

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра «Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв»

**ЗАСТОСУВАННЯ ВИХРОВИХ І
ВИСОКОТУРБУЛІЗОВАНИХ ПОТОКІВ В
ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ
ВИРОБНИЦТВА АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ**

Конкурсна робота

І Всеукраїнський конкурс

**«МОЛОДЬ І ПРОГРЕС
У РАЦІОНАЛЬНОМУ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ-2015»**

Автори роботи:

Артюхов А.Є., к.т.н., доцент кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв»

Ведмедера В.С., студент кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв»

Кремнев О.В., студент кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв»

Суми, 2015

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Основні методи утилізації відходів виробництва аміачної селітри.....	4
1.1 Застосування вихрових потоків при гранулюванні, класифікація і сепарація гранул.....	4
1.2 Застосування вихрових масообмінних контактних ступенів....	9
1.3 Застосування вихрових сепараторів.....	21
1.4 Застосування вихрових ежекторів.....	23
2 Розробка нових конструкцій вихрових грануляторів та вдосконалення технології одержання гранульованої продукції.....	26
2.1 Нові конструкції грануляторів.....	26
2.2 Приклади технологічних ліній.....	30
Список використаних джерел.....	33

ВСТУП

Проблема екологічної безпеки хімічних виробництв стає все більш актуальною. Основними екологічними проблемами на сучасному етапі розвитку підприємств хімічних і нафто газопереробних виробництв є: забруднення водних об'єктів, атмосферного повітря, збільшення відходів виробництва та споживання і т.п. [1].

Виробництво гранульованих продуктів (у тому числі гранул азотних добрив – аміачної селітри, карбаміду) – великий сектор хімічної промисловості. Поліпшення якості азотних мінеральних добрив і показників по споживанню енергії та екологічної безпеки при їх виробництві до рівня світових вимог – важливе завдання підприємств-виробників. Підвищення показників ефективності виробництв і покращення якості кінцевої продукції йде в двох напрямках: зміна в технології та процесах; підвищення енергетичної та екологічної ефективності основного технологічного обладнання діючих виробництв.

Відходами установок виробництва аміачної селітри є [2,3]:

- газоповітряна дисперсна система, яка містить у своєму складі пил аміачної селітри, оксиди азоту та аміак;
- гранули дрібної фракції, які не можуть бути використані в сільському господарстві.

Основні напрями утилізації відходів виробництва аміачної селітри та обладнання, яке застосовується:

1. Уловлювання дрібної фракції і пилу з подальшим відправленням на приготування розплаву – вихрові пиловловлювачі та сепараційні ступені.
2. Уловлювання аміаку з утворенням аміачної води для потреб виробництва – вихрові контактні тепломасообмінні ступені.
3. Уловлювання дрібної фракції з наступною відправкою на дорощування – відбувається безпосередньо в вихровому грануляторі.
4. Уловлювання нижчих оксидів азоту, до окиснення їх до вищих оксидів, відправка на виробництво азотної кислоти – система «реактор-вихровий ежектор».
5. Термічне розкладання некондиційної аміачної селітри з утворенням нижчих оксидів азоту, доокиснення їх до вищих оксидів, відправка на виробництво азотної кислоти – система «реактор-вихровий ежектор».

Завдання роботи – математичний опис та експериментальне дослідження ефективності вищевказаних методів та обладнання. Результати роботи покладено в основу методики інженерного розрахунку утилізаційного обладнання блоку одержання аміачної селітри з використанням вихрового гранулятора зваженого шару.

1 ОСНОВНІ МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ

1.1 Застосування вихрових потоків при гранулюванні, класифікація і сепарація гранул [4-10]

Серед різноманіття способів інтенсифікації процесів хімічної технології закрутка потоків робочих середовищ є одним з найбільш простих і поширених способів. Це пов'язано з тим, що застосування закручених потоків призводить до поліпшення ефективності тепломасообміну а також вирівнюванню температурних нерівномірностей і стабілізації течій. В грануляторах закручування потоку за допомогою різноманітних пристроїв (завихрювачів) призводить до великомасштабного впливу на всі характеристики поля течії, а, отже, і тепломасообмін. При цьому характерна для закручених течій тривимірність поля швидкості і сумірність тангенціального і осьового компонента швидкості обумовлює формування тривимірного поля тиску з радіальним і поздовжнім градієнтом. Завдяки наявності поперечних складових швидкості - тангенційної і радіальної, посилюється конвективне перенесення імпульсу, енергії і маси і змінюється вихрова структура внутрішніх закручених потоків. З цим і пов'язані такі необхідні в технічних додатках властивості закручених течій, що виражаються в їх здатності інтенсифікувати процеси тепломасообміну, вирівнювати локальні температурні неоднорідності за рахунок конвективного перемішування.

Гранулятори з постійною площею поперечного перерізу не забезпечують в повній мірі процеси класифікації гранул та сепарацію нетоварної фракції в об'ємі гранулятора. Це пояснюється тим, що в робочому просторі вихрового гранулятора зберігається постійність висхідної швидкості газового потоку, яка відповідає робочій швидкості руху гранули (або фракції гранул у вузькому діапазоні). Проводити процеси класифікації гранул в апаратах з постійною площею поперечного перерізу можливо у разі введення газу до апарату кількома потоками з розташуванням місць введення на різних висотних позначках. Такий спосіб класифікації є досить енергоємним та широкого застосування не набув.

Значно більш ефективним методом класифікації твердої фази є використання апаратів із змінною площею поперечного перерізу робочого простору. Завдяки створенню в об'ємі апарату полів складових швидкості руху газового потоку по висоті гранулятора створюється різні гідродинамічні умови для руху гранул. За висотою апарату відбувається розподіл гранул за різного діаметру (за умов, що класифікуються гранули з одного матеріалу) або різної маси (в умовах створення гранул пористої структури або багатошарових гранул) (рисунки 1). Це дозволяє не тільки отримати продукт заданої якості, але й при одночасному проведенні сепарації і гранулюванні змінювати умови гранулоутворення.

Класифікація гранул

Для опису механізму класифікації гранул проведемо аналіз сил, що діють на гранулу в закрученому газовому потоці. У загальному випадку переміщення частинки в газовому потоці викликано дією сил, що діють на поверхню частинки з боку газового потоку (аеродинамічного опору, Архімеда, сила Бассе та ін.), а також масових і зовнішніх сил (тяжіння, відцентрова, Коріоліса, реактивна та ін.). Аналіз величини сил, проведених в [8] показав, що поряд з силою тяжіння F_g на характер переміщення частинки впливають такі сили: аеродинамічного опору F_s , Архімеда F_{Ar} , відцентрова F_c і реакції стінки N (рисунок 2). Іншими силами можна знехтувати.

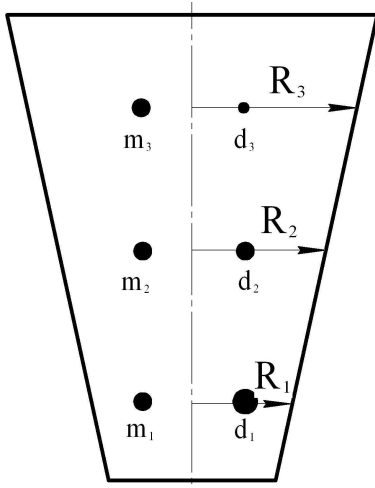


Рисунок 1 — Розподіл гранул за розмірами і масою в робочому просторі вихрового гранулятора $R_1 > R_2 > R_3$; $m_1 > m_2 > m_3$

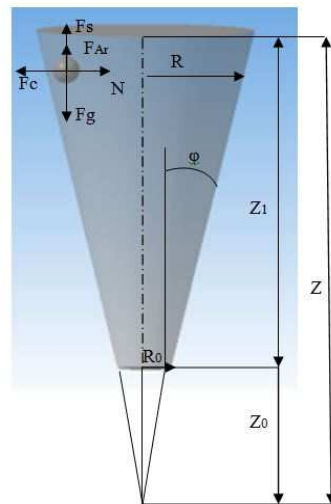


Рисунок 2 – Розрахункова схема робочого простору вихрового гранулятора: Z – загальна висота конуса; Z_0 – висота установки газорозподільного пристрою; Z_1 – висота робочого простору гранулятора; φ – половина кута розкриття конуса; R_0 – радіус газорозподільного пристрою; R – радіус робочого простору.

Для визначення умови рівноваги частинки в газовому потоку розглянемо сили, які діють паралельно осі гранулятора. Такими являються сила тяжіння F_g і сила аеродинамічного опору F_s . Сила Архімеда F_{Ar} внаслідок значної різниці густини газового потоку и частинок значного впливу на осьове переміщення гранул.

Умови рівноваги частинок:

$$F_s = F_g. \quad (1)$$

В загальному випадку залежність для розрахунку сили аеродинамічного опору наводиться у вигляді

$$F_s = \int_s dF_s, \quad (2)$$

де S – площа поперечного перерізу робочого простору гранулятора, m^2 .

Значення dF_s визначається по формулі

$$dF_s = \psi \cdot \frac{\rho_{gas} V_{op}^2}{2} dS,$$

де ψ – коефіцієнт аеродинамічного опору частинки газовому потоку; ρ_{gas} – густина газового потоку, кг/м³; dS – елементарна площа, нормальна до напрямку руху газового потоку, м².

При допущенні про сферичну форму гранули (радіус r) у випадку постійності швидкості V_{op} вздовж радіуса $V_{op} = f(R) = const$ вираз (2) запишеться у вигляді

$$F_s = \psi \cdot \frac{\rho_{gas} V_{op}^2}{2} \cdot \pi r^2. \quad (3)$$

Сила тяжіння, що діє на гранулу

$$F_g = m_{gr} \cdot g = \rho_{gr} \cdot g \cdot v_{gr} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{gr} \cdot g, \quad (4)$$

де m_{gr} – маса гранули, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с²; ρ_{gr} – густина гранули, кг/м³; v_{gr} – об'єм гранули, м³.

Підставивши у рівняння (1) вирази для визначення F_s (3) и F_g (4), отримаємо рішення відносно V_{op} :

$$V_{op} = 1,63 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{gr} \cdot g \cdot r}{\psi \cdot \rho_{gas}}} \quad (5)$$

Виразимо значення V_{op} з рівняння витрати

$$V_{op} = \frac{Q}{\pi \cdot R^2}, \quad (6)$$

де Q – об'ємна витрата газу, м³/с.

Враховуючи, що для конічного гранулятора поточне значення радіуса робочого простору $R = Z \cdot tg \varphi$, вираз (4) для $V_{op} = f(Z)$ набуде вигляду:

$$V_{op} = \frac{Q}{\pi \cdot Z^2 \cdot tg^2 \varphi} \quad (7)$$

Підставивши (7) в ліву частину (5), вирішимо одержане рівняння відносно Z

$$Z = \sqrt{\frac{Q}{1,63 \cdot \pi \cdot tg^2 \varphi \cdot \sqrt{\frac{\rho_{gr} \cdot g \cdot r}{\psi \cdot \rho_{gas}}}}} \quad (8)$$

Результати розрахунку висоти Z в залежності від кута розкриття конуса і розміру гранули для $Q=1$ м³/с наведено на рисунку 3.

Аналіз результатів теоретичних розрахунків за формулою (8) показує, що із збільшенням кута розкриття конуса фракція гранул займає меншу висоту в робочому просторі вихрового гранулятора. Застосування грануляторів з малим кутом розкриття конуса (до 40°) доцільно для процесів одержання багат шарових гранул при нанесенні плівок на різних висотних відмітках.

Апарати з кутом розкриття конуса більше 40° застосовні для отримання гранульованих одношарових добрив або гранул з особливими властивостями

(наприклад, пористої, аміачної селітри). Це пояснюється тим, що товарний продукт характеризується широким фракційним складом. Фактично в апаратах з великим кутом розкриття конуса в Внаслідок класифікації отримують три фракції: товарну, велику (направляється на дроблення і повертається в апарат у вигляді ретуру) і дрібну (вловлюється в газоочисних апаратах і відправляється на приготування пульпи).

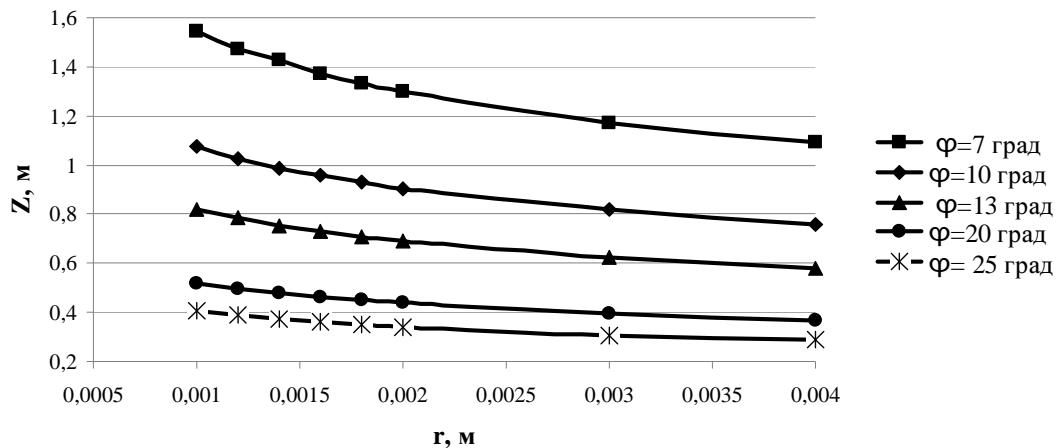


Рисунок 3 – Результати розрахунку Z.

Висота розташування гранули заданого розміру в робочому просторі апарата визначається як

$$Z_1 = Z - Z_0,$$

Значення R_0 визначається при сумісному вирішенні рівнянь (5) и (6) для гранули максимального розміру r_{\max} в полідисперсній системі

$$R_0 = \sqrt{\frac{Q}{1,63 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\rho_{gr} \cdot g \cdot r_{\max}}{\psi \cdot \rho_{gas}}}}}. \quad (9)$$

Результати розрахунку радіуса R_0 в залежності від кута розкриття конуса і розміру гранули наведено на рисунку 4.

Після визначення R_0 знаходимо значення Z_0 як

$$Z_0 = R_0 / \operatorname{tg} \varphi. \quad (10)$$

Порівняльна характеристика конструкцій робочого простору ВГЗШ за різних умов наведена на рисунках 5-7.

Отримані в результаті теоретичного розрахунку значення Z, R_0 , Z_0 і Z_1 дозволяють сконструювати вихровий гранулятор, в якому крім основного процесу буде відбуватися класифікація гранул на необхідну кількість фракцій із заданим проектувальником розміром фракції.

Сепарація гранул

Результати розрахунку, який проведений за формулою (8), дозволяють оцінити розмір гранул, що знаходяться за межами робочого простору вихрового гранулятора (вище перерізу, в якому рухаються гранули товарної фракції мінімального розміру). Ці гранули сепаруються у верхній частині вихрового гранулятора, а потім йдуть із зони гранулювання з газами.

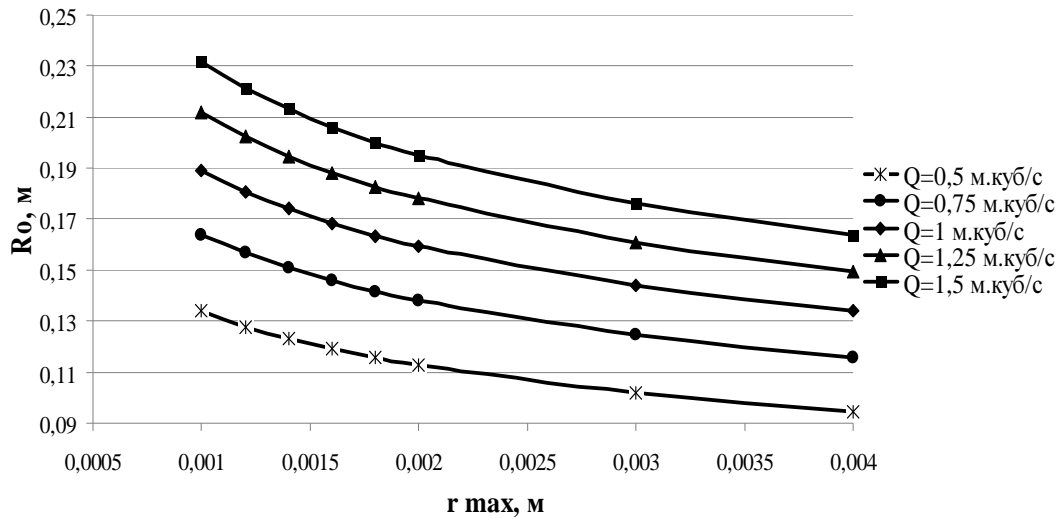


Рисунок 4 – Результати розрахунку R_0 .

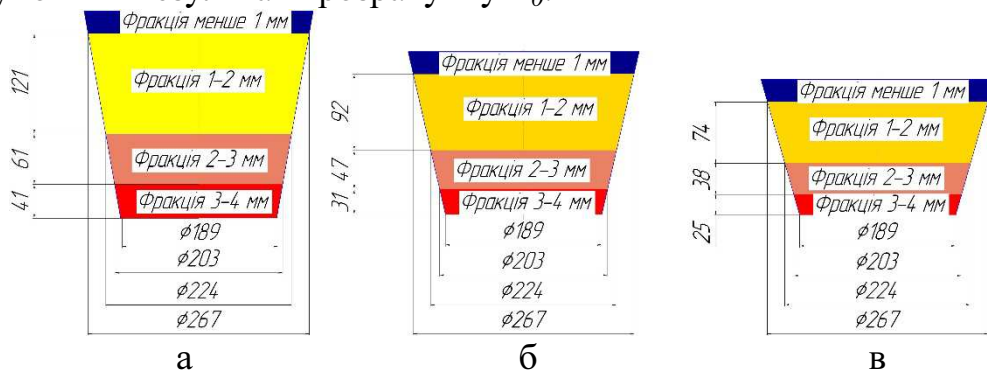


Рисунок 5 – Розміри робочого простору вихрового гранулятора при $Q=0,5 \text{ м}^3/\text{с}$: а – $\phi=10^\circ$; б – $\phi=13^\circ$; в– $\phi=16^\circ$.

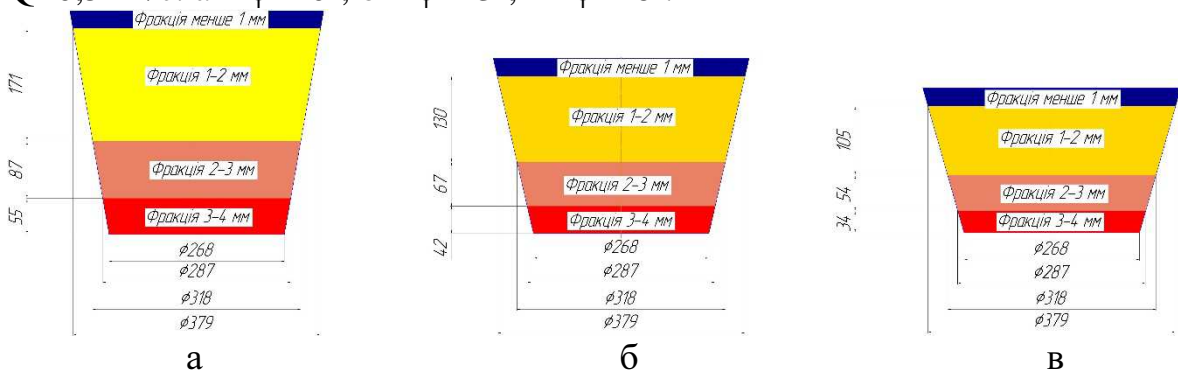


Рисунок 6 – Розміри робочого простору вихрового гранулятора при $Q=1 \text{ м}^3/\text{с}$: а – $\phi=10^\circ$; б – $\phi=13^\circ$; в– $\phi=16^\circ$.

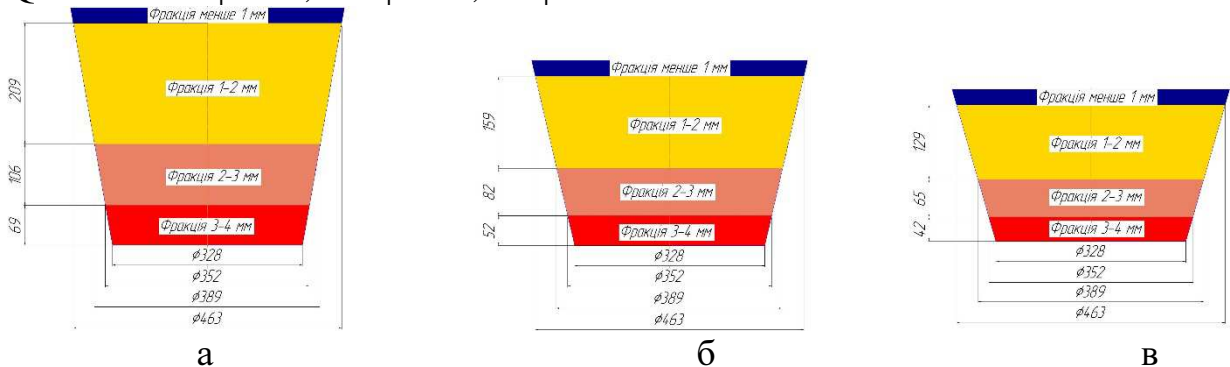


Рисунок 7 – Розміри робочого простору вихрового гранулятора при $Q=1,5 \text{ м}^3/\text{с}$: а – $\phi=10^\circ$; б – $\phi=13^\circ$; в– $\phi=16^\circ$.

Підбираючи конструкцію завихрювача (наприклад, кількість лопаток і кут їх нахилу), необхідно домогтися зменшення колової складової швидкості газового потоку на виході з внутрішнього конуса. На рисунку 8 наведено результати розрахунку витратної W_z та колової W_ϕ швидкостей газового потоку для апарату з кутом розкриття конуса $2\phi = 26^\circ$, робочою висотою $Z_1=1,2$ м. В апараті встановлений завихрювач з 3-ма лопатками, встановленими під кутом $\alpha = 30^\circ$ при витраті газового потоку $Q = 0,63$ м³/с.

Аналіз рисунка показує, що у верхньому перерізі внутрішнього конуса колова швидкість W_ϕ знижується, що призводить до зміни траєкторії руху гранул. Переважним в цьому випадку стає висхідний рух газового потоку.

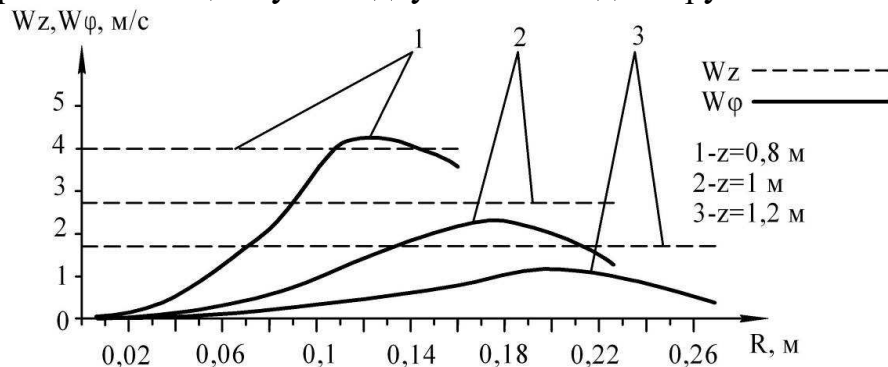


Рисунок 8 – Зміна епюр витратної та колової складових швидкості газового потоку по висоті внутрішнього конуса вихрового гранулятора

Результати аналітичного рішення рівнянь математичної моделі та експериментальних досліджень дозволяють спроектувати ВГЗШ, в якому одночасно з гранулюванням можливе здійснення процесів класифікації та внутрішньої циркуляції ретура.

1.2 Застосування вихрових масообмінних контактних ступенів [11-18]

У процесі проектування контактних ступенів для абсорбційного очищення газу основним питанням є скорочення бризковинесення та підвищення ступеню вловлювання компонентів газу з газової суміші. Від величини бризковинесення залежить ефективність проведення масообмінних процесів в межах контактної ступені. Аналіз роботи ситчатих, ковпачкових, клапанних і вихрових контактних пристроїв визначив найнижче значення бризковинесення при використанні вихрових контактних пристроїв (fig. 1). Наявність в таких контактних пристроях вузла завихрення газового потоку дозволяє змінювати параметри крутки, а також істотно впливати на гідравлічний опір контактної ступені і величину бризковинесення рідкої фази з контактної ступені.

Сили, що діють на плівку рідини в вихровому газовому потоці (рисунок 9, а): Сила тяжіння F_T ; відцентрова сила N ; сила тертя $F_{тр}$; сила аеродинамічного опору P ; гідростатична сила P_r .

Умовою мінімального бризковинесення рідини є баланс зазначених сил при досягненні рідиною плівкознімача, з якого визначається оптимальна висота масообмінно-сепараційного елемента (МСЕ). Оптимальний радіус

МСЕ повинен забезпечувати максимальну швидкість руху газового потоку, при якій виконується умова балансу сил (рисунок 9, б).

Сила тяжіння, яка сприяє рух рідини до нижнього перерізу контактного патрубку

$$F_T = mg, \quad (11)$$

де m – маса рідини, кг; g – прискорення вільного падіння, м / с².

$$m = \pi CLR^2, \quad (12)$$

де C – кількість рідини в одиниці об'єму контактної трубки МСЕ, кг/м³; L – висота контактної трубки МСЕ, м; R – радіус контактної трубки МСЕ, м.

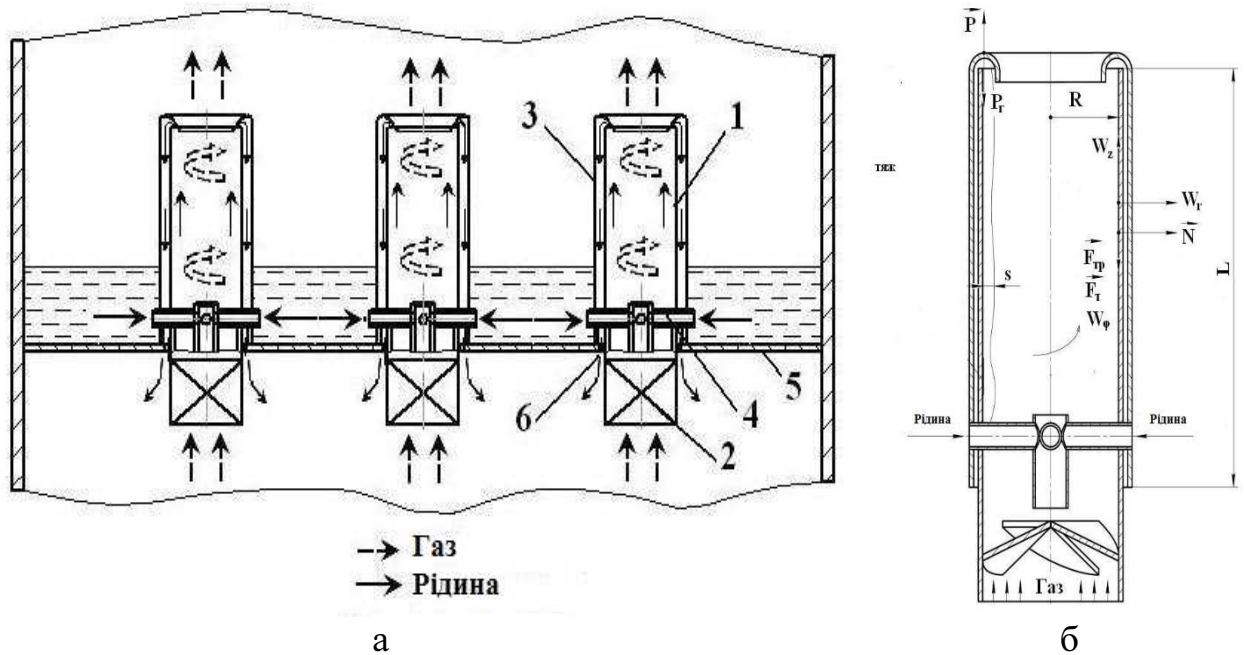


Рисунок 9 – Масообмінно-сепараційний елемент вихрової тарілки:
 а – розрахункова схема до аналізу силового впливу на плівку рідини;
 б – схема руху потоків газу і рідини; 1 – контактний патрубок;
 2 – завихрювач; 3 – плівкознімач; 4 – трубка для подачі рідини; 5 – полотно тарілки; б – отвори для зливу рідини

$$C = m_{рп} / V_{п}, \quad (13)$$

де $m_{рп}$ – маса рідини в одному контактному патрубку МСЕ, кг; $V_{п}$ – об'єм контактної трубки МСЕ, м³.

$$V_{п} = \pi R^2 L. \quad (14)$$

Допускаючи, що рідина, що знаходиться на тарілці, рівномірно розподілена по всім контактним патрубкам МСЕ, маємо

$$m_{рп} = m_p / n, \quad (15)$$

де m_p – маса рідини на полотні тарілки, кг; n – число контактних патрубків МСЕ, шт (визначається конструктивно).

$$m_p = V_p \rho_p, \quad (16)$$

де V_p – об'єм рідини на полотні тарілки, м³; ρ_p – густина рідини, кг / м³.

$$V_p = F_p h_p, \quad (17)$$

де F_p – площа, яка займається рідиною на полотні тарілки, m^2 ; h_p – висота шару рідини на полотні тарілки, м (визначається на підставі експериментальних досліджень).

Враховуючи, що рідина займає все полотно тарілки (переливні пристрої перебувають під плівказнімачем контактного патрубку МСЕ)

$$F_p = \pi (R_m^2 - R_{n,n}^2 n), \quad (18)$$

де R_r – радіус полотна тарілки, м; $R_{n,n}$ – зовнішній радіус плівказнімача контактного патрубку МСЕ, м (визначається конструктивно).

Відцентрова сила відповідно до закону Ньютона

$$N = m \cdot a_n \quad (19)$$

де a_n – нормальне прискорення плівки рідини, м / с².

$$a_n = W_r^2 / R, \quad (20)$$

де W_r – радіальна складова швидкості руху плівки рідини, м / с.

Тоді

$$N = m W_r^2 / R.$$

Сила тертя згідно закону в'язкого тертя Ньютона

$$F_{тр} = \eta W_z / s, \quad (21)$$

де η – коефіцієнт тертя плівки рідини об стінку контактного патрубку МСЕ, Н·с; W_z – осьова складова швидкості руху плівки рідини, м / с; s – товщина плівки піднімається рідини в контактному патрубку МСЕ, м.

Рівняння збереження імпульсу для елементарного об'єму рідкого середовища:

$$\begin{aligned} d(mW^2) &= P dt; \\ P &= \frac{d(mW^2)}{dt} = \frac{2W_z dm}{dt} \\ \frac{dm}{dt} &= W_z \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot d \cdot \rho \end{aligned}$$

Таким чином

$$P = 4\pi R d \rho_p W_z^2. \quad (22)$$

Сила P , з якою потік рідини піднімається вгору патрубка, врівноважується гідростатичною силою P_r . При $P > P_r$ рідина буде підніматися вгору, при цьому значення цієї сили має бути достатнім для того, щоб рідина зливалася через плівкознімач, не викликаючи значного бризковинесення. При $P < P_r$ рідина виводиться через нижній перетин контактний патрубка МСЕ без контакту з газовим потоком. Тому важливий баланс $P = P_r$.

Гідростатичний тиск відповідно до закону Паскаля

$$p_r = \rho_p g L. \quad (23)$$

Якщо записати $dV = dF \cdot s$ і $dV = dm / \rho$, При цьому $dF = dm / (Ps)$ і $P = dN / dF$, то з (23) випливає

$$L = \frac{1}{\rho_p g} \frac{dN}{dF} = \frac{1}{\rho_p g} \frac{dN}{dm} \rho_p s = \frac{s}{g} \frac{dN}{dm}.$$

Враховуючи, що $dN/dm = W_\phi^2/R$, де W_ϕ – колова складова швидкості руху плівки рідини, м/с

$$L = \frac{s W_\phi^2}{g R} \quad (24)$$

Товщина плівки рідини, що піднімається по внутрішній стінці контактного патрубку МСЕ

$$s = \frac{m}{2\pi L \rho_p R} = \frac{CL\pi R^2}{2\pi L \rho_p R} = \frac{1}{2} \frac{CR}{\rho_p} \quad (25)$$

Для розрахунку оптимальних розмірів патрубків вихрової тарілки створено програму «Vortex tray»[©].

На основі програми «Vortex tray»[©] проведено аналіз впливу гідродинамічних та конструктивних параметрів на висоту прямотечіно-відцентрового елемента.

1. Залежність висоти патрубка від колової складової повної швидкості плівки рідини (кута нахилу лопатей пристрою для завихрення газового потоку).

Аналіз одержаних графічних залежностей (рисунок 10) демонструє, що зі збільшенням колової швидкості руху газового потоку при постійній величині товщини плівки рідини відбувається монотонне зростання висоти патрубка. Це пояснюється тим, що відбувається збільшення значення сили, яка притискає плівку рідини до стінки, зростає інтенсивність її закрутки, що потребує більшої висоти патрубка для уникнення небажаного бризковинесення з контактної ступені. При цьому необхідно враховувати, що зі збільшенням ступеня закрутки газового потоку рідина буде розподілятися по внутрішній поверхні патрубка рівномірніше.

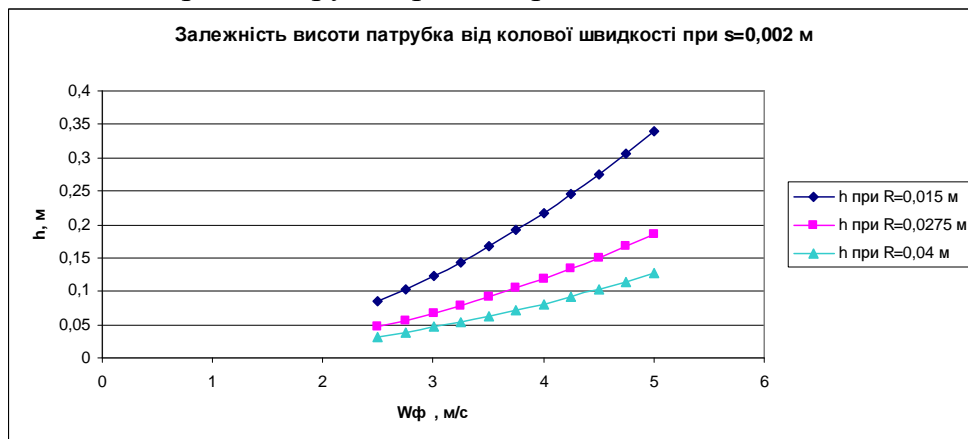


Рисунок 10 – Залежність висоти патрубка від колової складової повної швидкості плівки рідини при постійній товщині плівки

З наведених графічних залежностей видно, що зі зменшенням радіуса патрубка зростання висоти патрубка проходить з більшим приростом. Це пояснюється тим, що зі зменшенням перерізу патрубка збільшується значення висхідної складової повної швидкості руху газового потоку, і, як наслідок, виштовхувальної сили, що призводить до більш інтенсивного бризковинесення.

Аналіз одержаних графічних залежностей (рисунок 11) демонструє, що зі збільшенням колової швидкості руху газового потоку при постійній

величині радіуса контактної патрубка відбувається монотонне зростання висоти патрубка.

Це пояснюється тим, що зі збільшенням навантаження по рідкій фазі та збільшенні товщини плівки рідини закручення газового потоку сприяє збільшенню бризковинесення за рахунок того, що відбувається відрив шару плівки від стінки. При цьому необхідно збільшувати висоту контактної патрубка для перешкоджання підвищеного бризковинесення рідини. Зростання приросту у висоті контактної патрубка зі збільшенням товщини плівки рідини пояснюється збільшенням кількості рідини, яка може виноситись з меж контактної ступені.

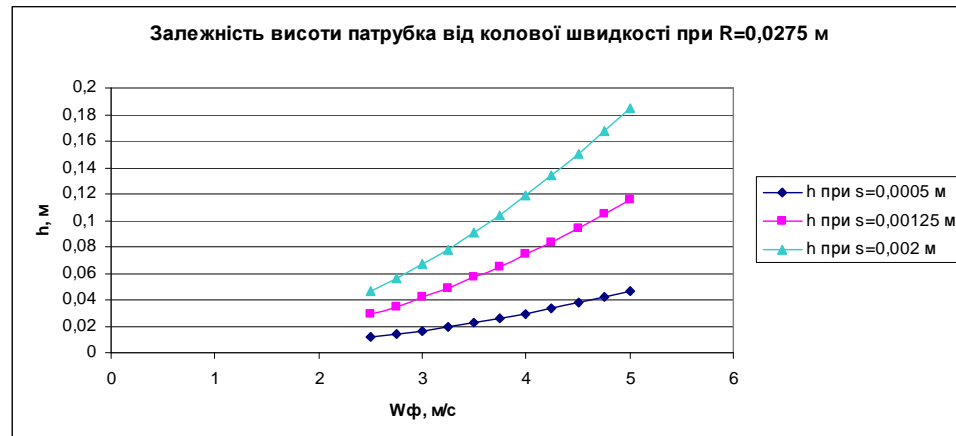


Рисунок 11 - Залежність висоти патрубка від кулової складової повної швидкості плівки рідини при постійному радіусі патрубка

2. Залежність висоти патрубка від радіуса патрубка

Аналіз одержаних графічних залежностей (рисунок 12) демонструє, що зі збільшенням радіуса контактної патрубка при постійному значенні кулової швидкості руху плівки рідини та змінній товщині плівки рідини відбувається зменшення висоти контактної патрубка, що пояснюється збільшенням відцентрової сили, яка діє на рідину всередині патрубка та зменшенням значення виштовхувальної сили, яка діє на плівку рідини. Збільшення кулової швидкості руху плівки рідини сприяє більш рівномірному розподілу рідини по внутрішній поверхні контактної патрубку та зменшенню бризковинесення з контактної ступені.

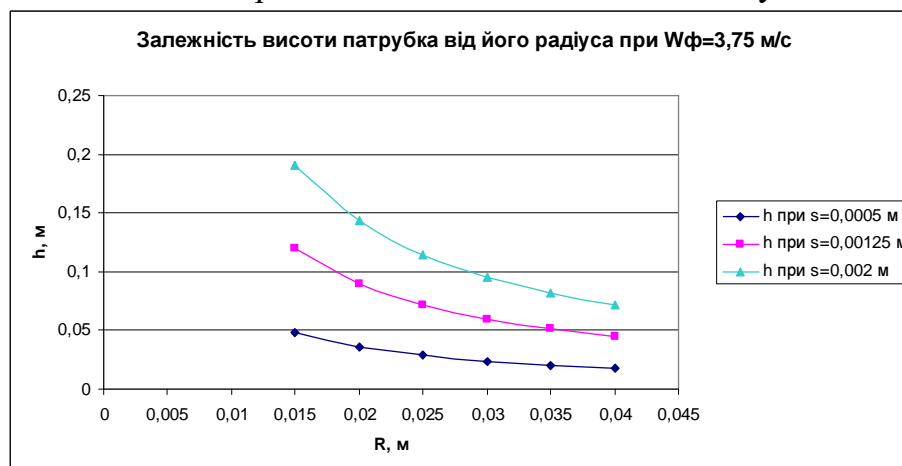


Рисунок 12 – Залежність висоти патрубку від радіуса патрубку при постійній колдовій складовій повної швидкості плівки рідини

Більший приріст зменшення висоти контактної патрубку при збільшенні товщини плівки рідини пояснюється тим, що збільшується значення сили, яка сприяє руху плівки до нижнього перерізу контактної патрубку, зменшуючи цим самим бризковинесення.

При постійному значенні товщини плівки рідини та збільшенні колдової швидкості руху плівки спостерігається монотонне зниження висоти контактної патрубку (рисунок 13) з різною інтенсивністю залежно від колдової швидкості руху плівки, що пояснюється збільшенням сили, яка притискає плівку рідини до внутрішньої поверхні контактної патрубку і перешкоджає підвищеному бризковинесенню.

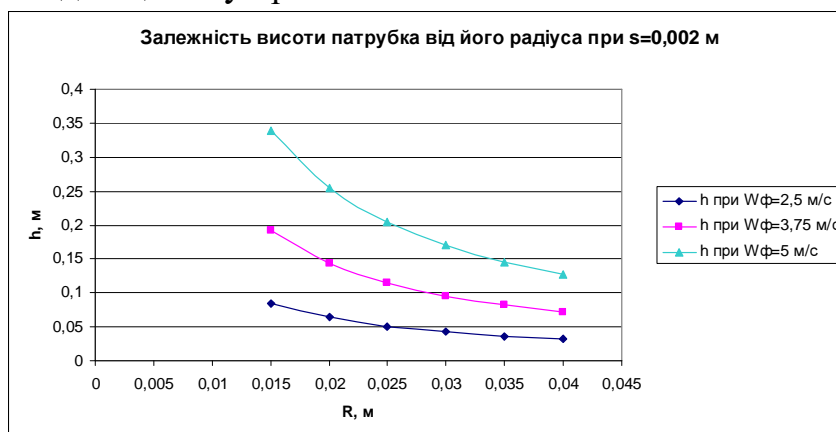


Рисунок 13 – Залежність висоти патрубку від радіуса патрубку при постійній товщині плівки рідини

3. Залежність висоти патрубку від товщини плівки рідини

Аналіз одержаних графічних залежностей (рисунок 14) демонструє, що зі збільшенням товщини плівки рідини при постійному значенні радіуса патрубку та змінній колдовій швидкості плівки рідини, відбувається збільшення висоти патрубку. Збільшення колдової швидкості і товщини плівки рідини призводить до інтенсивного закручування газового потоку, що сприяє збільшенню бризковинесення. Для зменшення бризковинесення необхідно збільшувати висоту патрубку.

Аналіз одержаних графічних залежностей (рисунок 15) демонструє, що зі збільшенням товщини плівки рідини при постійному значенні колдової швидкості плівки рідини та змінному радіусі патрубку, висота патрубку збільшується.

Це пояснюється тим, що зі збільшенням відцентрової сили, збільшується товщина плівки і зменшується виштовхувальна сила, при цьому переріз максимальний, висхідний потік мінімальний. При зменшенні перерізу збільшується значення висхідної швидкості газового потоку і виштовхувальної сили. Це призводить до бризковинесення, і як наслідок, необхідно збільшувати висоту патрубку.

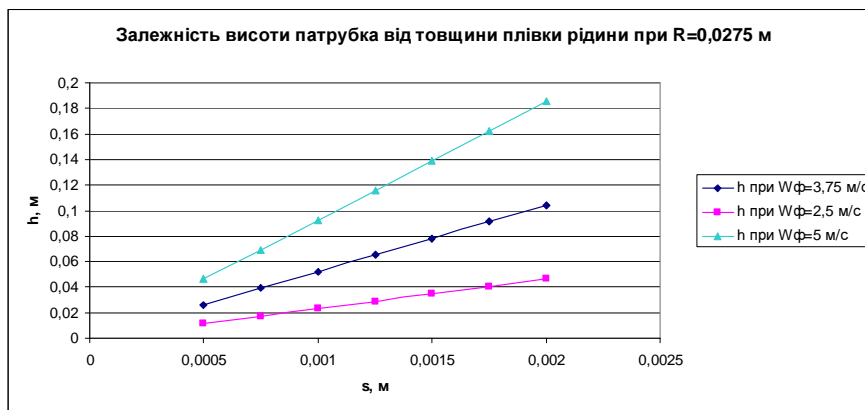


Рисунок 14 – Залежність висоти патрубку від товщини плівки рідини при постійному радіусі патрубку

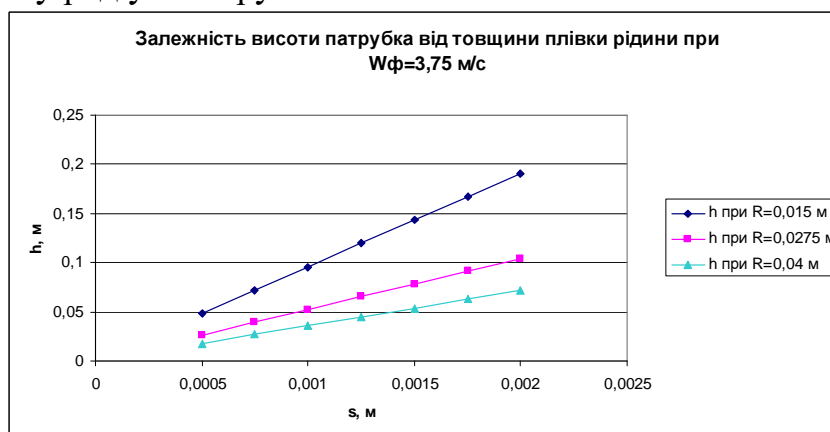


Рисунок 15 – Залежність висоти патрубку від товщини плівки рідини при постійній колівій складовій повної швидкості плівки рідини

4. Залежність товщини плівки рідини від радіуса та об'єму, який займає рідина

Аналіз одержаних графічних залежностей (рисунок 16, 17) демонструє, що зі збільшенням об'єму, що займає рідина всередині патрубку, збільшується товщина плівки. Це пов'язано з тим, що зі збільшенням об'єму контактного патрубку (в квадратичній залежності від радіуса контактного патрубку) зростання його внутрішньої поверхні проходить лінійно від радіусу; у такому випадку при зростанні об'єму рідини у патрубку товщина плівки рідини збільшується.

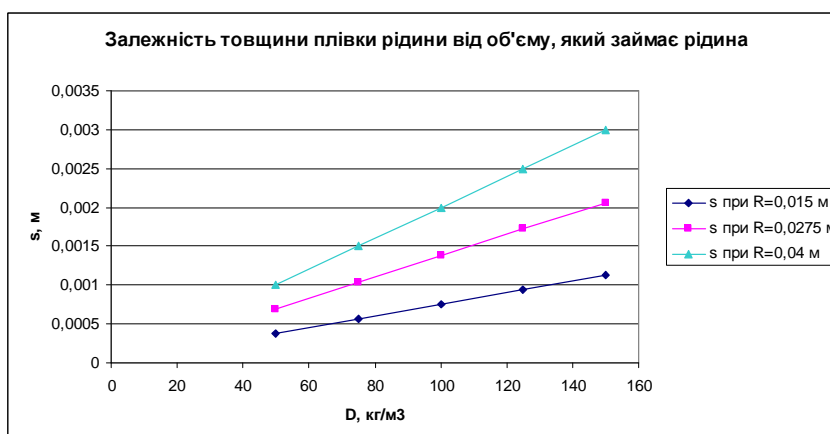


Рисунок 16 – Залежність товщини плівки рідини від об'єму, що займає рідина

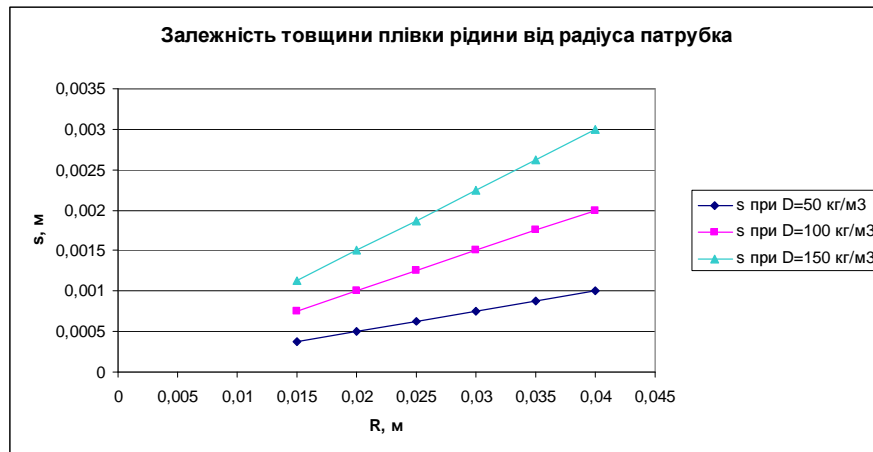


Рисунок 17 – Залежність товщини плівки рідини від радіуса патрубку

Для визначення оптимального режиму роботи вихрової тарілки проведено серію експериментальних досліджень.

В ході проведення експерименту спостерігалось 4 гідродинамічних режими протікання процесу масообміну:

1. Режим 1 (рисунок 18), при якому об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку, частково (у малому ступені) диспергується потоком газу (оскільки витрата газу незначна), а основний об'єм рідини зливається по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента. Потік газу, у свою чергу, проходить через центральну частину контактної трубки масообмінного елемента.

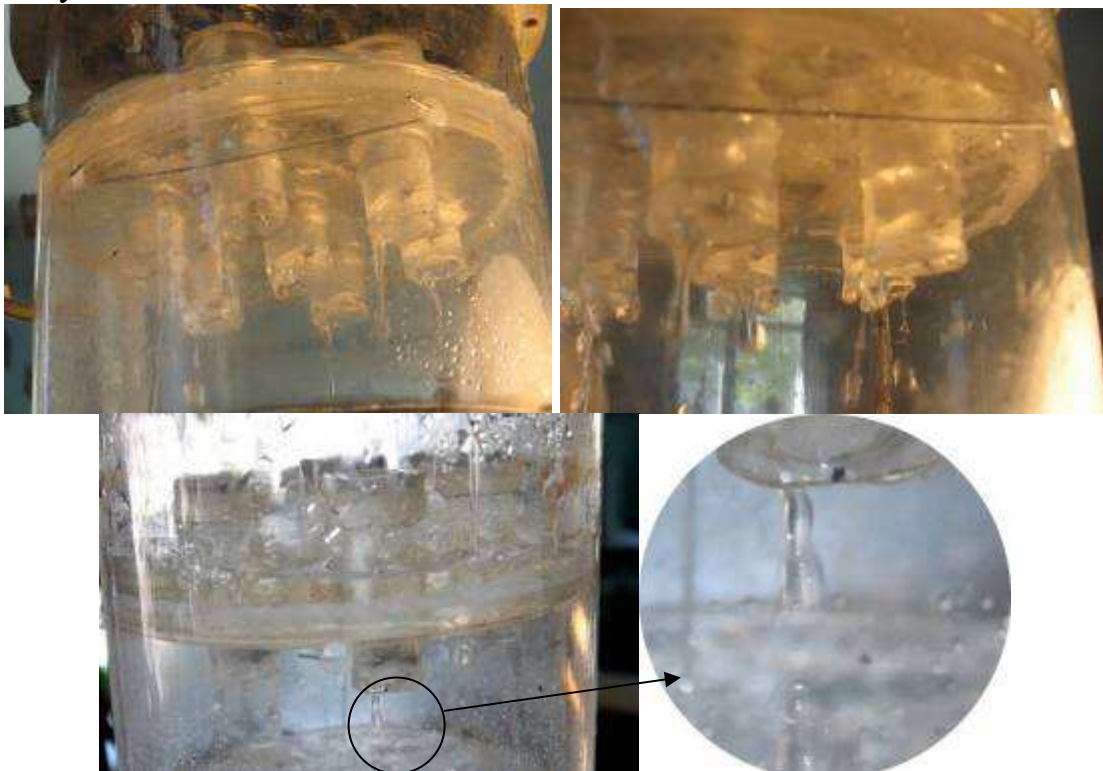


Рисунок 18 – Фотографії гідродинамічного режиму 1

Для даного режиму характерне утворення поодиноких бульбашок газу великого розміру в шарі рідини. Таким чином, площа зіткнення фаз не

розвинена. Витрата рідини: $0,000005...0,000006 \text{ м}^3/\text{с}$; витрата газу: $0,0060...0,0063 \text{ м}^3/\text{с}$. Гідравлічний опір тарілки складає 20-40 Па.

2. Режим 2 (рисунок 19), при якому об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку, в значній мірі (в порівнянні з попереднім режимом) диспергується потоком газу, але частково рідина ще зливається по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента у вигляді крапель. Потік газу, у свою чергу, проходить через шар рідини з інтенсивнішим (в порівнянні з попереднім режимом) вихроутворенням і утворенням бульбашок газу і піни. Таким чином, площа зіткнення фаз більш розвинена.

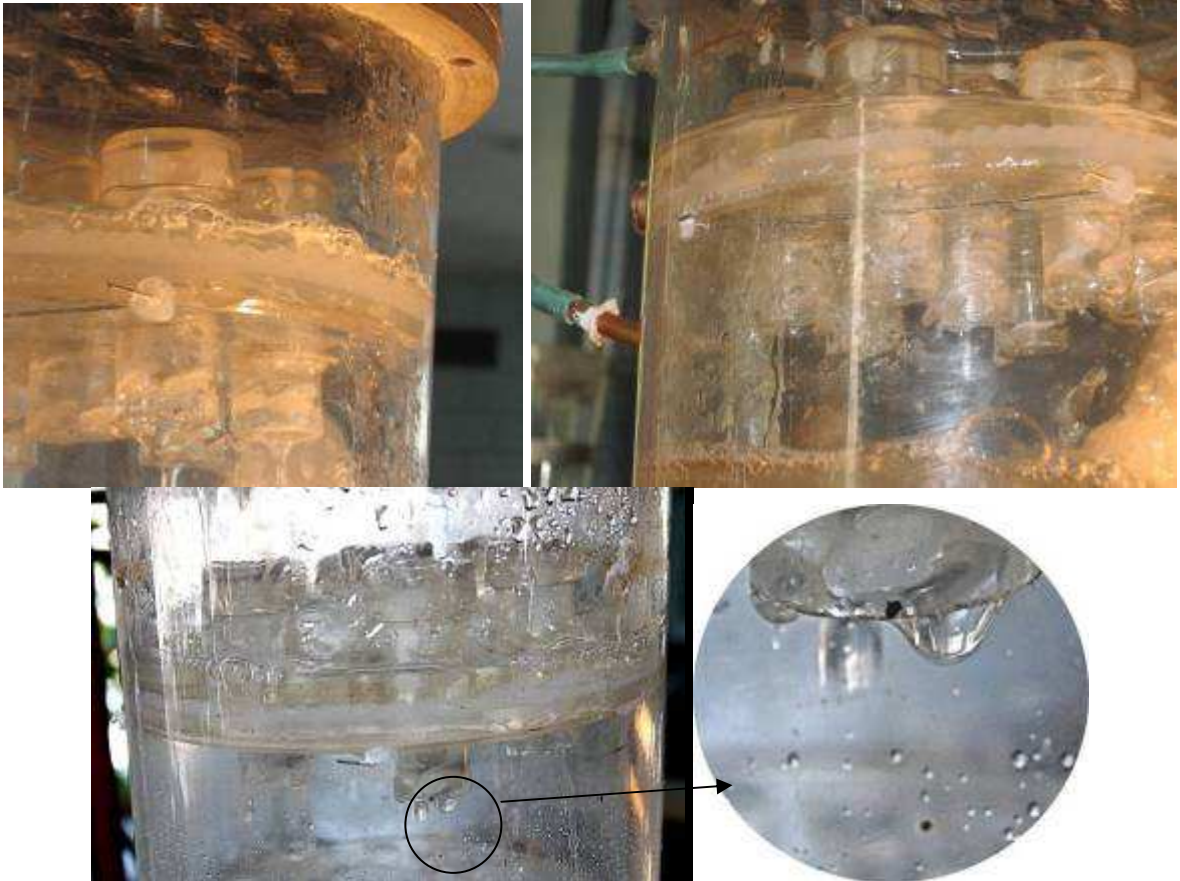


Рисунок 19 – Фотографії гідродинамічного режиму 2

Цей режим передує оптимальному режиму масообміну в прямоточно-відцентровому елементі. Витрата рідини: $0,000008...0,000009 \text{ м}^3/\text{с}$; витрата газу: $0,00615...0,00695 \text{ м}^3/\text{с}$. Гідравлічний опір тарілки складає 40-280 Па.

3. Оптимальний режим (рисунок 20), при якому об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку повністю диспергується потоком газу, злив рідини по внутрішній стінці контактної трубки масообмінного елемента відсутній. Потік газу проходить через шар рідини з інтенсивним вихроутворенням і утворенням дрібнодисперсних бульбашок газу і піни. Таким чином, площа зіткнення фаз найбільш розвинена. Витрата рідини: $0,0000020...0,0000029 \text{ м}^3/\text{с}$; витрата газу: $0,0076...0,0077 \text{ м}^3/\text{с}$. Гідравлічний опір тарілки складає 300-450 Па.



Рисунок 20 – Фотографії оптимального гідродинамічного режиму
 4. Режим унесення (рисунок 21), при якому об'єм рідини, яка поступає в центральну частину масообмінного елемента з полотна тарілки через трубку диспергується у меншій мірі, ніж при оптимальному режимі, оскільки газ проходить через шар рідини у вигляді цівок.



Рисунок 21 – Фотографії гідродинамічного режиму унесення
 Плівка рідини, яка відкидається відцентровими силами до внутрішньої стінки контактної трубки масообмінного елемента в результаті завихрювань потоку, захоплюється потоком газу і частково потрапляє в плівкоз'ємник

разом з газовим потоком, але більша частина плівки рухається з потоком газу на вищерозташовану тарілку через центральний верхній отвір контактної трубки масообмінного елемента, не потрапляючи в плівкоз'ємник, тобто для даного режиму характерне підвищене бризкоунесення.

Таким чином, площа зіткнення фаз менш розвинена. Витрата рідини: 0,0000039...0,0000049 м³/с; витрата газу: 0,0075...0,0078 м³/с. Гідрравлічний опір тарілки складає 480-510 Па.

Для додаткового дослідження гідродинамічних умов роботи вихрових тарілок застосовано комп'ютерне моделювання руху потоків за допомогою програмних продуктів COSMOS FlowWorks та Flow Vision, яке базується на методі вирішення рівнянь гідродинаміки за допомогою методу кінцевих об'ємів і використанні прямокутної адаптивної сітки з локальним подрібненням (рисунок 22).

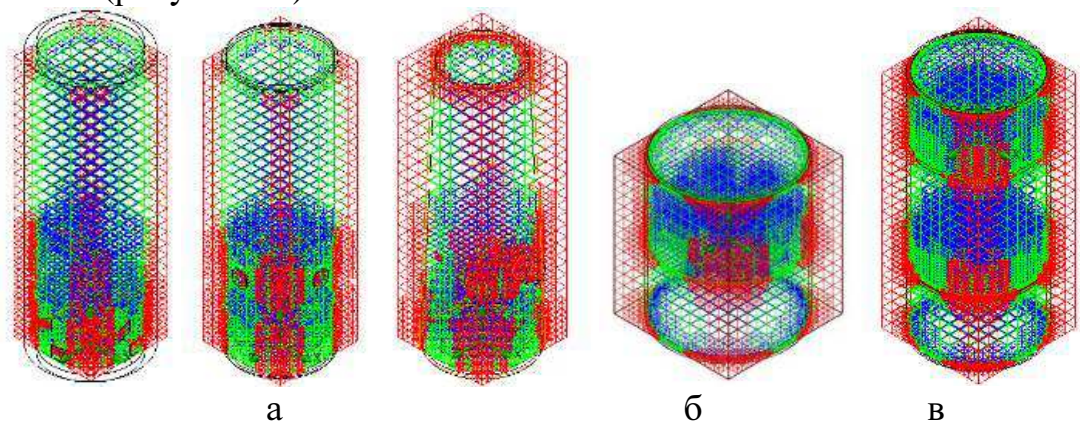


Рисунок 22 – Розрахункові сітки контактних ступенів: а – прямоточно-відцентрового елемента різної конструкції; б – тарілки з контактними елементами; в – розташованих одна біля одної контактних тарілок;

Рух газового потоку у масообмінно-сепараційному елементі

Приймаючи шорсткість стінки патрубків прямоточно-відцентрового елемента, граней завихрювача і поверхні трубки для подачі рідини Rz 40, одержуємо розподіл швидкості руху газового потоку в циліндричному і конічному патрубках, зображений на рисунках 23 і 24 відповідно.

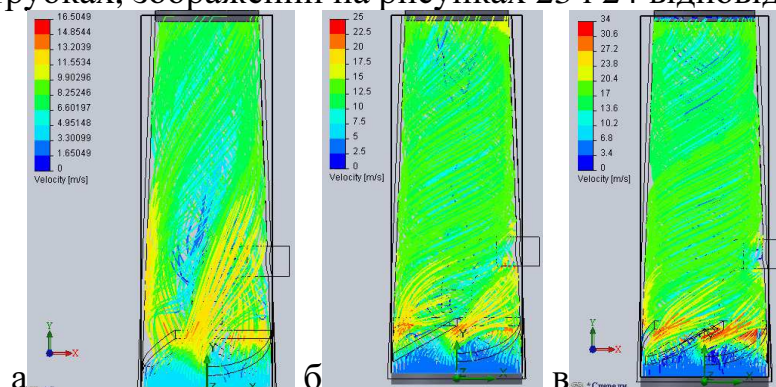


Рисунок 23 – Візуалізація полів швидкостей в конічному контактному елементі з завихрювачем, що складається з: а - 3 елементів; б - 4 елементів; в - 5 елементів

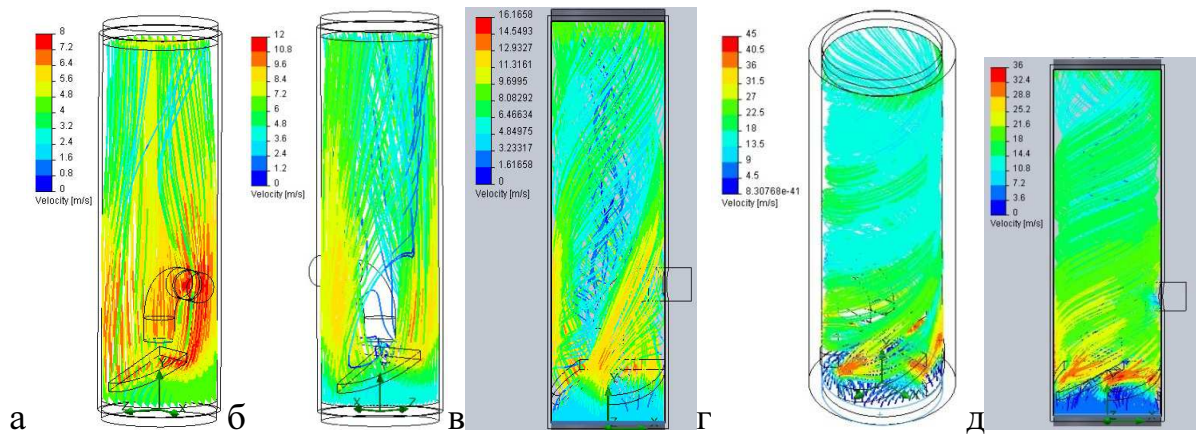


Рисунок 24 – Візуалізація полів швидкостей в циліндричному контактному елементі з завихрювачем, що складається з: а - 1 елементу; б - 2 елементів; в - 3 елементів; г - 4 елементів; д - 5 елементів

Рух газового потоку в межах вихрової тарілки

Заливки поля швидкостей руху газового потоку в межах вихрової тарілки представлено на рисунку 26.

Рух двофазного потоку

В результаті моделювання було доведено, що рідина, яка потрапляє в прямооточно-відцентровий елемент через трубки, рухається донизу патрубку, де зустрічається з протилежно направленим потоком газу. За допомогою завихрювача потік газу та рідини закручується та під дією відцентрової сили, рідина, як більш важка фаза, відкидається на стінки патрубку, і у вигляді плівки рухається вгору. Газовий потік виходить також через верхній переріз патрубку (рисунок 27).

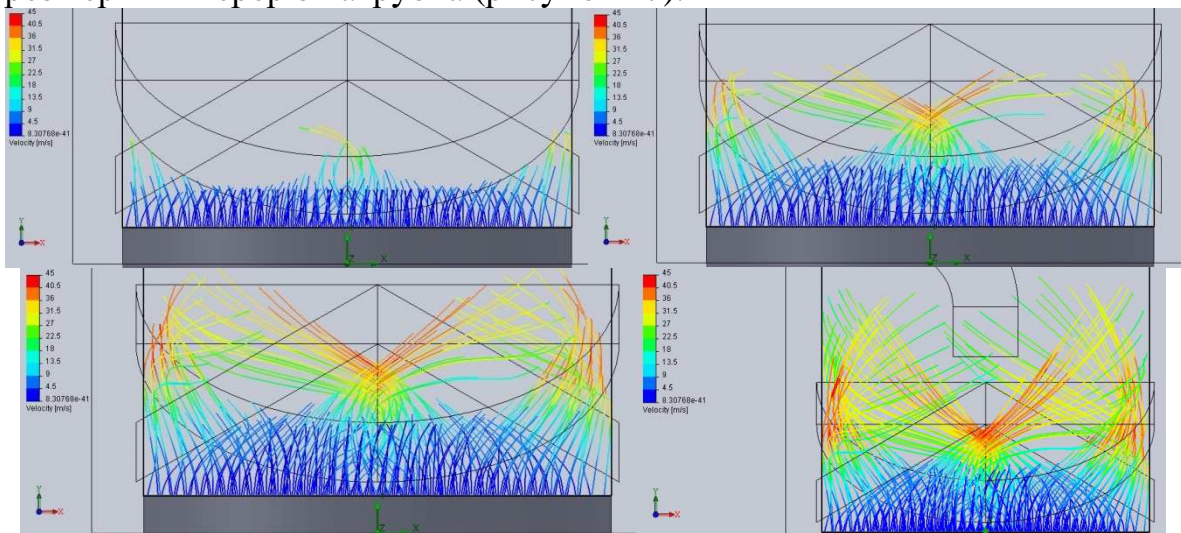


Рисунок 25 – Візуалізація зміни швидкості в контактному патрубку масообмінно-сепараційного елементу прямооточно-відцентрового типу

Як видно з рисунка, максимальної швидкості потік досягає в межах завихрювача. Це пов'язано з тим, конфігурація завихрювача передбачає інтенсивне закручування потоку, що, в свою чергу, збільшує швидкість.

У центрі патрубку швидкість дуже незначна, що дозволяє осідати рідині на стінки патрубку. Збільшення швидкості у верхньому перерізі елементу зменшує бризковинесення.

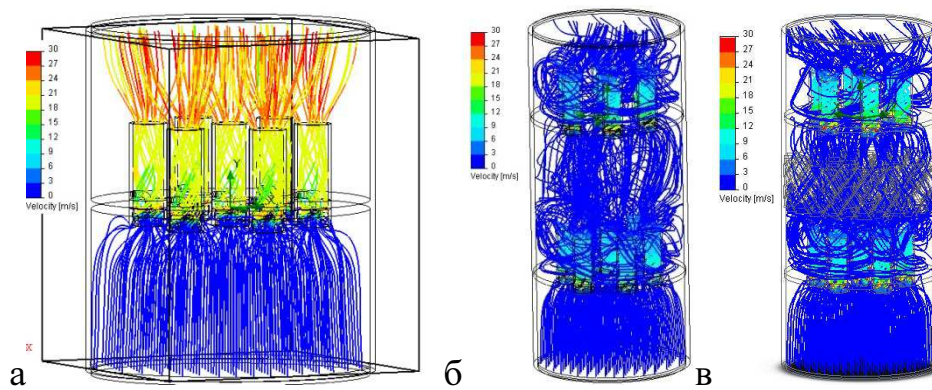


Рисунок 26 – Візуалізація зміни швидкості а - на тарілці з прямоточно-відцентровими елементами; б - між тарілками з прямоточно-відцентровими елементами; в - між тарілками з прямоточно-відцентровими елементами у разі розміщення між тарілками шару структурованої насадки

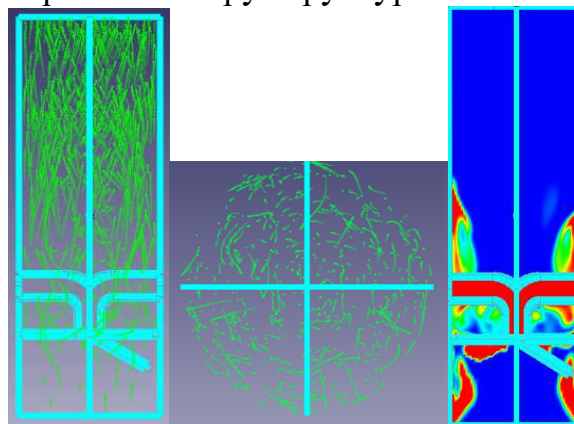


Рисунок 27 – Рух газорідного потоку всередині масообмінно-сепараційного елемента

Проведені дослідження дозволяють провести проектування вихрового ступеню очищення відхідних газів з вихрового гранулятора з підбором оптимальної його роботи

1.3 Застосування вихрових сепараторів [19-22]

При проведенні процесу одержання гранул пористої структури, зокрема, пористої аміачної селітри, в вихрових апаратах спостерігається інтенсивне пилоутворення внаслідок виносу високодисперсних твердих частинок аміачної селітри, які несуться з газовим потоком з верхньої частини апарату. Наслідком цього є виникнення потенційних шкідливостей і небезпек під час функціонування вихрового гранулятора. Таким чином, рішення задачі усунення можливого викиду в атмосферу пилового потоку є актуальним завданням і потребує вирішення.

Для вирішення поставленого завдання запропоновано застосування інерційно-фільтруючої вихрової сепараційної секції (рисунок 28), якою обладнана верхня частина вихрового гранулятора, що є найбільш доцільним внаслідок використання для створення оптимальної гідродинамічної обстановки процесів очищення (сепарації, фільтрування та абсорбції) енергії вихрового потоку, раніше сформованого в процесі гранулювання.

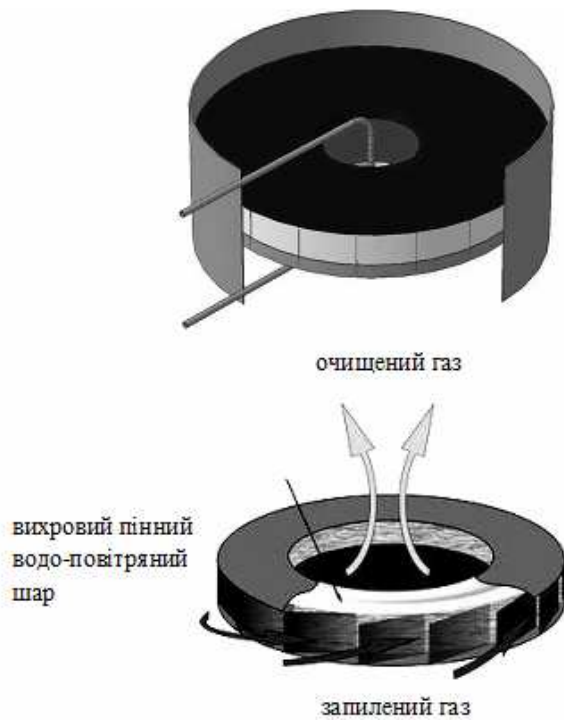


Рисунок 28 – Сепараційна камера

Інерційно-фільтруюча вихрова сепараційна камера з пінним водоповітряним шаром дозволяє вловлювати всі види пилу (абразивний, електропровідний, волоконний, вологий тощо), бризки, шлами. Газоочисниках є інтенсивно спінений шар води, яка одночасно успішно грає роль абсорбенту домішок аміаку з газової суміші. Тому в камері уловлюються не тільки частинки пилу та інші забруднювачі, але й шкідливі гази (аміак), що дозволяє очищати гази від домішок шкідливих газів до значень гранично допустимих концентрацій. Побічна корисна

властивість - зволоження повітря виробничих приміщень (до 100%), що в запилених приміщеннях не зайве.

Застосована сучасна технологія очищення газу завдяки застосуванню різних механізмів уловлювання (інерційна сепарація, гідрофільтрування, абсорбція) і декількох ступенів уловлювання дозволяє досягти необхідних показників екологічності виробництва. Крім того, висока ступінь уловлювання високодисперсних твердих частинок пилу, бризок пульпи, і газових домішок, а також низьке значення показника їх виносу підвищує ступінь використання сировини (розчину аміачної селітри) при проведенні процесу одержання гранул пористої структури.

Процес комп'ютерного моделювання включає створення 3D моделей сепараційних секцій (рисунок 29), а також розрахункове моделювання та візуалізацію гідродинамічних характеристик потоків у них за допомогою сучасних CAD \ CAE систем.

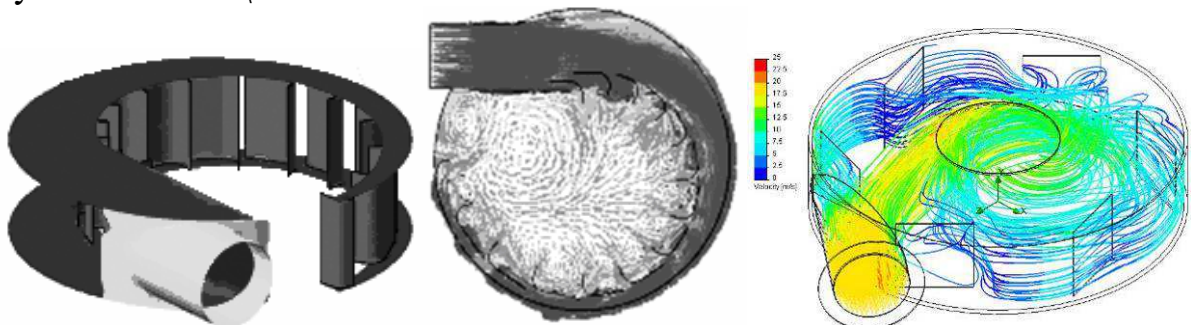


Рисунок 29 – Модель сепараційної секції і результати комп'ютерного моделювання гідродинаміки газового потоку в секції

Комп'ютерне моделювання сепараційних секцій дозволить підвищити ефективність видалення з газу, що відходить, крапель перед входом в масообмінну секцію і рідкого поглинача після виходу з масообмінних секцій.

1.4 Застосування вихрових ежекторів [23,24]

Ежекторні пристрої отримали широке поширення в різних технологічних схемах хімічної, харчової, металургійної галузях промисловості завдяки своїй надійності і простоті конструкції. Вони можуть грати як ключову (сепарація, ректифікація, охолодження і нагрівання, нагнітання і всмоктування), так і допоміжну роль (для інтенсифікації тепломасообмінних процесів). Застосування ежекторних пристроїв як утилізаційних модулів установок хімічної продукції (наприклад, для очищення повітря, що відходить у виробництві добрив з метою добування газів, що містять аміак, фтор, оксиди азоту) дозволить відмовитися від великогабаритного масообмінного і реакційного обладнання.

У процесі виробництва гранул аміачної селітри в вихрових грануляторах спостерігається інтенсивне виділення газоподібної закису азоту (концентрація в відведених газах в межах $0,005-0,01 \text{ кг/м}^3$), дрібних некондиційних гранул і пилу нітрату амонію (орієнтовно 1% від продуктивності вихрового гранулятора по готовому продукту, розмір - менше 0,5 мм), аміак (концентрація в відведених газах в межах $0,003-0,005 \text{ кг/м}^3$). У зв'язку з цим представляє великий практичний інтерес питання переведення закису азоту (I) і термічного розкладання некондиційного нітрату амонію з утворенням вищих оксидів і поверненням їх в технологічний процес. Подібне нововведення дозволить підвищити економічність циклу перетворення азоту на підприємстві і зменшити кількість викидів азотовмісних з'єднань в атмосферу. Пропонується новий підхід до здійснення комплексної утилізації відходів установок виробництва аміачної селітри із застосуванням рідинно-кільцевого вакуум-насоса (РКВН) і попередньо включений ежекційної ступені (вихрової або прямоструйної). Суть пропонованого методу полягає в наступному: суміш газів, що відходять з гранулятора і продукти розкладання некондиційної аміачної селітри направляються в барботажную камеру (бак рідинно-кільцевого вакуум-насоса), де охолоджуються і очищаються від аміаку і механічних включень; потім очищений холодний газ надходить пасивним потоком в ежектор, де активним (ежектуючим) потоком є кисень або збагачене киснем повітря. Суміш закису азоту і кисню проходить трактом камери змішування і дифузора ежектора крізь розпечену спіраль, покриту шаром каталізатора, і доокислюється до вищих оксидів азоту. Отриманий газ проходить по змійовиковому теплообміннику і охолоджується до температури переходу в рідкий стан або розчиняється в масообмінних реакторі з утворенням азотистої та азотної кислот. Отриманий продукт направляється в ємність для зберігання або замикає цикл отримання азотної кислоти. Така безвідходна технологія дозволяє підвищити питому

енергетичну ефективність установки і знизити кількість викидів азотовмісних сполук в атмосферу.

Вибір типу ежекторної ступені РКВН залежить від умов експлуатації вакуумної установки. За умови сталості температури в рідинному кільці і витратних параметрів системи найбільш раціональним є вибір пряموструйного ежектора. Однак у випадку компонування технологічної схеми гранулювання аміачної селітри з РКВН і використанням циркуляційної системи водопостачання, температура в рідинному кільці вакуум-насоса буде не постійна в силу зміни в часі концентрації аміаку та аміачної селітри в циркуляційній воді. У цьому випадку доцільніше застосовувати вихровий ежектор (рисунок 30) в якості попередньо включений ступені РКВН і установки утилізації закису азоту.

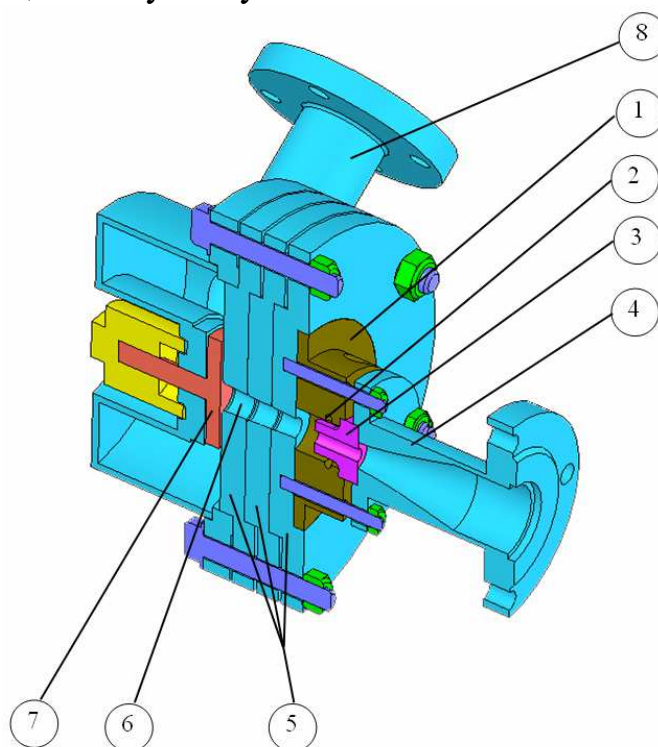


Рисунок 30 – Вихровий ежектор: 1 – приймальна камера; 2 – канали введення активного потоку; 3 – сопла введення пасивного потоку; 4 – приєднувальний патрубок; 5 – проставки; 6 – камера змішування; 7 – щілинний дифузор; 8 – нагнітальний патрубок

Нижче узагальнені і представлені результати експериментальних досліджень вихрового ежектора (рисунок 31-34). З рисунка 4 видно, що є певна довжина конічної частини камери змішування (при постійній конусності) яка забезпечує найбільшу ефективність вихрового ежектора. При збільшенні тиску на вході в компресор збільшується величина вакууму (рисунок. 5). Зі зменшенням тиску в приймальній камері ступінь підвищення тиску збільшується (рисунок 6).

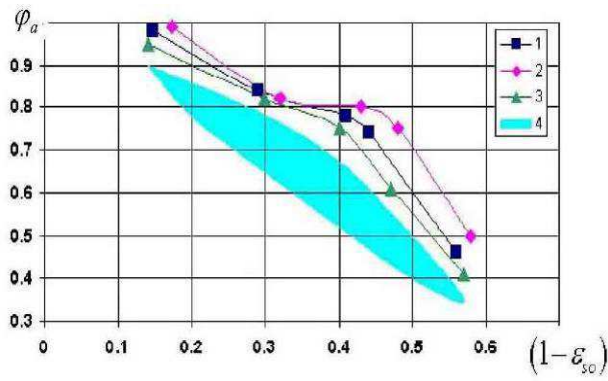


Рисунок 31 – Вплив масштабного фактора на коефіцієнт швидкості φ_a : 1, 2, 3 – дані, отримані при дослідженні сопла з діаметром горла $d_f = 4\text{ мм}$, 4 – сопла з діаметром горла $d_f = 1,7 - 1,8\text{ мм}$

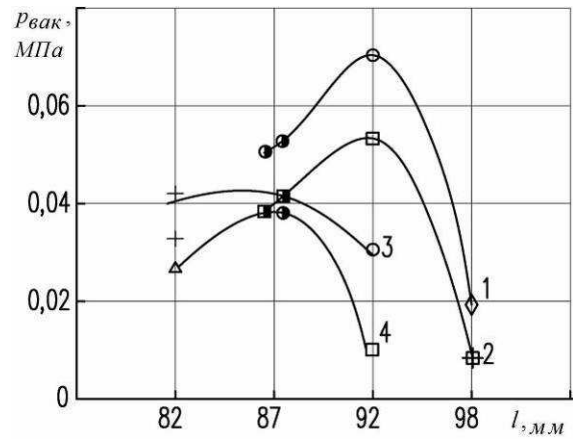


Рисунок 32 - Вплив довжини конічної частини камери змішування на глибину вакууму: 1, 2 – $p_0 = 3\text{ МПа}$, 3, 4 – $p_0 = 2,5\text{ МПа}$, $\circ \diamond \bullet +$ – без недогріву рідини, $\square \oplus \blacksquare \triangle$ – $(1-\varepsilon_{so}) \approx 0,2$

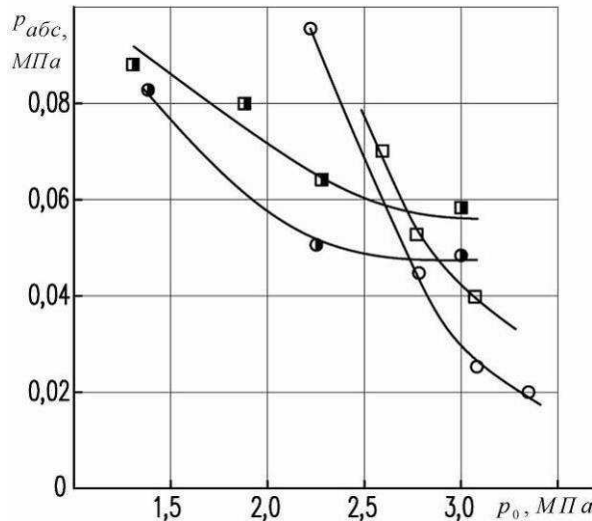


Рисунок 33 - Вплив початкового тиску на тиск в приймальній камері: позначення відповідають позначенням на рисунку 32

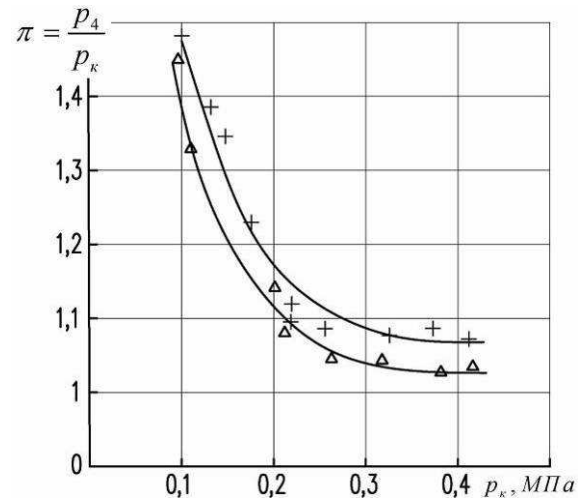


Рисунок 34 – Вплив тиску в приймальній камері на ступінь стиснення: позначення відповідають позначенням на рисунку 32

2 РОЗРОБКА НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИХРОВИХ ГРАНУЛЯТОРІВ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ГРАНУЛЬОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ

2.1 Нові конструкції грануляторів [25-32]

У цьому розділі наведено основні конструкції грануляторів, які дозволяють знизити кількість шкідливих викидів в атмосферу та підвищити якість кінцевого продукту.

Вихровий гранулятор з вібраційним розпиленням розплаву (рисунок 35, а).

Розпил рідкого матеріалу зазначеним способом дозволяє:

- знизити вірогідність забруднення розпилювача;
- знизити частоту його очищення в 3-5 разів;
- зменшити кількість зіткнень окремих крапель розплаву в 2-3 рази;
- знизити вплив на розпил нерівномірності надходження до розпилювача рідкого матеріалу;
- підвищити швидкість росту гранул до товарної фракції.

Формування сферичної форми відбувається за рахунок властивості рідини розпадатися на рівномірні краплі, якщо на поверхні струменю створювати регулярні коливання (хвилі).

Однорідність структури крапель, що формуються зі струменю рідкого матеріалу, та рівномірність розпилу досягається за рахунок вирівнювання полів швидкості витікання розплаву з отворів перфорованої поверхні розпилювача.

Вихровий гранулятор з двоступеневим контактом гранул і теплоносія (рисунок 35, б).

Гранулювання з зоною вторинного контакту гранул дрібної фракції з потоком теплоносія дозволяє розподілити потоки гранул різного фракційного складу в межах одного пристрою. Це необхідно для:

- повного завершення процесу кристалізації;
- запобігання утворення гранул з формою, відмінною від сферичної;
- зменшення перемішування дрібної і товарної фракцій;
- підвищення швидкості росту гранул до товарної фракції;
- збільшення ступеня монодисперсності продукту.

Формування завершені кристалічної структури гранули відбувається за рахунок збільшення часу її контакту з потоком теплоносія; внаслідок дії висхідного потоку теплоносія у зоні вторинного контакту час перетину міжкорпусної кільцевої порожнини пристрою гранулою зростає. Це сприяє повному завершенню процесу кристалізації на поверхні гранули до повернення у першу основну зону, де відбувається розпилення рідкого матеріалу. При цьому зменшується вплив дестабілізуючих факторів, що викликані неоднорідністю розмірів та форми гранул.

Вихровий гранулятор з багатоступеневою зоною вторинного контакту гранул і теплоносія (рисунок 35, в).

Одержання гранул у зваженому шарі з використанням багатоступеневої зони вторинного контакту гранул дрібної фракції з потоком теплоносія в режимі зваженого шару дозволяє збільшити час перебування гранул дрібної фракції в контакті з потоком теплоносія. Створення в об'ємі одного пристрою зваженого шару різної конфігурації (з вихровим рухом гранул під дією зустрічного вихрового вісесиметричного потоку теплоносія та з поступально-пульсаційною траєкторією руху гранул дрібної фракції під дією висхідного потоку теплоносія у вторинній зоні теплообміну і масообміну) дозволяє поєднати процес гранулоутворення з процесом завершення формування та кристалізації поверхні і ядра гранули у вторинній зоні контакту з теплоносієм.

Спосіб дозволяє здійснювати вторинний контакт між гранулами дрібної фракції та теплоносієм при меншій температурі (завдяки збільшенню часу перебування гранул дрібної фракції в міжкорпусній кільцевій порожнині) та витраті теплоносія (завдяки зменшенню площі вільного перерізу міжкорпусної кільцевої порожнини). Зниження температури обробки гранул дрібної фракції дозволяє зберегти цілісність їх ядра і в окремих випадках (зокрема, при одержанні гранул пористої структури) після термообробки залишити в ядрі гранули бульбашки повітря, які сприяють початку реакції детонації промислових вибухових речовин.

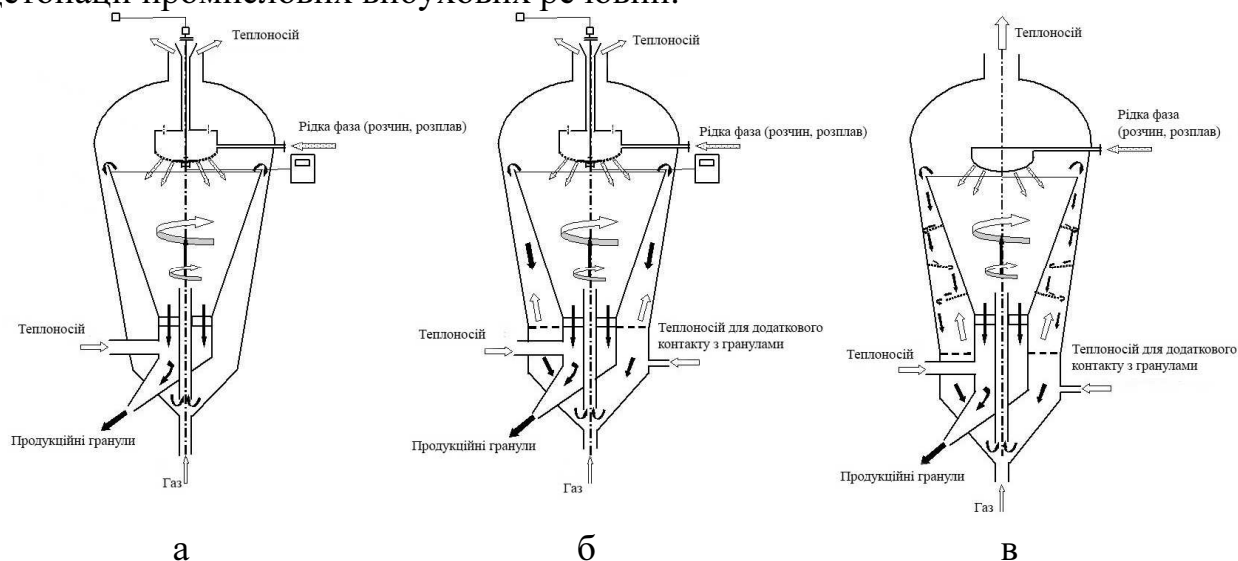


Рисунок 35 – Вихрові гранулятори: а – з вібраційним розпиленням розплаву; б – з двоступеневим контактом гранул і теплоносія; в – з багатоступеневою зоною вторинного контакту гранул і теплоносія

Двоступеневий вихровий гранулятор (рисунок 36).

Гранулювання в потоці теплоносія з різною організацією руху дозволяє створити найбільш сприятливі умови для утворення якісного продукту за рахунок на різного комплексу сил, які діють на краплю (у висхідному потоці теплоносія – сили тяжіння та аеродинамічного опору краплі газовому потоку, у вихровому потоці теплоносія - сили тяжіння, аеродинамічного опору краплі газовому потоку та відцентрова сила). Максимальне зменшення впливу випадкових збурень на краплі в момент її вильоту дозволяє отримати гранули правильної сферичної форми. Зменшення сил аеродинамічного опору краплі

газовому потоку дозволяє зменшити деформацію поверхні. Мінімальна швидкість руху теплоносія у внутрішньому корпусі також сприяє процесу одержання монодисперсних гранул правильної форми. Швидкість руху висхідного потоку теплоносія є достатньою, щоб перевести гранули у зважений стан та не досягти критичного значення, при якому спостерігається руйнування гранули та унесення її потоком теплоносія (порушення балансу між силами аеродинамічного опору краплі газовому потоку, поверхневого натягу в краплі і сили тертя, яка виникає на межі контакту краплі з потоком теплоносія). В міжкорпусній кільцевій порожнині процеси кристалізації та охолодження відбуваються інтенсивніше за рахунок збільшення швидкості відведення теплоти з гранул в результаті вихрового режиму руху теплоносія під дією градієнту колової швидкості та відцентрової сили. В цей момент на поверхні краплі вже сформовано тверду оболонку, підвищення інтенсивності руху теплоносія та його спіралеподібний рух не чинять вплив на форму гранул. Таке конструктивне рішення дозволяє:

- зменшити габарити обладнання;
- зменшити енергетичні витрати на проведення процесу;
- збільшити ступінь монодисперсності продукту.

Вихровий гранулятор для одержання гранул пористої структури з попереднім зволоженням (рисунок 37, а).

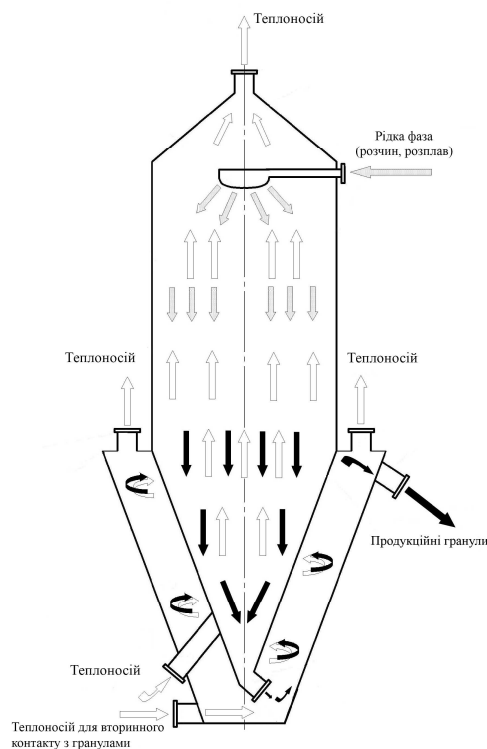


Рисунок 36 – Двезонний вихровий гранулятор

Попереднє зволоження гранули рідким матеріалом дозволяє:

- створити розвинену пористу структуру на її поверхні вже в межах ядра зваженого шару на початковому етапі контакту з вихровим потоком високотемпературного теплоносія (до виходу гранули на дзеркало псевдозрідженого шару);
- знизити вірогідність забруднення стінок внутрішнього конуса;
- запобігти можливості зіткнення окремих крапель рідкого матеріалу внаслідок відсутності процесу розпилення в об'ємі робочого простору.

Рівномірність висушування рідкого матеріалу на поверхні гранули та однорідність поверхневої пористої структури досягається також за рахунок зменшення впливу зустрічного вихрового вісесиметричного потоку теплоносія та

рівномірності розподілу зволжених гранул у зваженому шарі.

Вихровий гранулятор для одержання гранул пористої структури з попереднім зволоженням та сушінням (рисунок 37, б)

Первинне сушіння зволоженої гранули висхідним потоком теплоносія зазначеним способом дозволяє проводити процес утворення пористого

поверхневого шару вже на етапі пневмотранспортування гранули до робочого об'єму пристрою після зволоження зі зменшенням впливу вихрового потоку.

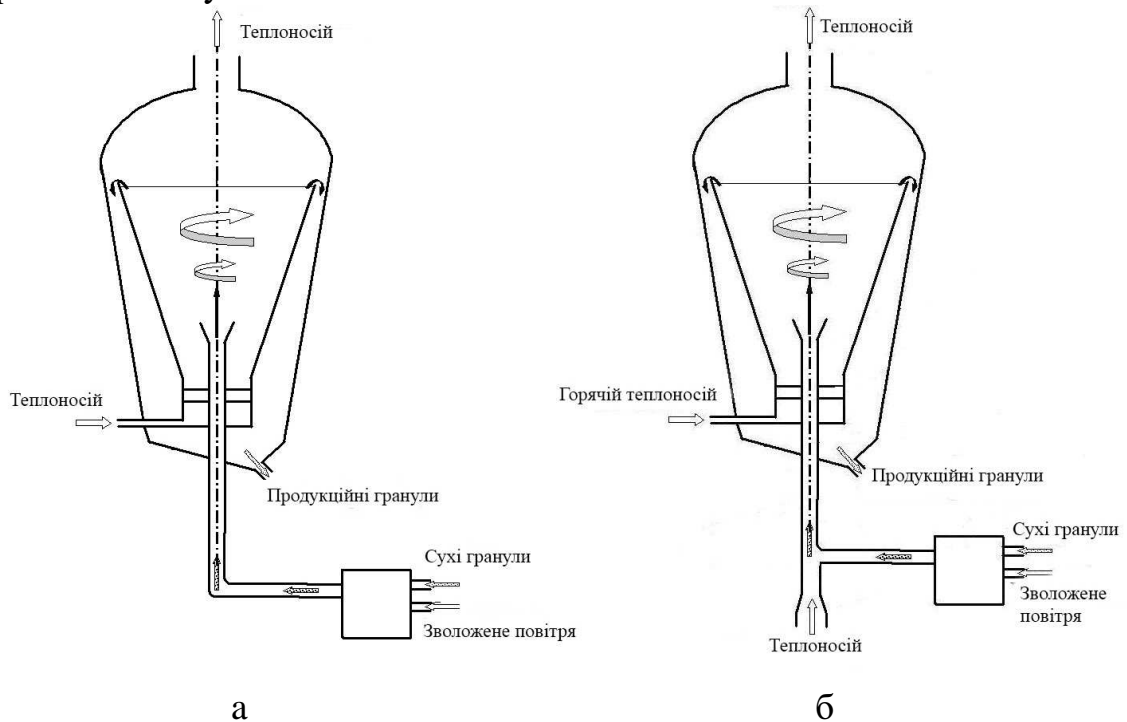


Рисунок 37 – Вихрові гранулятори для одержання гранул пористої структури: а – з попереднім зволоженням; б – попереднім зволоженням та сушінням

Попереднє зволоження та сушіння гранули дозволяє:

- знизити вірогідність забруднення стінок внутрішнього конуса;
- запобігти можливості агломерації гранул внаслідок підвищеної вологості;
- перешкодити утворенню застійних зон в нижній частині робочого простору пристрою.

Використання двох стадій контакту теплоносія з гранулою сприяє рівномірному пороутворенню завдяки поступовому підвищенню температури теплоносія, який контактує зі зволоженими гранулами. Внаслідок цього створення пористого поверхневого шару на гранулі проходить без різкого збільшення внутрішньої напруги, яка викликається різким перепадом температур між агентом для зволоження та високотемпературним теплоносієм. На етапі первинного сушіння та видалення вологи проводиться прогрів поверхневого шару на гранулі з поступовим формуванням пористої плівки, яка в подальшому разом з ядром гранули проходить повний прогрів на весь переріз гранули у потоці вихрового високотемпературного теплоносія.

Вихровий гранулятор з сепараційним пристроєм для очищення газів, які відходять (рисунок 38).

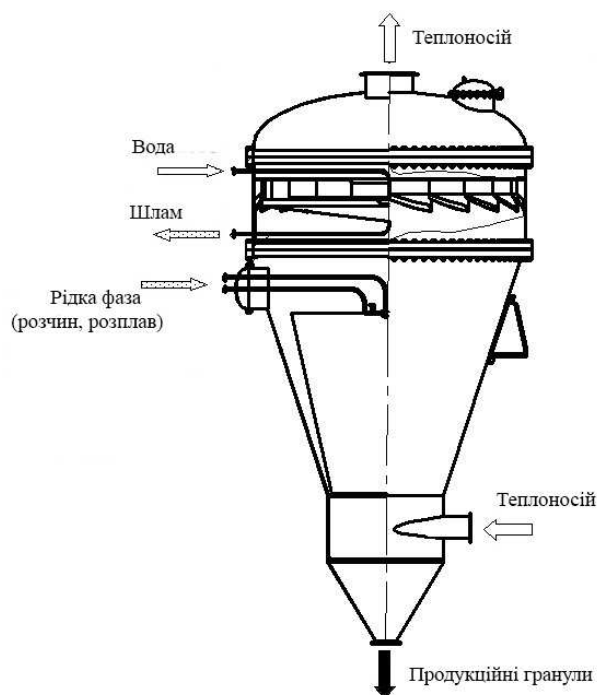


Рисунок 38 – Вихровий гранулятор з сепараційним пристроєм для очищення газів, які відходять

Спосіб гранулювання у вихровому зваженому шарі з очищенням відпрацьованого теплоносія дозволяє:

- розподілити потоки, що містять гранули дрібної фракції та пил по окремим ступеням в межах одного пристрою для подальшої обробки за різними механізмами сепарації;
- відділити гранули дрібної фракції з потоку відпрацьованого теплоносія та повернути їх до кільцевого простору між циліндричними та конічними обичайками робочого об'єму пристрою, а потім до зони гранулювання для дорощування до розміру товарної фракції.
- використати зону гідрофільтрування від пилу з інтенсивно вспіненим водогазоповітряним шаром з високою питомою поверхнею контакту фаз.

Основні переваги способу:

- для інерційної сепарації гранул дрібної фракції та створення вихрового водоповітряного шару використовується енергія вихрового газового потоку з робочого об'єму;
- утилізація енергії відпрацьованого теплоносія;
- зволоження повітря виробничих приміщень.

2.2 Приклади технологічних ліній [33-37]

Нижче (рисунок 39-42) наводяться приклади технологічних ліній одержання гранульованої продукції із застосуванням вихрових грануляторів, в яких присутні вузли утилізації відхідних газів з вихрового гранулятора, а також інші заходи, що сприяють зменшенню кількості небажаних домішок у відхідних газах.

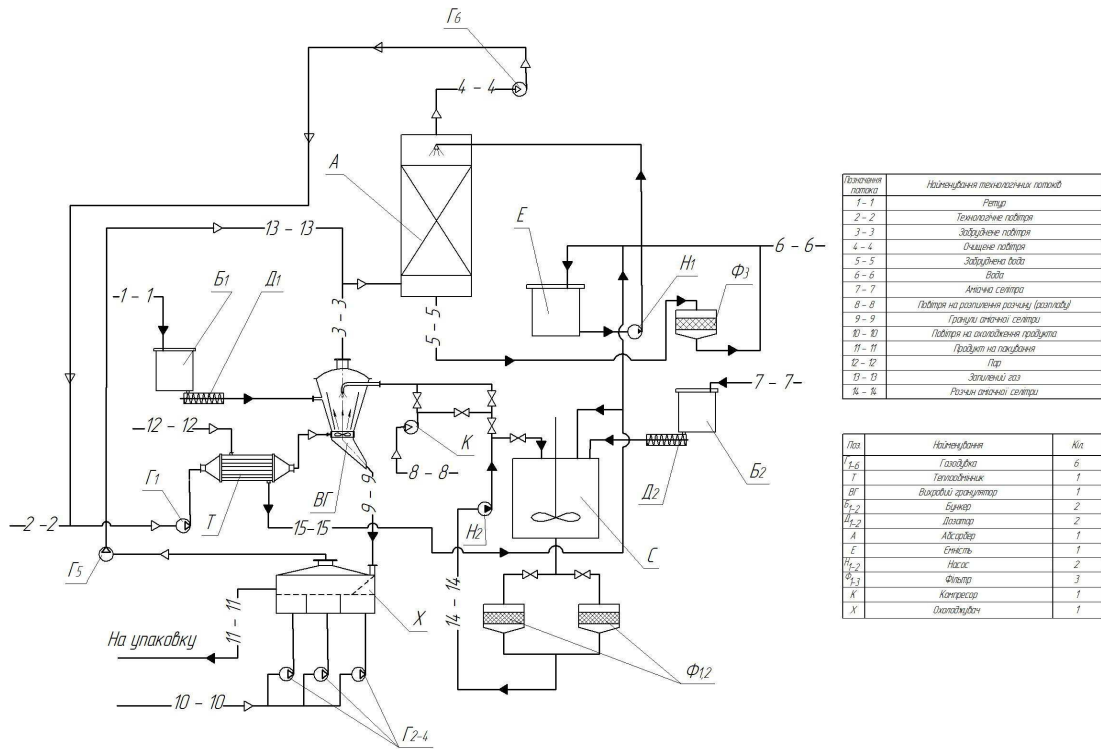


Рисунок 39 – Технологічна лінія гранулювання з розчинів (розплавів) із застосуванням вихрових контактних ступенів на стадії абсорбції

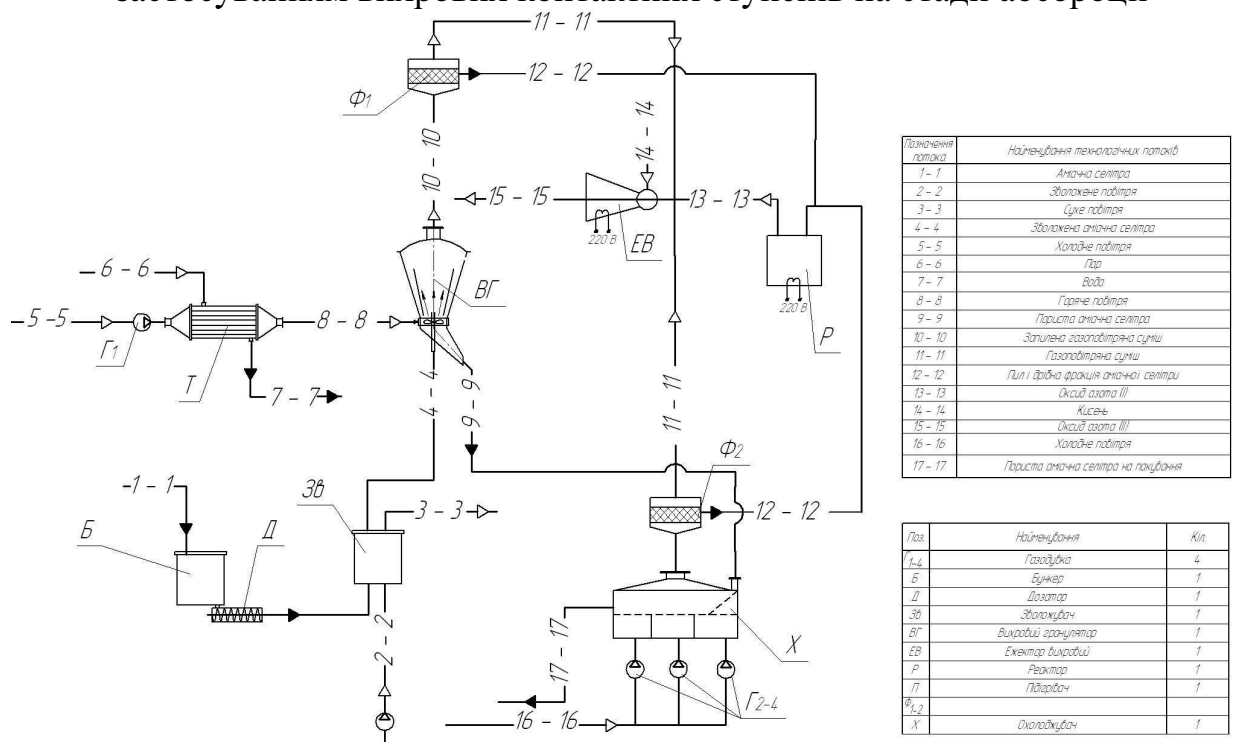


Рисунок 40 – Технологічна лінія гранулювання з розчинів (розплавів) із застосуванням вихрового ежектора

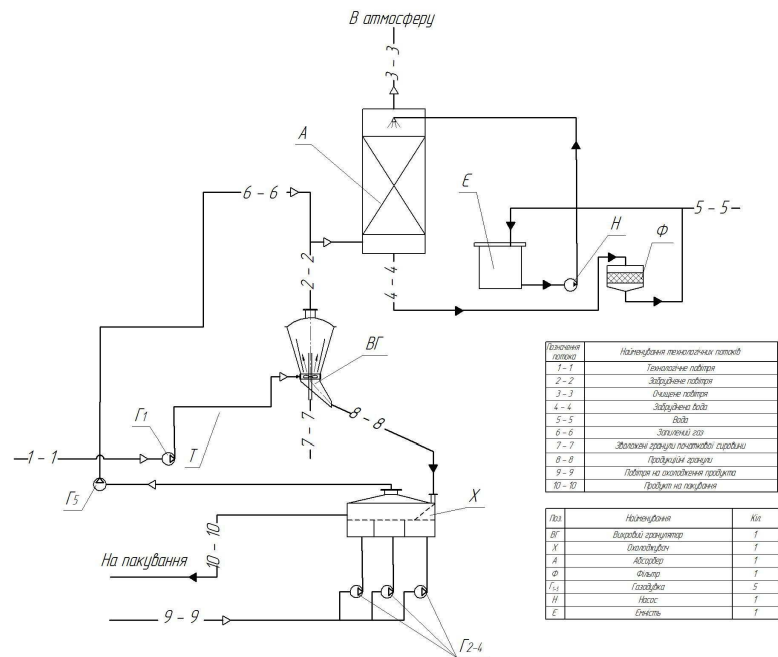


Рисунок 41 – Технологічна лінія одержання гранул з особливими властивостями (зокрема, пористої аміачної селітри)

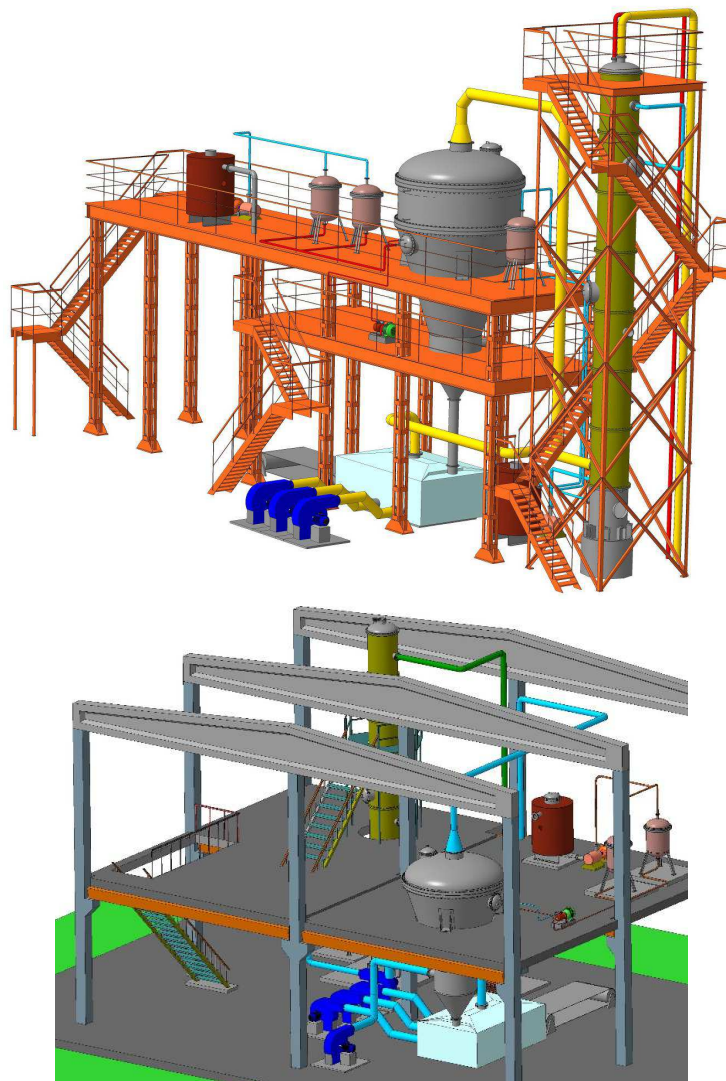


Рисунок 42 – Варіанти компоновки технологічних ліній одержання гранульованих продуктів

Список використаних джерел

1. Артюхов А.Є., Джаваїд А., Левченко Д.О. Методи утилізації відходів виробництва аміачної селітри / Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій. – Суми, 2015. – Ч.2. – С. 122.
2. Artyukhov A.E., Levchenko D.A., Rossi P.C. Production of ammonium nitrate in the vortex granulators: recycling of production waste / CLICAP 2015: Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. – 2015. – pp. 603-610.
3. Sklabinskyi V.I., Artyukhov A.E. Kononenko M.P. Environmental aspects implementation of high-granulation equipment for the production of nitrogen fertilizers / International Journal of Sustainable Development. –Varna, 2013. – Vol. 13. – pp. 10-16.
4. Артюхов А.Е., Москаленко К.В., Фурса О.С., Ведмедера В.С. Применение вихревых потоков для повышения энергетической эффективности и экологической безопасности грануляционных устройств / Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей Международной молодежной научно-технической конференции. - 2014. – С.74-76.
5. Артюхов А.Є., Москаленко К.В., Ведмедера В.С. Динаміка руху гранул у вихрових грануляторах зі змінною площею поперечного перерізу / Матеріали і всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів». – Рубіжне, 2015. – С.191-193.
6. Артюхов А.Є., Москаленко К.В., Фурса О.С., Покотило В.М. Дослідження процесів сепарації та класифікації гранул у вихрових грануляторах / Збірник наукових праць «Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій». – Одеса, 2014. – Випуск 45. –Т.1. – С. 149-152.
7. Артюхов А.Є., Москаленко К.В., Ведмедера В.С. Експериментальне дослідження траєкторії руху дисперсної фази у вихровому грануляторі / Збірник наукових праць: XV наукова конференція «Львівські хімічні читання – 2015». –Львів, 2015. – С.У41.
8. Артюхов А.Є., Москаленко К.В. Розробка екологічно безпечних вихрових грануляторів для виробництва аміачної селітри / Екологічна безпека держави: тези доповідей ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів. – Київ, 2015. – С.91-93.
9. Артюхов А.Є., Ведмедера В.С. Розрахунок траєкторій руху гранул у вихровому грануляторі / Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій. - Суми, 2015. - Ч.2. - С. 121.

10. Артюхов А.Е., Москаленко К.В., Фурса О.С. Классификация и сепарация гранул в вихревых грануляторах / Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва, 2015. – №5. – С. 15-18.
11. Артюхов А.Е. Оптимизация массообменно-сепарационных элементов колонных аппаратов для подготовки природного газа / Химическое и нефтегазовое машиностроение. – Москва, 2013. – №11. – С. 25-28.
12. Artyukhov A.E. Optimization of mass transfer separation elements of columnar equipment for natural gas preparation / Chemical and Petroleum Engineering. – Berlin, 2014. – Vol .49, Nos 11-12. – □p. 736-740.
13. Artyukhov A.E., Javaid A. Influence of hydrodynamic flow movement on the design of heat and mass transfer vortex trays / VII International scientific-technical conference «Advance in petroleum and gas industry and petrochemistry». – Lviv, 2014. – p. 115.
14. Artyukhov A., Liaposhchenko O. Conditions of counterflow motion phases on mass transfer and separation trays for distillation and absorption columns / Journal of Hydrocarbons Mines and Environmental Research. –Rennes, 2014. –Vol. 5(1). – pp. 21-27.
15. Artyukhov A.E., Javaid A. Use of computer simulation for finding optimal design of heat and mass transfer vortex trays / Збірник наукових статей Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції "Комп'ютерне моделювання в хімії, технологіях і системах сталого розвитку". - 2014. - С.162-163.
16. Artyukhov A.E., Moskalenko K.V., Fursa O.S. Investigation of the Gas Stream Motion in the Vortex Granulator / International Journal of Research and Innovations in Science and Technology. – 2014.– Vol. 1. – pp. 11-17.
17. Artyukhov A.E., Javaid A. Calculation of optimal design of heat-mass transfer separation vortex trays / Журнал інженерних наук . – 2014. - Том 1, № 1. – С. В1-В7.
18. Комп'ютерна програма "Vortex tray" / А.Є. Артюхов, А. Джаваїд // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №55360. -19.06.2014.
19. Артюхов А.Е., Ляпощенко А.А, Склабинский В.И. Инерционно-фильтрующие сепараторы для очистки отходящих газов в вихревых грануляторах / Материалы VI Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании». – Днепропетровск-Варна, 2010. – Том I. – Ч.1.– С. 67-69.
20. Артюхов А.Є., Ляпощенко О.О., Склабінський В.І. Перспективи отримання гранул з особливими властивостями в малогабаритних вихрових апаратах / Ж. Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки. – Суми, 2009. – №4. – С. 14-21.
21. Артюхов А.Є., Коробченко К.В., Ляпощенко О.О., Склабінський В.І. Гидродинамика аппаратов с вихревыми и высокотурбулизированными потоками / Збірник наукових праць «Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій». – Одеса. – 2010. – Випуск 37. – С. 310-315.

22. Артюхов А.Є., Ляпощенко О.О. Компьютерное моделирование гидродинамики секций газожидкостной сепарации в абсорберах колонного типа / Материалы VII Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании». – Днепропетровск-Варна, 2011. – Том II. – С. 575-576.

23. Артюхов А.Е., Левченко Д.А. Утилизация закиси азота при гранулировании аммиачной селитры / Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность». – Стерлитамак, 2013. – С. 73.

24. Artyukhov A.E., Levchenko D.A., Prokopov M.G. Investigation of liquid-steam stream compressor / Applied Mechanics and Materials. – 2014 – Vol. 630. – pp. 109-116.

25. Патент № 29950 Україна, МПК (2006) B01J2/16. Пристрій для гранулювання рідкого матеріалу / А.Є. Артюхов, В.І. Склабінський, А.С. Стеценко.

26. Патент № 82754 Україна, МПК (2006) B01J2/16. Спосіб гранулювання рідкого матеріалу та пристрій для його здійснення / А.Є. Артюхов, В.І. Склабінський.

27. Патент № 90798 Україна МПК (2009) B01J2/16, B01J8/08, B01J8/18. Спосіб отримання гранул пористої структури та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Є., Склабінський В.І., Жеба К.В.

28. Патент № 99023 Україна МПК (2012.01) B01J2/16 (2006.01), B01J2/00. Спосіб отримання гранул пористої структури та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Є., Склабінський В.І.

29. Заявка №a201403429 Україна. Спосіб одержання гранул у зваженому шарі та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Є., Склабінський В.І., Демченко А.М.

30. Заявка №a201403428 Україна. Спосіб гранулювання рідкого матеріалу та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Є., Демченко А.М.

31. Заявка №a201409522 Україна. Спосіб гранулювання у вихровому зваженому шарі з очищенням відпрацьованого теплоносія та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Є., Ляпощенко О.О., Ведмедера В.С.

32. Artyukhov A.E., Omelyanenko V.A., Sklabinsky V.I. Integrated marketing application in development and technologies transfer in university (case of chemical industry) / CII International Research and Practice Conference "Modern trends in the intensive development of public relations and actual methods of their effective regulation", London, August 26–31, 2015 (режим доступу: <http://gisap.eu/node/79511>).

33. Артюхов А.Є., Склабінський В.І. Розробка методики інженерного розрахунку вихрових грануляторів / Ж. // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск, 2007. – №5. – С. 209-211.

34. Артюхов А.Є., Склабінський В.І. Промислове впровадження апаратів вихрового типу для отримання гранульованих продуктів / Збірник наукових

праць «Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій». – Одеса, 2008. – Випуск 32. – Т.2. – С. 16-21.

35. Артюхов А.Е., Склабинский В.И., Жеба К.В. Внедрение новых методов получения гранул с особыми свойствами в вихревых аппаратах / Материалы V Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании» – Днепропетровск-Варна, 2009. – Том I. – С. 167-169.

36. Артюхов А.Е., Демченко А.Н. Применение вихревых аппаратов для получения гранул пористой структуры / Материалы научно-практической конференции, посвященная 22-ой годовщине Комратского государственного университета «Наука, культура, образование». – Комрат, 2013. – С. 3.

37. Склабинский В.И., Артюхов А.Е. Опытнo-промышленное внедрение процесса получения пористой аммиачной селитры в вихревых грануляторах / Научный вестник Национального горного университета. – 2013. – №6. – С. 42-48.

Артюхов А.Є., Ведмедера В.С., Кремнев О.В. Застосування вихрових і високотурбулізованих потоків в технології утилізації відходів виробництва аміачної селітри: Конкурсна наукова робота на I Всеукраїнському конкурсі «Молодь і прогрес у раціональному природокористуванні-2015» [Текст]/ А.Є. Артюхов, В.С. Ведмедера, О.В. Кремнев – Суми: СумДУ, 2015. – 36 с.