установках, і доставлялася споживачам упакованою в паперові ламіновані (один шар паперу покритий плівкою поліетилену) або поліетиленові мішки. У першому випадку грануліт може зберігатися, не втрачаючи своїх якостей, протягом чотирьох місяців, у другому - протягом шести місяців.

У 80-ті роки 20-го століття на об'єднанні «Азот» міста Руставі (Грузія) були початі спроби одержання пористої аміачної селітри в псевдозрідженому шарі, але з ряду причин, пов'язаних з недоробкою конструкції вони виявилися невдалими.

Таким чином для одержання якісних промислових вибухових речовин необхідно в основі мати пористу аміачну селітру з рівномірно розподіленою за структурою гранули пористістю, яка забезпечує не тільки високу здатність вбирати масло, але й ще має високу утримуючу здатність при збереженні міцнісних властивостей гранули.

У даний час в Україні відсутні виробництва пористої аміачної селітри, а також немає математичної моделі та інженерних методів розрахунку, які описували б процеси, що проходять в гранулі в момент формування її пористої структури. Тому актуальним є завдання розробки фізичної й математичної моделі такого процесу, що дозволяє створити надійний інженерний метод розрахунку промислового процесу одержання пористої аміачної селітри.

Для експерименту була обрана гранульована аміачна селітра також і тому, що вона широко застосовується в сільському господарстві, гірничодобувній промисловості й гранула по своїх властивостях найбільш складна для дослідження.

Одним із простіших методів отримання пористої структури у вже сформованій гранулі є насичення її вологою з подальшим виділенням цієї вологи. Установлення закономірностей, яким підкоряється процес випару вологи із гранульованої аміачної селітри, необхідно для визначення оптимальних умов для утворення пористої структури в гранулі.

Відсутність надійних методів одержання пористих гранул з необхідними властивостями для малотоннажних виробництв ставить завдання розробки нових способів і устаткування для цих цілей.

Все вищевказане вказує на актуальність даної роботи. Актуальність теми також підтверджена висновком, який надав РКХЗ "Зоря".

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає тематичному плану науково-дослідних робіт, запланованих на кафедрі «Процеси і обладнання хімічних та нафтопереробних виробництв» (ПОХНВ) Сумського державного університету за темою "Дослідження вихрових, грануляційних та масотеплообмінних пристроїв" (№ держреєстрації 0106U013012), за темою "Відпрацювання технологічних та конструктивних параметрів вихрового гранулятора та видача вихідних даних для проектування гранулятора у складі установки виробництва пористої аміачної селітри потужністю 10 тис. тон на рік" (замовник ТОВ СП "Проектсистемсервіс"). Під час розробки нових методів одержання ПАС отримано патент на новий спосіб виробництва ПАС, а також розроблений ряд конструкцій вихрового гранулятора.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є визначення термо-та гідродинамічних чинників, за допомогою яких стає можливим створити пористу структуру в попередньо сформованій гранулі аміачної селітри та розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо проведення цього процесу у робочій камері вихрового гранулятора.

Задачами теоретичного та експериментального дослідження є:

1. Розробка фізичної моделі з подальшим математичним моделюванням впливу термічних та гідродинамічних чинників на процес створення пористої структури в гранулі аміачної селітри.

2. Аналіз відомих способів гранулювання та розробка способу обробки гранул для подальшого формування у них пористої структури.

3. Проведення теоретичного аналізу термо-та гідродинамічних умов протікання процесу створення пор у разі попереднього зволоження гранул та механізму протікання цього процесу під дією гарячого теплоносія.

4. Розробка інженерної методики розрахунку термо-та гідродинамічних умов обробки гранул аміачної селітри з метою створення в них пористого середовища.

5. Дослідно-промислове впровадження розроблених рекомендацій щодо обробки гранул аміачної селітри та отримання пористої структури гранул.

Об'єктом дослідження є процес впливу потоку теплоносія на зволожені гранули аміачної селітри.

Предмет дослідження – термо-та гідродинамічні чинники, що впливають на процес формування у гранулах аміачної селітри пористої структури.

Наукова новизна одержаних результатів.

- вперше було проведене моделювання термо-й гідродинамічних умов створення пористої структури в суцільній гранулі після її обробки вологим середовищем;

- запропонована фізична й математична моделі, що дають пояснення процесу формування пористої структури у попередньо сформованій гранулі;

- за результатами експериментальних досліджень вперше отримано гідро-та термодинамічні характеристики режимів обробки гранул з метою створення в них пористої структури

- вивчено властивості пористої аміачної селітри за умови отримання пористої структури із суцільної гранули.

Практичне значення одержаних результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень впливу термодинамічних і гідродинамічних умов на структуру одержуваних гранул, пошуку шляхів керування структурою гранул, за рахунок підбору термодинамічних і гідродинамічних режимів у робочій зоні гранулятора, розроблено методику розрахунку процесу утворення пористої структури гранул аміачної селітри. Визначено термо-й гідродинамічні параметри та умови здійснення такого процесу, що дозволило розробити нові способи гранулювання та нові конструкції грануляторів з використанням вихрових потоків. На основі комплексу експериментальних досліджень фізичних явищ, які відбуваються в гранулі в період формування пористої структури, та фізичних властивостей отриманих пористих гранул визначено основні напрями впливу на процес утворення пор у гранулі з метою досягнення запланованих якісних показників готового продукту та результати роботи впроваджені на РКХЗ “Зоря” при проектуванні лінії виробництва ПАС.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає в проведенні фізичного й математичного моделювання процесів, що протікають у момент формування пористої структури в гранулі, у підборі й апробації методик експериментальних досліджень одержання пористої гранули, конструюванні експериментального устаткування, узагальнення отриманих результатів. Постановка завдання й формування висновків проводилися під керівництвом наукового керівника д.т.н. професора Склабінського В.І. Здобувач брав участь на всіх стадіях науково-дослідних робіт. Про всі результати, які становлять основний зміст дисертаційної роботи, особисто доповідалися на науково-технічних і науково-практичних конференціях. Отримані результати дозволили в співавторстві одержати деклараційні патенти України й Росії на нові способи й пристрої.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету СумДУ (м. Суми, 2004 р.), на VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Технологія 2005» у Технологічному інституті Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Северодонецьк, 2005 р.), на науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету СумДУ (м. Суми, 2005 р.), на XI Міжнародній науковій конференції “Удосконалення процесів та обладнання харчових і хімічних виробництв” (м. Одеса, 2006 р.), на IX Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Технологія 2006» у Технологічному інституті Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Северодонецьк, 2006 р.), на III Українській науково-технічній конференції “Сучасні проблеми технології неорганічних речовин” (м. Дніпропетровськ, 2006 р.), на X Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Технологія 2007» у Технологічному інституті Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Северодонецьк, 2007 р.), на науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету СумДУ (м. Суми, 2007 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 14 наукових працях, з них 4 статті в наукових журналах, 8 публікацій тез доповідей у матеріалах та працях конференцій. Отримано 1 деклараційний патент на винахід України та 1 деклараційний патент на винахід Росії.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел з 91 найменувань, додатків. Повний обсяг дисертації становить 142 сторінки, серед яких 130 сторінок основного тексту, 19 таблиць, 50 ілюстрацій.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі досліджень, їх практичне значення та наукова новизна, наведено дані про апробацію роботи, публікації, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі на основі огляду літературних джерел та проведеного патентного пошуку, проаналізовано сучасний стан та шляхи розвитку гранулювання і грануляційного обладнання. Розглянуто конструкції грануляційних веж та грануляторів, класифікацію гранулометричного складу та методи отримання гранульованих продуктів, у тому числі й пористих.

Виявлені та обґрунтовані недоліки способу гранулювання у вежах. Також описані недоліки застосування звичайної гранульованої аміачної селітри для приготування простих вибухових речовин. Розглянуто чому для цих потреб доцільніше використовувати пористу аміачну селітру. Проведено аналіз існуючих математичних моделей розрахунку основних термодинамічних та гідродинамічних

параметрів при яких утворюється звичайна гранула, однак для розрахунку необхідних параметрів для отримання гранули пористої структури немає.

Застосування нових способів отримання гранул пористої структури та нових пристроїв, дає можливість утворити гранулу з необхідною пористою структурою, а також потрібними фізичними та механічними властивостями. Гранулювання безбаштовим способом, при будівництві нових виробництв, дозволяє відмовитись від зведення веж, на будівництво яких потрібні дуже великі кошти.

На підставі розглянутих способів гранулювання, а також методик розрахунку необхідних для отримання гранули із заданою структурою та фізичними властивостями виявлено доцільність проведення досліджень по вивченню чинників що впливають на процес створення пористої гранули, а також створення надійної розрахункової методики потрібних параметрів.

У другому розділі наведені методика та основні методи дослідження. Основна мета досліджень – створення науково обґрунтованої методики розрахунку термодинамічних та гідродинамічних чинників в робочій зоні грануляційного пристрою, які впливають на утворення заданої пористої структури у гранулі, а також на інші властивості гранули (міцність, вбираюча здатність гранул стосовно рідкого палива, пористість гранул). Математичне моделювання здійснювалось на базі класичних положень термодинаміки та гідродинаміки. Вирішення рівнянь математичної моделі здійснено за допомогою комп'ютерної системи математичних розрахунків Maple 9.

Фізичні експерименти проведено шляхом експериментальних досліджень на лабораторних установках та виконані на базі використання математичного апарату планування експерименту.

Визначення похибки вимірів та результатів розрахунку основних термодинамічних та гідродинамічних характеристик в робочій зоні експериментальних апаратів базується на загальноприйнятих методиках та рекомендаціях щодо проведення інженерного експерименту та обробки отриманих даних.

У третьому розділі проведено математичне моделювання термо-й гідродинамічних умов створення пористої структури в гранулі.

Основний напрямок створення пористої структури у вже сформованій гранулі ґрунтується на способах, в основі яких лежить видалення вологи або інших газоутворюючих домішок з матеріалу гранули. Причому цей процес повинен протікати дуже інтенсивно, щоб волога, що видаляється у вигляді пари або газів (якщо це газоутворюючі домішки), при виході із гранул утворювала пори, тобто розгалужену мережу капілярів.

У загальному виді цей процес одержання пористої структури можна розбити на наступні стадії:

- насичення (зволоження) гранули рідким наповнювачем. Найпростіший спосіб - це зволоження гранул водою. На цій стадії необхідно визначити такі параметри як: вологовміст повітря навколишню гранулу й час перебування гранули у вологому середовищі (від цього залежить вологовміст гранул, розподіл вологи

уздовж радіуса гранули, а так само й зменшення міцності гранули й, як наслідок, можливе її руйнування);

- транспортування вологих гранул у зону видалення вологи, що і є зоною формування пористої структури в гранулі;

- видалення гранул із зони формування пористої структури.

Гранула являє собою кулясте тіло з порами (рис. 1), характерним розміром якого є радіус гранули R і з погляду врахування фізико-хімічних властивостей у розрахунках - склад речовини гранули (у тому числі вологовміст).

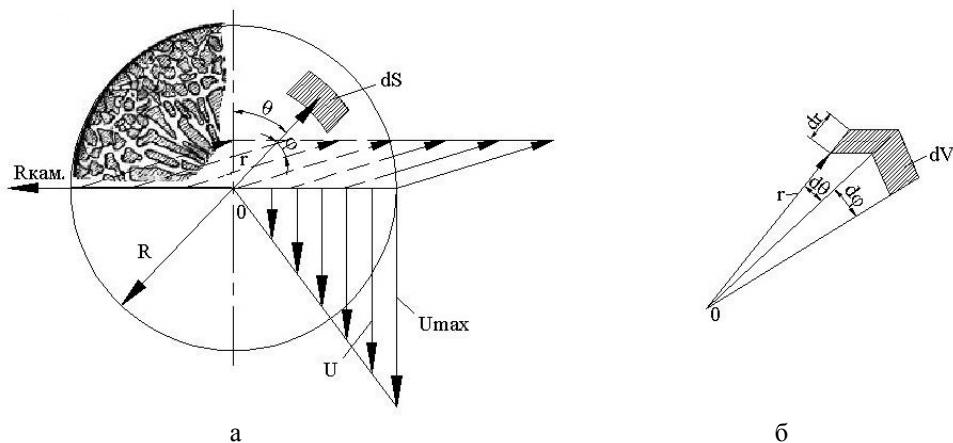


Рис. 1 – Схема розподілу вологи в гранулі й вплив газового потоку на гранулу: а - основні геометричні параметри гранули; б - до визначення величини елемента об'єму dV усередині гранули.

З метою опису впливу термодинамічних параметрів потоку газу на зволожену гранулу була розроблена фізична модель, в основу якої покладені наступні допущення:

- для всієї сукупності гранул, що перебувають у робочій зоні деякий діаметр гранул є визначальний, тобто формування пористої структури гранул, які мають такий діаметр, в основному й визначає пористу структуру всього потоку гранул;

- гранула обмивається потоком газу (повітря), що має постійну температуру. Звідси з достатнім ступенем точності можна припустити, що температура поверхні гранули за увесь час перебування в робочій зоні буде постійною;

- у зв'язку з тим, що гранула має малі розміри від 1 мм до 4 мм, а більшу частину промислового виробництва становлять гранули розміром від 2 мм до 3 мм, можна припустити, що у зв'язку з гігроскопічністю гранул процес зволоження гранул необхідно зводити до мінімуму, а це дозволяє припустити, що насичення вологою відбувається за лінійним законом уздовж радіуса;

- основна маса вологи, що перебуває усередині гранули, переходить у пароподібний стан_передаючи елементарному об'єму dV , що перебуває усередині гранули і яка має масу dm , кількість тепла $dQ_k = i dW$ (де i - питома теплота паротворення, W - маса вологи в елементарному об'ємі dV). При цьому до виділеної маси вологи вже підведено тепло в кількості $dQ_k = C(tk - tn)dm$ (де C - теплоємність; tk і tn - температура кінцева й початкова температура, за якої починається процес обробки гранули);

- пороутворення починається послідовно від верхнього шару й фронт пороутворення рухається уздовж радіуса гранули до її центра являючи собою сферичну поверхню;

- волога, що випаровується, безперешкодно видаляється із гранули через утворені пори в попередніх шарах речовини (ці шари розташовуються ближче до поверхні гранули) з якого складається гранула.

- об'єм утворених у гранулі пор порівняно з об'ємом пар вилученої вологи і непрямим обґрунтуванням чого може служити те, що утримуюча здатність гранул більше значення вологовмісту.

Виходячи з вищевказаних припущень, вважаємо гранулу суцільним кулястим тілом. Розподіл температур у такому тілі описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{d}{d\tau}(rT(r, \tau)) = a \left(\frac{d^2}{dr^2}(rT(r, \tau)) \right). \quad (1)$$

Початкова умова наступна:

$$\tau = 0, T(r, 0) = T_0,$$

де r - поточне значення радіуса, a - коефіцієнт температуропровідності.

Рішенням цього рівняння буде

$$T(r, t) = T_C - (T_C - T_0) \left(\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2(\sin(\mu_n) - \mu_n \cos(\mu_n))R \sin\left(\frac{\mu_n r}{R}\right) e^{\left(\frac{\mu_n^2 a \tau}{R^2}\right)}}{(\mu_n - \sin(\mu_n) \cos(\mu_n))r \mu_n} \right) \right). \quad (2)$$

Даний вираз дозволяє провести аналіз часу перебування гранул у гарячому потоці газу (повітря), що має температуру 100 °С, з метою досягнення заданої температури, аж до повного прогріву гранули до центра. На рис. 2. наводиться приклад розрахунку розподілу температур для гранули діаметром 1 мм, і часу прогріву 4, 5, 6 сек. Тут перша лінія відповідає тривалості прогріву 4 секунди, друга - 5 сек., а третя - 6 секунд.

Розрахунки проводилися для гранул аміачної селітри радіусом 1 мм із умови, що основна маса речовини, з якого складається гранула - це NH_4NO_3 теплоємністю $C_p = 1,625$ кДж/кг·К, щільністю $\rho = 0,7$ кг/м³.

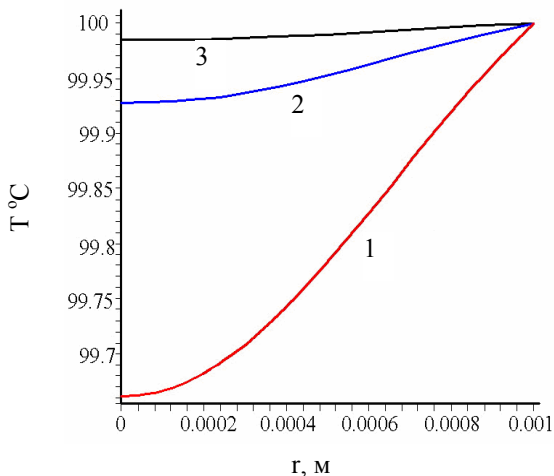


Рис 2 – Розподіл температур для гранули діаметром 1 мм. 1, 2, 3 – розподіл температур через відповідно 4, 5, 6 сек. після миттєвого повного нагрівання поверхні стінки гранули до $T = 100$ °С, при цьому початкова температура гранули 20 °С.

Аналогічні розрахунки можна провести й для процесу охолодження:

$$T(r, \tau) = T_C + (T_0 - T_C) \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^{(n+1)} R \sin\left(\frac{\mu_n r}{R}\right) e^{\left(\frac{\mu_n^2 a \tau}{R^2}\right)}}{\mu_n \pi} \right) \quad (3)$$

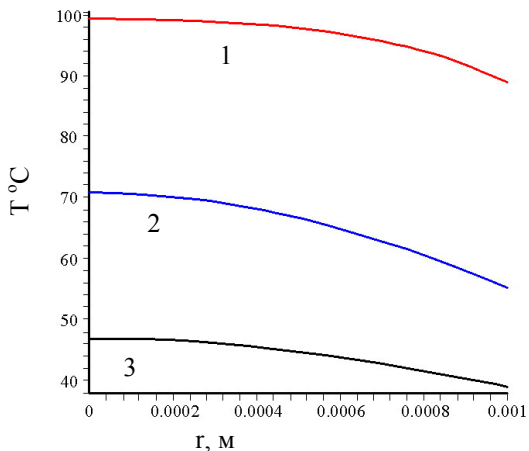


Рис.3 – Зміна температури уздовж радіуса гранули діаметром 2 мм 1, 2, 3 - розподіл температур через відповідно 1 - ї, 3 - ї і 5-ти секунд знаходження гранули в потоці гарячого теплоносія.

Проводячи аналіз теплового впливу за допомогою формули (3) на гранулу радіусом 1 мм, можна одержати зміну температури уздовж радіуса після закінчення 1 - ї, 3 - ї і 5 - ти секунд знаходження гранули в потоці гарячого теплоносія, що має температуру 100 °С, рис. 3.

Розрахунки наведені для умови, за якої навколишня температура повітря 25 °С і початкова температура гранули 100 °С.

Розподіл локальних концентрацій вологи усередині гранули:

$$U(r, \tau) = U_p + (U_0 - U_p) \left(\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2(\sin(\mu_n) - \mu_n \cos(\mu_n))R \sin\left(\frac{\mu_n r}{R}\right) e^{\left(\frac{\mu_n^2 m \tau}{R^2}\right)}}{(\mu_n - \sin(\mu_n) \cos(\mu_n))r \mu_n} \right) \right), \quad (4)$$

де U_0 - початковий вологовміст; U_p - рівноважне значення вологовмісту.

Визначення кількості тепла $Q_{ГП}$, що підводиться до однієї гранули:

$$\begin{aligned} Q_{ГП} = & \frac{1}{15(\rho_B + U_{\max} \rho_{ГП} - U_{\max} \rho_B)} (\rho_{ГП} R^3 (3U_{\max}^2 \rho_{ГП} C_{ГП} (t_K - t_H) - \\ & - 3U_{\max}^2 \rho_{ГП} (t_K - t_H) C_B - 3U_{\max}^2 \rho_{ГП} i - 3U_{\max}^2 C_{ГП} (t_K - t_H) \rho_B + \\ & + 3U_{\max}^2 (t_K - t_H) C_B \rho_B + 3U_{\max}^2 i \rho_B - 15(t_K - t_H) C_B U_{\max} \rho_B - 15i U_{\max} \rho_B - \\ & - 5C_{ГП} (t_K - t_H) U_{\max} \rho_{ГП} - 20C_{ГП} (t_K - t_H) \rho_B + \\ & + 20C_{ГП} (t_K - t_H) U_{\max} \rho_B) \pi) \end{aligned} \quad (5)$$

Отримане рівняння (5) дозволяє визначити кількість тепла, необхідне для видалення вологи із гранули з одночасним її випаром, що сприяє утворенню у гранулі пористої структури.

Звичайно основним завданням виробництва пористих гранул є забезпечення заданої величини порозності “ ε ”.

$$\varepsilon = (V_{ГП} - V_M) / V_{ГП}, \quad (6)$$

де $V_{ГП}$ й V_M – відповідно об'єми гранули й матеріалу, з якого складається гранула.

Визначення маси гранули у будь-який момент часу в процесі сушіння

$$\begin{aligned} Mg(\tau) = & \frac{4}{3} \rho_s \pi R^3 \times \\ & \times \left(1 + \frac{\int_0^R U_p + (U_0 - U_p) \left(\frac{2R \sin\left(\frac{\pi r}{R}\right) e^{\left(\frac{-\pi^2 m \tau}{R^2}\right)} - R \sin\left(\frac{2\pi r}{R}\right) e^{\left(\frac{-4\pi^2 m \tau}{R^2}\right)} \right) dr}{R} \right) + \end{aligned}$$

$$+ 2R \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(\sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right) (-\sin(n\pi) + n\pi \cos(n\pi)) e^{\left(-\frac{n^2 \pi^2 m \tau}{R^2}\right)} \right)}{(n\pi - \sin(n\pi) \cos(n\pi)) n} \right) U_p dr \quad (7)$$

У четвертому розділі висвітлені результати експериментальних досліджень термодинамічних показників, які впливають на фізичні властивості гранул.

Було проведено такі основні експериментальні дослідження, як визначення часу перебування гранул у вологому повітрі, сушіння гранул у статичних умовах, сушіння гранул в умовах псевдозрідженого шару.

Після проведення серії досліджень по зволоженню гранул на рис.4 показані графічні залежності часу зволоження від кінцевого вологовмісту для гранул аміачної селітри при температурі в робочій зоні 20 °С і при витратах повітря 0,015 і 0,02 м³/с, що відповідає швидкості обтікання гранул 1,9 м/с і 2,55 м/с, та числу Рейнольдса Re = 272,3 і 365,5.

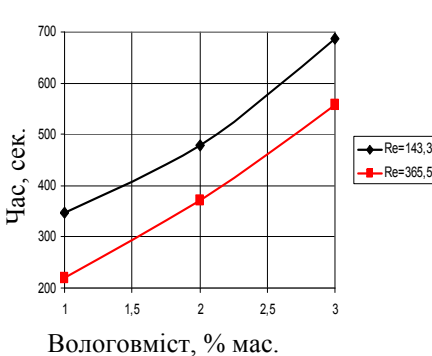


Рис. 4 – Залежність вологовмісту від часу зволоження при температурі 20 °С.

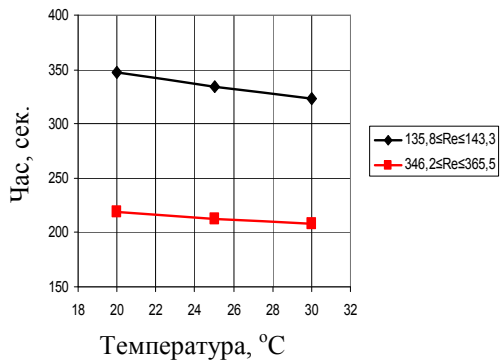


Рис. 5 – Залежність часу зволоження від температури при кінцевому вологовмісті гранул 1 %.

На рис. 5 показано залежності часу зволоження від температури в робочій зоні при витратах повітря 0,015 і 0,02 м³/с, що відповідає швидкості обтікання гранул 1,9 м/с і 2,55 м/с, для гранул з кінцевим вологовмістом 1 % мас. Отримано залежності часу зволоження від температури в робочій зоні для гранул з кінцевим вологовмістом 2 і 3 % мас.

Також отримано залежності часу зволоження від кінцевого вологовмісту для гранул аміачної селітри при температурі в робочій зоні 25, 30 оС і при витратах повітря 0,015 і 0,02 м³/с, що відповідає швидкості обтікання гранул 1,9 м/с і 2,55 м/с, та числу Рейнольдса Re = 264,9 і 355,6 при 25 оС, та Re = 258,0 і 346,2 при 30 °С.

Дослідження по сушінню гранул у статичних умовах проводилися при температурах в апараті 125 – 135 °С і початковому вологовмісті гранул, що задається з точністю 0,5 % мас. у діапазоні 1 – 3 % мас. На (рис. 6) представлені графіки вологовмісту матеріалу, що показують залежність від часу сушіння для гранул з початковим вологовмістом 2 % мас. Аналогічні залежності отримано й для гранул з початковим вологовмістом 1 і 3 % мас.

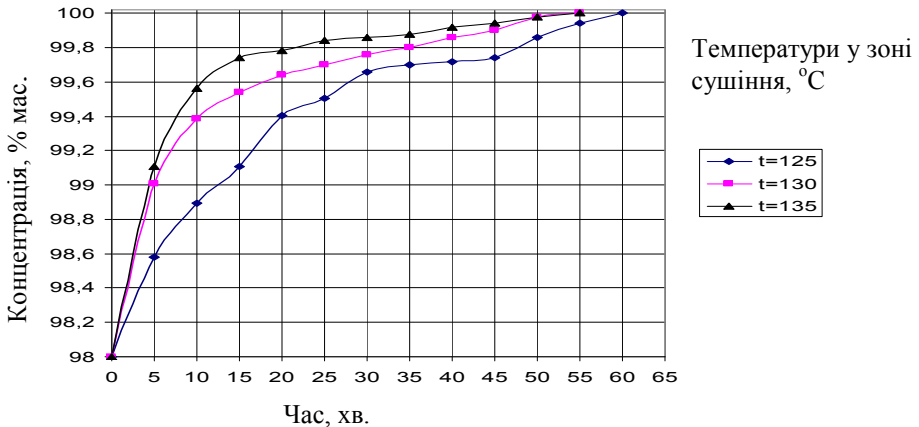


Рис. 6 – Залежність вологовмісту висушуваного матеріалу від часу сушіння, початковий вологовміст матеріалу 2 %.

Отримані графіки для випадку нагрівання в стаціонарних умовах з достатньою для інженерного розрахунку точністю інтерполюються наступною залежністю:

$$X = \frac{[0,0382t + (X_0 - 4,85)]\tau^{0,0087}}{\tau^{0,00003t}}, \quad (8)$$

де X_0 – початкова концентрація гранули по твердій речовині, що надходить на нагрівання, t – температура в зоні сушіння, τ - час сушіння, X - концентрація гранули по твердій речовині.

Експериментальне моделювання процесу сушіння аміачної селітри в газовому потоці необхідно для визначення часу сушіння при різних термодинамічних параметрах.

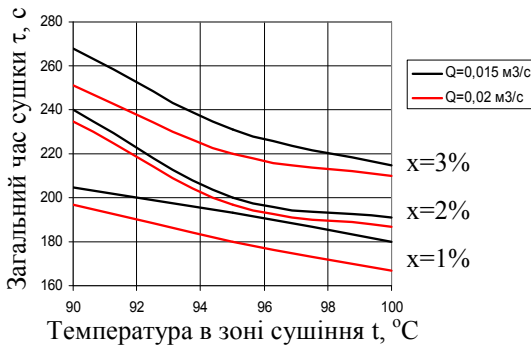


Рис. 7 – Залежності часу сушіння від температури в зоні сушіння для гранул з різними початковими вологовмістами.

Після проведення серії досліджень отримані залежності часу сушіння від температури в зоні сушіння для гранул з початковим вологовмістом 1, 2 і 3 % мас. при витратах повітря 0,015 і 0,02 м³/с, які показані на рис. 7.

Гранули досліджувалися на механічну міцність, всмоктуючу здатність, а так само визначалася пористість гранул.

На рис. 14 наведена залежність міцності гранул від початкового вологовмісту гранул і температур у зоні сушіння.

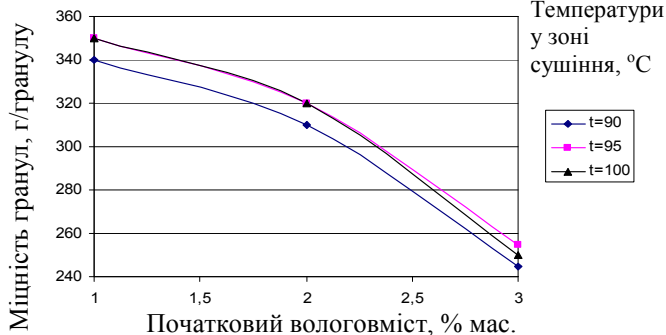


Рис. 8 – Залежність міцності гранул від початкового вологовмісту гранул і температур у зоні сушіння.

На рис. 9 показана залежність вбираючої здатності гранул від початкового вологовмісту гранул і температур у зоні сушіння.

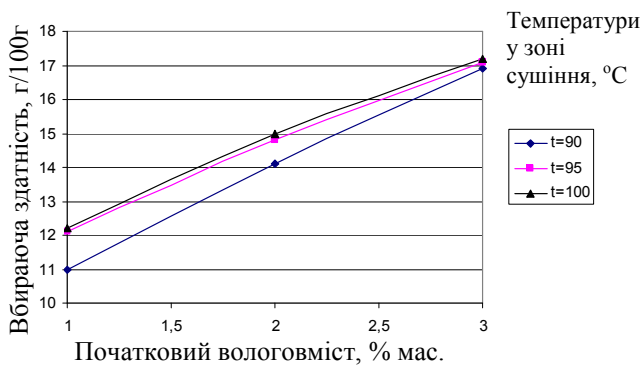


Рис. 9 – Залежність вбираючої здатності гранул від початкового вологовмісту гранул і температур у зоні сушіння.

Розглянувши графік, наведений на рис. 16, можна зробити висновок, що залежність пористості гранул від початкового вологовмісту майже лінійна, особливо для гранул, висушуваних при температурах 90 оС і 95 оС.

Підвищення вбираючої здатності гранул з підвищенням початкового вологовмісту пояснюється тим, що волога, потрапляючи в гранулу, розчиняє деяку кількість речовини, що формує гранулу (нітрат амонію) і потім, випаровуючись, утворює порожнечі (пори). Внаслідок цього вбираюча здатність гранул аміачної селітри підвищується (рис. 15), однак міцність таких гранул не висока, що показано на рис. 14, через численні порожнечі, що утворилися усередині гранули.

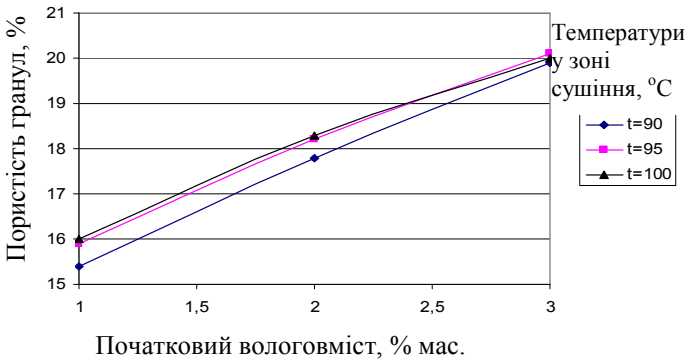


Рис. 10 – Залежність пористості гранул від початкового вологовмісту гранул і температур у зоні сушіння.

Для одержання розподілу температур по перетину гранули, без урахування специфіки охолодження матеріалу та додаткового виділення або поглинання тепла, може бути використано програмний комплекс Flow Vision 2003 demo. У результаті застосування даного програмного комплексу були отримані дані розподіли температур по гранулі в протягом певного часу.

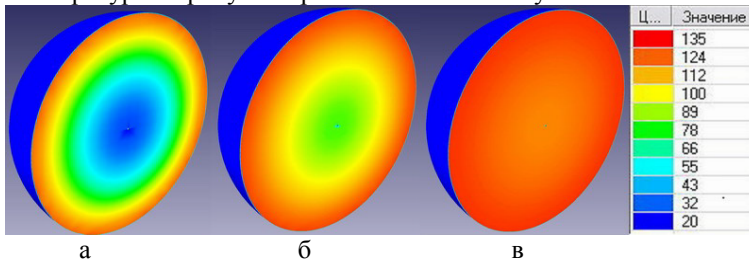


Рис. 11 – Термограми; а - через 60 сек.; б - через 120 сек.; в - через 180 сек.

На рис. 11 наведена графічна інтерпретація розрахунку в програмному комплексі Flow Vision 2.2. Наведені термограми показують як із часом прогривається гранула, тобто температура на поверхні постійна й дорівнює 130 оС. Однак характер кривої розподілу температур F, отриманої в даному програмному комплексі не відповідає практичним даним (рис.12) і результатам розрахунку на наведеній вище моделі (рис.12), і може служити лише для наочної ілюстрації динаміки прогріву сфери. Для практичних розрахунків варто використати рівняння розглянутої в роботі моделі.

Як приклад на рис. 12 наведені криві, які базуються на розрахунках, що показують зміну температур у центрі гранули аміачної селітри із часом. Крива x0 відповідає режиму нагрівання суцільного сухого твердого тіла без обліку тепла модифікаційних перетворень. Криві x1, x2, x3, x4, x5, x6 характеризують зміну температури з урахуванням кількості вологи у гранулі відповідно 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%, 3,0% і урахуванням тепла модифікаційних перетворень аміачної селітри в межах робочих температур.

Крива F на рис. 12 показує залежність зміни температури в центрі гранули від часу згідно з режимом нагрівання суцільного сухого твердого тіла без урахування тепла модифікаційних перетворень.

Таким чином аналіз проведених експериментальних досліджень та одержаних залежностей показує, що знаючи початковий вологовміст гранули та температурний режим, при якому відбувається видалення вологи із гранули, можна визначити час перебування в зоні сушіння з метою видалення певної кількості вологи із гранули й забезпечення заданої пористої структури гранули. Крім цього експериментальні дані показують (рис.12), що якщо час перебування наближається до певної межі, то інтенсивність сушіння починає зменшуватись, на що вказує пологий характер кривих сушіння. Тому даний комплекс досліджень дозволив отримати результати, на основі яких можна визначити оптимальний час сушіння, що дає можливість заощадити значну кількість енерговитрат на сушіння.

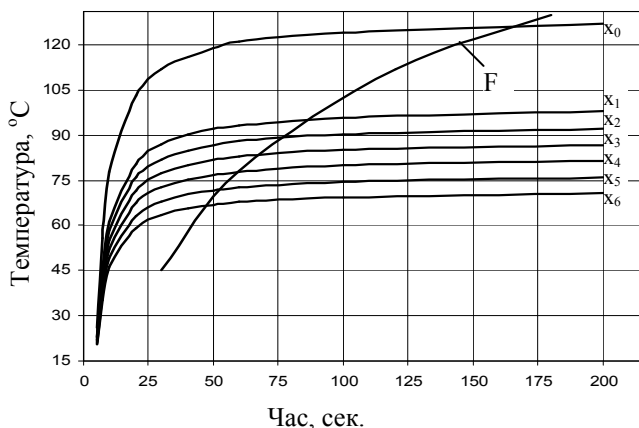


Рис. 12 – Залежність зміни температури від часу.

Для перевірки справедливості теоретичних досліджень було проведено їхній порівняльний аналіз із результатами експериментальних досліджень, який наведено на рис. 13 та у таблиці 1.

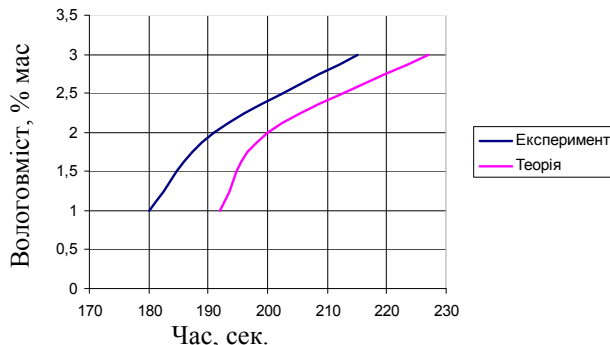


Рис. 13 – Зіставлення результатів.

Зіставлення результатів

Час сушіння визначений експериментально, сек.	Початковий вологорміст, % мас.	Час сушіння визначений теоретично, сек.	Погрішність, %
180	1	192	6,25
191	2	200	4,5
215	3	227	5,3

У п'ятому розділі описано спосіб гранулювання з розплавів, розчинів і суспензій, а також розроблений вихровий гранулятор.

Спосіб гранулювання розплавів, розчинів і суспензій, який включає розпилення рідкого матеріалу в робочому об'ємі додаткового конуса, розташованого усередині вертикального конічного корпусу, у зустрічному вихровому потоці теплоносія, охолодження й кристалізацію його, класифікацію гранул, що кристалізувалися, у цьому ж об'ємі осесиметричним вихровим потоком на велику й дрібнофракції з відводом дрібної фракції з нього в кільцевий конічний простір пристрою, створений між бічними поверхнями додаткового конуса й вертикального конічного корпусу пристрою, з наступним підведенням її назад у робочий об'єм для дорощування гранул і відвід великої фракції гранул із пристрою, що відрізняється тим, що підведення дрібної фракції з кільцевого конічного простору в робочий об'єм додаткового конуса здійснюють унизу центральної частини в осі додаткового конуса.

На рис. 14 показана принципова схема вихрового апарата для гранулювання плаву аміачної селітри.

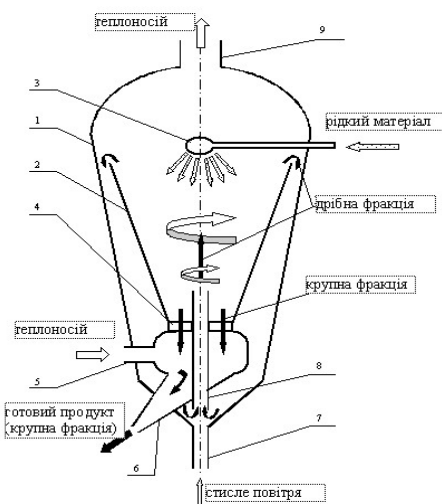


Рис. 14 – Принципова схема пристрою вихрового гранулятора.

На цьому грануляторі проводився наробіток пробної партії пористої аміачної селітри. Отриманий продукт відповідав ДСТУ 2-85 а також ТУ 2143-036-00203789-2003 на пористу аміачну селітру.

У шостому розділі описано впровадження дослідно-промислової установки отримання пористої аміачної селітри.

Принципова технологічна схема стадії гранулювання при використанні як вихідна сировина розчину аміачної селітри наведена на рис.15.

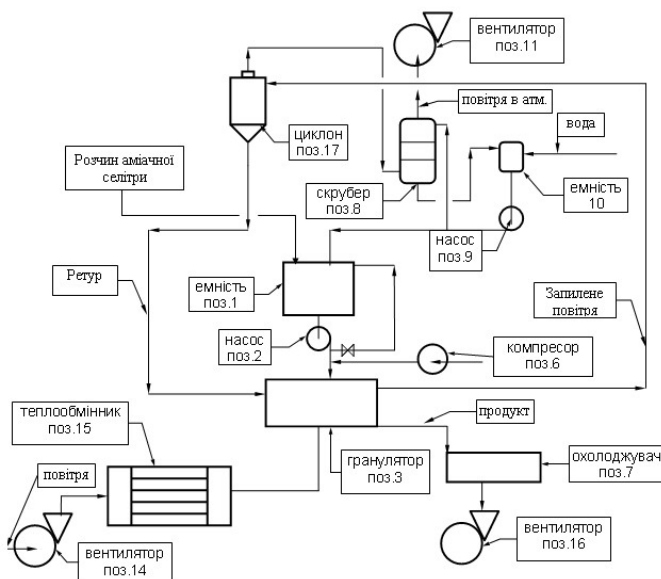


Рис. 15 – Принципова технологічна схема стадії гранулювання.

Розроблена конструкція високоефективного вихрового гранулятора є оригінальним науково-технічним рішенням, що не має аналогів у вітчизняній практиці, а подальше її впровадження дозволило приступити до створення промислових виробництв.

Процес одержання гранульованої аміачної селітри проводиться в апараті комбінованого типу при нанесенні на тверді частки ретура краплі плаву з одночасною їхньою кристалізацією.

У випадку використання як сировина товарної аміачної селітри сільськогосподарського призначення (без поверхневої обробки протизлежучими домішками) або рідкого плаву аміачної селітри – у випадку прив'язки до великотоннажного промислового виробництва, з технологічної схеми виробництва ПАС, можуть бути виключені стадії нейтралізації азотної кислоти та донейтралізації розчину аміачної селітри.

ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу конструкцій грануляторів, грануляційних веж, способів одержання пористих гранул, виявлені недоліки існуючих гранулювальних пристроїв і способів грануляції, для створення пористої структури у сформованих гранулах, також визначені перспективні напрямки одержання пористої структури в гранулі.

2. Проведено моделювання термо-й гідродинамічних умов створення пористої структури в гранулі, описана і запропонована фізична й математична моделі, що показують, як відбувається формування пористої структури. Розроблені фізична й

математична моделі дозволяють створити інженерний метод розрахунку технологічного процесу одержання пористої аміачної селітри із сформованої суцільної гранули.

3. Експериментально досліджені процеси видалення вологи із гранули аміачної селітри в статичних і динамічних умовах, отримані термодинамічні й гідродинамічні характеристики процесу на експериментальних стендах.

4. Розроблено методику розрахунку основних характеристик термо-й гідродинамічних режимів.

5. Запропоновано нові способи гранулювання й нові конструкції грануляторів, які захищені деклараційними патентами України.

6. Проведено впровадження нових способів гранулювання в дослідно-промисловій установці одержання пористої аміачної селітри безбаштовим методом.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кочергін М.О. Виробництво пористої аміачної селітри у вихровому потоці / Кочергін М.О., Склабінський В.І. // Вісник Сумського державного університету. — 2004. — №13(72). — с. 89-92. — Особистий внесок здобувача полягає в описі недоліків існуючих виробництв гранульованої аміачної селітри, а також самої гранульованої аміачної селітри, показані переваги способу одержання пористої аміачної селітри у вихровому потоці, а також самої пористої аміачної селітри.

2. Склабінський В.І. Гранульована аміачна селітра. Швидкість видалення вологи / Склабінський В.І., Кочергін М.О. // Хімічна промисловість України. — 2006. — №4(75). — с. 21-23. — Особистий внесок здобувача полягає в описі експерименту по видаленню вологи із гранули й визначенню швидкості сушіння, у результаті якого були отримані гранули пористої структури.

3. Склабінський В.І. Вплив температури навколишнього середовища на створення граул пористої структури / Склабінський В.І., Кочергін М.О.// Хімічна промисловість України. — 2007. — №3(80). — с. 22-24. — Особистий внесок здобувача полягає в приведенні даних експеримента, метою якого було дослідження процесу проникнення тепла в гранулу, а так само вплив температури навколишнього середовища на створення гранул пористої структури.

4. Кочергін М.О. Моделювання процесу видалення вологи із гранули з метою створення пористої структури / Кочергін М.О., Склабінський В.І. // Вісник Сумського державного університету. — 2007. — №3. — с. 39-44. — Особистий внесок здобувача полягає в розробці математичної моделі процесу видалення вологи із гранули з метою створення пористої структури.

5. Кочергін Н.А., Склабинский В.И. Выбор способа гранулирования пористой аммиачной селитры // Материалы научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета. — Сумы: Изд-во СумГУ, 2004. — Вып. 4. — С. 110. — Особистий внесок здобувача полягає в аналізі вибору способу гранулювання пористої аміачної селітри.

6. Кочергин Н.А., Склабинский В.И. Разработка новых способов получения гранул пористой структуры // Технология 2005. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих

вчених. — Северодонецьк, 2005. — с.93. — Особистий внесок здобувача полягає в аналізі нових способів отримання гранул пористої структури.

7. Кочергин Н.А., Склабинский В.И. Механизм образования гранул пористой структуры // Материалы научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета. — Сумы: Изд-во СумГУ, 2005. — Вып. 7. — с. 32. — Особистий внесок здобувача полягає в аналізі механізму утворення гранул пористої структури.

8. Кочергин Н.А., Склабинский В.И. Определение термодинамических условий для образования гранулы пористой структуры // Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій. — Одеса, 2006. — Вип.28. — Т.2— с.15. — Особистий внесок здобувача полягає в аналізі термодинамічних умов для утворення гранули пористої структури.

9. Кочергин Н.А., Склабинский В.И. Экспериментальные исследования получения гранул пористой структуры // Технологія 2006. Збірник тез доповідей ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. — Северодонецьк, 2006. — с.44. — Особистий внесок здобувача полягає в проведенні експериментальних досліджень отримання гранули пористої структури.

10. Кочергин Н.А., Склабинский В.И. Определение термодинамических условий для образования пористой гранулы аммиачной селитры // Матеріали ІІІ Української науково-технічної конференції “Сучасні проблеми технології неорганічних речовин” Дніпропетровськ, 2006. — с. 18. — Особистий внесок здобувача полягає в обробці результатів експерименту.

11. Кочергин Н.А., Склабинский В.И. Капиллярные силы в грануле пористой структуры // Технологія 2007. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. — Северодонецьк, 2007. — с.26. — Особистий внесок здобувача полягає в аналізі капілярних сил в гранулі пористої структури.

12. Кочергин М.О., Склабинський В.І. Вплив вологовмісту гранул аміачної селітри на їх міцність // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів інженерного факультету. — Суми: Вид-во СумДУ, 2007. — Вип. 9. — с.68. — Особистий внесок здобувача полягає в аналізі впливу початкового вологовмісту гранул аміачної селітри на їх міцність.

13. Декл. пат. № 69624 UA, МКІ В01J2/16. Спосіб гранулювання рідкого матеріалу і пристрій для його здійснення / Склабинський В.І., Маренок В.М., Кочергин М.О. - № 2003109471; заявл. 21.10.2003 ; надрук. 15.09.2004, Бюл. № 9. — Особистий внесок здобувача полягає в розробленні основної ідеї винаходу та проведенні патентного пошуку.

14. Пат. № 2232628 RU, МПК В01J2/16. Способ гранулирования жидкого материала и устройство для его осуществления / Калужников В.В., Склабинский В.И., Кочергин А.Н., Модестов В.Б., Кочергин Н.А., Чернышов А.Н.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Лаборатория РМ НПО СОКБА (RU). - № 2003111844; заявл. 23.04.2003 ; опубл. 20.07.2004, Бюл. № 20. — Особистий внесок здобувача полягає в розробленні основної ідеї винаходу та проведенні патентного пошуку.

АНОТАЦІЯ

Кочергін М.О. Гідро-та термодинамічні умови формування пористої структури гранул аміачної селітри. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Сумський державний університет, 2010.

Дисертаційна робота присвячена визначенню термо-та гідродинамічних чинників, за допомогою яких стає можливим створити пористу структуру у попередньо сформованій гранулі аміачної селітри, та розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо проведення цього процесу у робочій камері вихрового гранулятора. Проведене моделювання термо-й гідродинамічних умов створення пористої структури в суцільній гранулі після її обробки вологим середовищем. Запропонована фізична й математична моделі, що дають пояснення процесу формування пористої структури у попередньо сформованій гранулі. За результатами експериментальних досліджень отримано гідро-та термодинамічні характеристики режимів обробки гранул з метою створення в них пористої структури. Вивчено властивості пористої аміачної селітри за умови отримання пористої структури із суцільної гранули.

Ключові слова: пориста аміачна селітра, час сушіння, гранулятор, зволоження, вологовміст, випар вологи.

АННОТАЦИЯ

Кочергин Н.А. Гидро и термодинамические условия формирования пористой структуры гранул аммиачной селитры. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 - процессы и оборудования химической технологии. - Сумской государственной университет, 2010.

Задачей данной работы является изучение условий получения гранул с задаваемой структурой и разработка физической и математической моделей, описывающих их формирование.

Одним из востребованных гранулированных продуктов пористой структуры является пористая аммиачная селитра (ПАС). Поэтому, принимая в данной работе аммиачную селитру как модельный продукт для изучения процессов гранулирования, одновременно решается и практическая задача – создание расчетной методики для промышленных способов получения ПАС.

Определение термо-и гидродинамических параметров, которые влияют на пористость гранул, теоретическим путем усложнено вследствие большого количества факторов влияющих на процесс. Это приводит к необходимости проведения экспериментальных исследований с целью накопления данных о физических явлениях, которые происходят в грануле в период формирования пористой структуры, со следующим созданием инженерной методики расчета.

Установление закономерностей, которым подчиняется процесс испарения влаги из гранулированной аммиачной селитры, необходим для определения оптимальных условий для образования пористой структуры в грануле.

Отсутствие надежных методов получения пористых гранул с требуемыми свойствами для малотоннажных производств ставит задачу разработки новых способов и оборудования для этих целей.

В настоящее время в Украине отсутствуют производства пористой аммиачной селитры, а также нет математической модели которая описывала бы процессы проходящие в грануле в момент ее формирования.

Диссертационная работа посвящена определению термо-и гидродинамических факторов, с помощью которых становится возможным создать пористую структуру в предварительно сформированной грануле аммиачной селитры, и разработка научно обоснованных рекомендаций относительно проведения этого процесса в рабочей камере вихревого гранулятора. Проведено моделирование термо-и гидродинамических условий создания пористой структуры в сплошной грануле после ее обработки во влажной среде. Предложена физическая и математическая модели, которые дают объяснение процесса формирования пористой структуры в предварительно сформированной грануле. По результатам экспериментальных исследований получены гидро-и термодинамические характеристики режимов обработки гранул с целью создания в них пористой структуры. Изучены свойства пористой аммиачной селитры при условии получения пористой структуры из сплошной гранулы.

Ключевые слова: пористая аммиачная селитра, время сушки, гранулятор, увлажнение, влагосодержание, испарение влаги.

ANNOTATION

Kochergin N.A. Hydro and thermodynamic conditions for formation of porous structure of ammonium nitrate prills . – Manuscript.

This thesis is for seeking academic degree of Candidate of Technical Science in specialty 05.17.08 – Processes and equipment of chemical engineering.– Sumy State University, 2010. The thesis is dedicated to determination of thermo-and hydrodynamic factors that make possible to create porous structure in previously formed ammonium nitrate prill as well as to development of scientifically grounded recommendations in relation to running this process in vortical granulator work chamber. The simulation of thermo-and hydrodynamic conditions of porous structure formation in a solid prill after its treatment in humid environment was carried out. The physical and mathematical models that supply an explanation for process of porous structure formation in previously formed prill were proposed. Based on the results of experimental research the hydro and thermodynamic characteristic of prills processing conditions were obtained for the purpose of porous structure formation. The properties of porous ammonium nitrate were studied upon condition of forming porous structure from solid prill.

The key words: porous ammonium nitrate, drying time, granulator, humidification, humidity, water evaporation.