



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Я.М. Корнієнко., М.П. Мельник, О.В. Мартинюк

**Струменево-пульсаційний режим
псевдозрідження**

Монографія

КИЇВ 2013

Струменево-пульсаційний режим псевдозрідження. [Електронний ресурс]: монографія для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. Я.М. Корнієнко., М.П. Мельник, О.В. Мартинюк. - Київ : НТУУ „КПІ”, 2013. - 235 с.

*Гриф надано Вченою радою НТУУ „КПІ”
(Протокол № 11 від 04 листопада 2013р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

Табл. 1. Бібліогр. назв. 34

Відповідальний редактор: Степанюк Андрій Романович, доц. к.т.н.

Рецензенти:

Сідоров Дмитро Едуардович, доцент, к.т.н.

Корінчук Дмитро Миколайович, старший науковий співробітник, к.т.н.

Навчальне видання

Корнінко Ярослав Микитович

Мельник Максим Петрович

Мартинюк Олександр Владиславович

СТРУМЕНЕВО-ПУЛЬСАЦІЙНИЙ РЕЖИМ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ

МОНОГРАФІЯ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	9
1 ЗАСАДИ СТРАТЕГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ	11
1.1 Основні засади сталого розвитку.....	11
1.2 Класифікація мінеральних добрив за впливом на агроєкосистему.....	13
1.3 Способи одержання органо-мінеральних добрив.....	16
1.4 Устаткування для отримання органо-мінеральних добрив.....	22
1.5 Гранулятори псевдозрідженого шару.....	26
1.6 Базові конструкції газорозподільних пристроїв.....	34
1.7 Механізм та кінетика гранулоутворення при зневодненні рідких	43
1.8 Висновки.....	54
2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛОУТВОРЕННЯ ТВЕРДИХ КОМПОЗИТІВ З ПОШАРОВОЮ СТРУКТУРОЮ.....	56
2.1 Структурна модель процесу гранулоутворення.....	56
2.2 Фізична модель процесу утворення мінерально-гумінових твердих композитів з пошаровою структурою.....	59
2.3 Математична модель утворення мінерально-гумінових твердих композитів з пошаровою структурою.....	63
2.4 Числовий розв'язок математичної моделі.....	71
2.5 Розроблення конструкції газорозподільної решітки.....	72
2.6 Методика проведення комплексних експериментальних досліджень	73

2.6.1	Методика визначення коефіцієнту гідравлічного опору газорозподільного пристрою.....	73
2.6.2	Методика визначення об'ємних витрат теплоносія в апараті.....	76
2.6.3	Визначення кінетичних характеристик процесу зневоднення органічно-мінеральних багат шарових твердих композитів з рідких систем.....	78
2.6.4	Визначення пористості пошарових гуміново-мінеральних твердих композитів.....	85
2.6.5	Визначення міцності пошарових гуміново-мінеральних твердих композитів.....	85
2.7	Опис пілотної установки.....	86
3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	92
3.1	Дослідження гідродинамічних характеристик псевдозрідження.....	92
3.2	Кінетика процесу утворення азотно-гумінових композитів.....	98
3.3	Кінетика процесу утворення азотно-кальцієво-гумінових композитів	108
3.4	Кінетика процесу утворення азотно-кальцієво-гумінових композитів модифікованих бентонітом...	115
3.5	Перевірка адекватності математичної моделі.....	122
3.6	Висновок.....	126
4	ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	128
4.1	Опис технологічного процесу.....	128
4.2	Конструктивно-технологічні засади гранулятора.....	130
4.3	Методика розрахунку апарату для одержання багат шарових гуміново-мінеральних твердих композитів.....	134

4.4 Виведення.....	149
ВИСНОВКИ.....	152
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	153
ДОДАТОК А РОЗРАХУНОК КАМЕРНОЇ ДІАФРАГМИ.....	157
ДОДАТОК Б РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ.....	163
ДОДАТОК В1 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....	181
ДОДАТОК В2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ АЗОТНО- ГУМІНОВИХ БАГАТОШАРОВИХ ТВЕРДИХ КОМПОЗИТІВ.....	183
ДОДАТОК Г АЛГОРИТМ ТА ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ГРАНУЛЯТОРА ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ.....	205

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ІНДЕКСІВ

Умовні позначення:

$g(d)$ – функція масового розподілення гранул за розмірами, 1/мм;

$\varphi(d)$ – функція притоку та стоку гранул, 1/мм год;

$S(d)$ – функція сепаратора;

n, z – коефіцієнти γ - розподілення;

Λ – лінійна швидкість росту розмірів частинок, мм/год;

ψ – коефіцієнт гранулоутворення, %;

K – константа вивантаження, 1/год;

$H_{\text{ш}}$ – висота шару, м;

$t_{\text{п}}$ – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;

$G_{\text{вив}}$ – кількість кінцевого продукту, вивантаженого з апарата, кг/год;

$G_{\text{м}}$ – кількість сухих речовин, яка подається в апарат з розчином, кг/год;

$G_{\text{ш}}$ – маса псевдозрідженого шару, кг;

$\Delta P_{\text{ш}}$ – гідравлічний опір шару, Па;

$F_{\text{а}}$ – площа апарата в зоні газорозподільного пристрою, м^2 ;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

$D_{\text{е}}$ – еквівалентний діаметр часток в шарі, м;

N – загальна кількість часток в шарі, шт;

$\rho_{\text{т}}$ – густина частинок, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$f_{\text{ш}}$ – загальну поверхню часток в шарі, м^2 ;

$a_{\text{ф}}$ – щільність зрошення поверхні шару за вологістю, $\text{кг вол}/\text{м}^2\text{год}$;

Q – загальна витрата теплоти, кДж;

L – масова витрата теплоносія, кг/год;
 x_i – масова доля i -тої фракції, по даним ситового аналізу;
 d_i – середній розмір i -тої фракції, мм;
 G_i – маса i -тої фракції, кг;
 $\Delta D = (D_2 - D_1)$ – діапазон розмірів i -тої фракції, мм;
 D_1, D_2 – розміри отвору двох сумісних сит, м;
 F_p – площа живого перерізу ГРП, м²;
 φ – коефіцієнт живого перерізу, %;
 ΔP_p – гідравлічний опір ГРП, Па;
 ξ – коефіцієнт гідравлічного опору;
 $\rho_{\text{пт}}$ – густина повітря, що подається в апарат при даній температурі, кг/м³;
 V – витрати повітря при нормальних умовах, м³/год;
 ΔP_d – перепад тиску на камерній діафрагмі, Па;
 W – кількість видаленої вологи, кг/год;
 g_r – витрати природного газу на 1 кг повітря, яке нагрівається, кДж/кг;
 i_1 – ентальпія повітря, яке виходить з теплогенератора, кДж/кг;
 i_0 – ентальпія повітря, яка надходить до теплогенератора, кДж/кг;
 t_2 – температура теплоносія на виході з апарата, °С;
 t_0 – температура повітря перед калорифером, °С;
 Θ_1, Θ_2 – відповідно температура матеріалу до і після гранулятора, °С;
 q_v – втрати в навколишнє середовище приймаються, кДж;
 P – абсолютний тиск у грануляторі в Па;
 D – поточне значення діаметра частинок в шарі, м;
 D_y – мінімальний діаметр частинок, що виносяться з апарата теплоносієм,
 м;

S_1 – масова частка частинок розміром D_1 у готовому продукті.

Числа (критерії) подібності:

Re – число Рейнольдса;

Ar – число Архімеда;

Pr – критерій Прандтля.

Перелік скорочень:

ГРП – газорозподільний пристрій;

ПШ – псевдозріджений шар;

СА – сульфат амонію;

Г – гумінові речовини;

К – калій;

Са – кальцій;

БР₁, БР₂, БР₃ – блоки регулювання.

Вступ

Основним призначенням сільськогосподарських земель є вирощування на них врожаю культур. Величина врожаю за однакових кліматичних та економічних умов та нормативних затрат буде залежати від родючості ґрунтів, які входять до складу землеволодіння. Родючість ґрунту – це його здатність відповідати потребам рослин і забезпечити їх водою, елементами живлення, а їхні кореневі системи – сприятливими екологічними умовами. Родючість ґрунту залежить від багатьох його властивостей, а в основному визначається кінцевою кількістю показників, серед яких найпоширенішим є вміст гумусу[1].

Аналіз динаміки змін якісних показників ґрунтів в останні роки свідчить про стійкість тенденції зниження родючості ґрунтів, що може призвести до кризового стану в сільському господарстві.

Важливим засобом покращення насичення сільськогосподарських культур поживними речовинами є застосування органічних і мінеральних добрив, тобто внесення поживних гуміново-мінеральних речовин в ґрунт.

В умовах сучасного поступу цивілізації загострюється продовольча проблема – населення земної кулі неухильно зростає і переважно в регіонах, що не підлягають самозабезпеченню. Країни з високим рівнем родючості ґрунтів і технологіями хліборобства поступово стають донорами з продовольчого забезпечення, проте, їх кількість обмежена. У міру поширення на планеті демографічного вибуху їх значимість підвищуватиметься.

До нечисельних і перспективних держав із сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами і інтелектуальним та виконавчим потенціалом належить Україна. Адже на нашій території зосереджено близько 29%

світових площ чорноземних ґрунтів із задовільними або регульованими умовами вирощування сільськогосподарських культур високої якості. Це зернові, олійні, овочеві й плодові культури, які можуть конкурувати на світовому ринку. Проте, внаслідок соціальних і політичних причин, родючість наших земель деградує у бік інтенсивних втрат гумусу, збільшення кислотності ґрунтового розчину, пов'язаного з декальцинацією земель в обробітку.

Деградаційні процеси посилюються у зв'язку із відсутністю державної програми хімічної меліорації земель з кислотою (понад 10 млн. га в обробітку) або з лужною (понад 4 млн. га) реакцією ґрунтового розчину. Наявні поклади вапнякових порід можуть задовольнити потребу у повільнодіючих меліоративних матеріалах, і їх можна розглядати як потенційні запаси для поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунтів України [1].

1 Засади стратегії збереження ґрунтів в Україні

1.1 Основні засади сталого розвитку

Сталий розвиток — загальна концепція стосовно необхідності встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їхню потребу в безпечному і здоровому довкіллі.

Сталий розвиток — це керований розвиток. Основою його керованості є системний підхід та сучасні інформаційні технології, які дозволяють дуже швидко моделювати різні варіанти напрямків розвитку, з високою точністю прогнозувати їхні результати та вибрати найбільш оптимальний.

Для оцінки розвитку окремої країни світового співтовариства академіком Згуровським М.З. запропоновано методологію визначення індексу сталого розвитку, який визначається на підставі економічного, екологічного та соціального розвитку [2, 3].

За даними [2, 3] Україна перебуває на 47 місці за сумарним індексом сталого розвитку. Хоча валовий національний дохід на душу населення за паритетом купівельної спроможності в Україні є вшестеро меншим, ніж у Фінляндії, яка за сумарним індексом сталого розвитку посідає перше місце (\$29,6 млн. проти \$6,5 млн.), її сумарний індекс сталого розвитку нашої країни є меншим лише в 1,6 рази (7,8 проти 4,6). Перше місце за економічним індексом посів Гонконг, Україна займає 91 місце. За цим показником серед постсоціалістичних країн Україну випереджають лише Естонія й Молдова, Росія займає 98 місце. За індексом екологічного виміру перше місце посідає Фінляндія, Україна – 108-е. Серед постсоціалістичних країн у Латвії 15-е, у Естонії – 27, у Росії – 33, у

Молдови – 58-е місце. За індексом соціального виміру перше місце займає Норвегія, Україна займає 72-е, випередивши Молдову та Росію. Виходячи з аналізу результатів розвитку, найбільш актуальними для України є соціальний, екологічний та інституційний напрями розвитку [2, 3].

Основним завданням сьогодення є відбудова та реформування однієї з найважливіших галузей України, а саме сільського господарства.

Одним з найбільш важливих чинників, що визначає врожайність сільськогосподарських культур, є родючість ґрунтів, обумовлена вмістом в них гумінових речовин і мінеральних поживних речовин (NPKCa). На Україні у формуванні приросту врожаю культур добрива займають 30-40%, насіння – 10-20, засоби захисту рослин – 20-25%, сівозміна – 10%, обробіток ґрунту – 20-30%.

Разом із винесенням гумінових речовин з ґрунтів, виносяться і поживні речовини, а також кальцієвмісні компоненти, що служать для зв'язування гумінових речовин. Станом на 2009 р. насиченість органічними добривами складала 1,2-1,5 т/га (проти 9 т/га у 1985р.) і мінеральними – 20 кг діючої речовини NPKCa (проти 140-160 кг/га у 1985 р.). Зниження насиченості ґрунтів органо-мінеральними сполуками призвело до зменшення урожайності зернових у 1,5-1,8 рази, технічних культур у 1,5 рази.

Особливого значення набувають добрива пролонгованої дії з заданими властивостями. Для забезпечення рослин біогенними елементами протягом всього вегетаційного періоду розроблені основні принципи формування складу комплексних органо-мінеральних добрив пролонгованої дії, які містять у збалансованому співвідношенні поживні речовини органічного матеріалу, природні мінерали та біологічно активні сполуки, необхідні для нормального розвитку рослин. Функціонування такого комплексу, що включає як мінеральні, так і органічні компоненти,

визначається технологічним регламентом виготовлення добрив [4].

1.2 Класифікація мінеральних добрив за впливом на агроєкосистему

Мінеральні добрива - це екзогенні хімічні сполуки, за своїм складом поділяють на прості (містять лише один компонент із головних елементів живлення) і комплексні (містять не менше двох головних елементів живлення). Прості мінеральні добрива, залежно від елемента живлення, поділяють на азотні, фосфорні, калійні, магнієві, сірчані тощо, а комплексні - на складні, складно-змішані і змішані. За характером безпосередньої дії на ґрунт і рослини мінеральні добрива класифікують як фізіологічно й біологічно кислі, хімічно й фізіологічно лужні та фізіологічно нейтральні [5].

В основі класифікації мінеральних добрив за ступенем небезпечності лежить структура показників, яка враховує їхній вплив на екоотоксикологічний, агрохімічний, гідрохімічний стан агроєкосистеми. У межах визначених показників мінеральні добрива поділяють на 4 класи небезпечності (згідно з рекомендаціями ВООЗ щодо поділу хімічних речовин): I – високо небезпечні; II - небезпечні; III - помірно небезпечні; IV – мало небезпечні. Діапазон показників у межах класів небезпечності визначають за існуючими українськими і міжнародними нормативами.

Розроблена класифікація мінеральних добрив дає можливість провести їхню агроєкологічну оцінку, визначити можливі негативні впливи і вчасно ввести обмеження на використання у сільськогосподарському виробництві добрив, які не відповідають певним екологічним нормативам.

При вивченні адитивних ефектів, ступінь стійкості агроєкосистеми

щодо хімічних речовин-забруднювачів оцінюють для конкретної речовини, джерелом якої може виступати мінеральне добриво. За М. Глазовською розрізняють [6]:

- педохімічно активні речовини, які створюють кислотно-основні та окисно-відновні умови в ґрунті і впливають таким чином на загальний стан ґрунтової системи (переважно макроелементи та їхні сполуки - NO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+);

- біохімічно активні речовини, які передусім впливають на живі організми - мікрофлору, рослини, тварини (As, Cd, Pb, Cr, Zn, Ni, Cu, Sn, Hg, F - тощо);

- речовини, здатні перебувати в ґрунті у таких формах, що призводить до їхньої міграції в поверхневі, ґрунтові та підземні води (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F, Cd, Zn тощо).

За класифікацією В. Патики та Н. Макаренко [7] мінеральні добрива залежно від особливостей впливу на агроєкосистему поділяються на (рисунок 1.1):

- директивної (прямої) дії - негативний вплив на природне середовище спричинений токсичними домішками мінеральних добрив, серед яких найнебезпечнішими є галогени, радіонукліди тощо, які і є безпосередніми забруднювачами (до цієї групи насамперед належать фосфорні добрива);

- індирективної (непрямої) дії - негативний вплив на природне середовище відбувається внаслідок фізико-хімічних властивостей мінеральних добрив, які в ґрунті проявляють себе як хімічно, фізіологічно, біологічно кислі (лужні) і певним чином впливають на стан ґрунтового комплексу. При цьому змінюється реакція ґрунтового розчину, направленість процесів синтезу та розпаду гумусових сполук, активність

біохімічних, мікробіологічних та інших процесів.

Тим самим, зазначені добрива змінюють рухомість біогенів та токсикантів і можуть активізувати процеси міграції останніх у системах "добриво-грунт-рослина", "добриво-грунт-природні води". До таких добрив, передусім, належать азотні, які здебільшого є фізіологічно кислими або лужними.

Наведений поділ певною мірою умовний. Зокрема, фосфорні добрива можуть змінювати реакцію ґрунтового розчину, але цей вплив не такий значний, як азотних добрив. Азотні добрива можуть бути джерелом токсичних елементів, хоча значно меншою мірою, ніж фосфорні. Слід зазначити, що згідно з наведеним групуванням, більшість калійних і комплексних добрив займає проміжне положення.

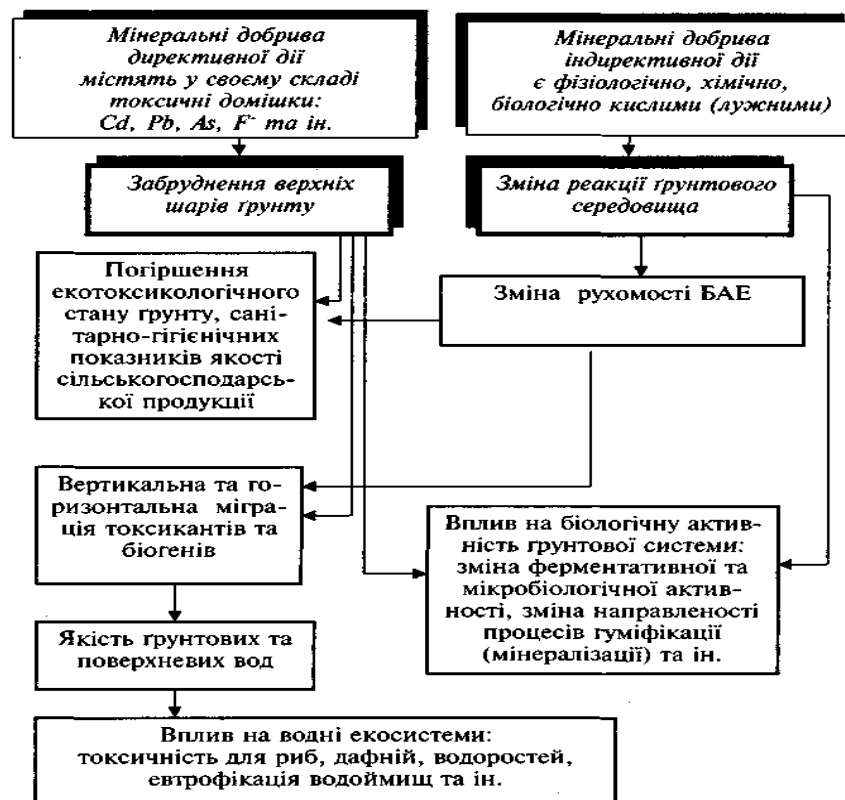


Рисунок 1.1 - Приблизна кваліфікація мінеральних добрив за особливостями впливу на ґрунтову систему

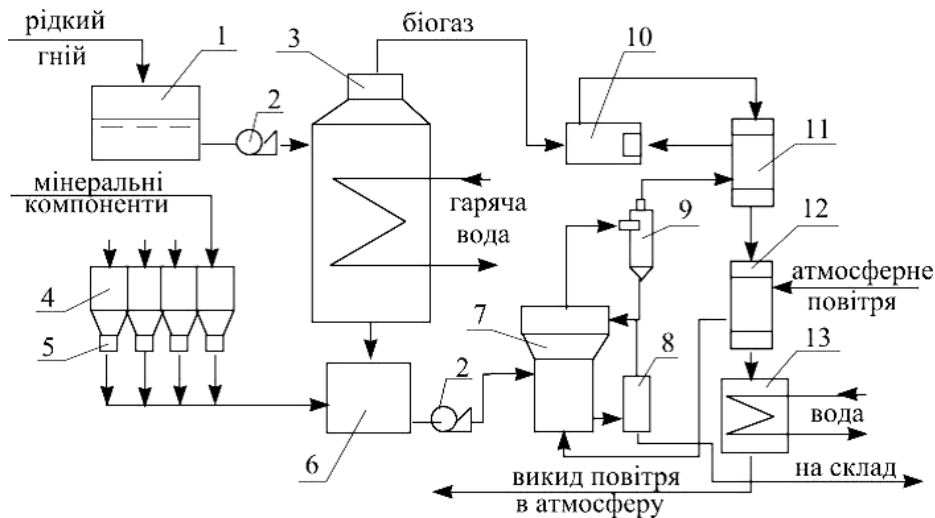
Нові способи створення багатшарових органо-мінеральних твердих композитів із заданими хімічними і фізико-механічними властивостями сприятимуть відновленню та збереженню родючих ґрунтів.

1.3 Способи одержання органо-мінеральних добрив

1.3.1 Виробництво гранульованих органо-мінеральних добрив з рідких відходів тваринництва або птахівництва

Автори роботи [8] пропонують спосіб отримання рідких органо-мінеральних добрив на основі рідких відходів тваринництва або птахівництва.

Вказаний спосіб одержання гранульованих добрив на органічній основі реалізований у пристрої 3, схема якого представлена на рисунку 1.



- 1 – приймальний збірник; 2 – насос; 3 – біогазів реактор; 4 – бункер;
 5 – живильник; 6 – збірник з органо-мінеральною пульпою; 7 – гранулятор;
 8 – сепаратор; 9 – циклон; 10 – піч; 11, 12 – теплообмінник; 13 –
 рекуператор.

Рисунок 1.2 – Принципова схема одержання гранульованих органо-мінеральних добрив на основі рідких органічних відходів

Згідно приведеної технологічної схеми рідкі органічні відходи, до складу яких можуть входити гній, послід, відходи гідролізно-дріжджових виробництв, стічні води спиртових або цукрових заводів та інші відходи сільськогосподарських та переробних виробництв або їхня суміш, накопичуються у приймальному збірнику 1. Вказана суміш насосом 2 направляється до біогазового реактора 3, де відбувається первинна переробка органічної речовини: складні органічні сполуки розкладаються до простих, доступних для рослин сполук. При цьому виробляється біогаз, який витрачається при сушінні та гранулюванні органо-мінеральних добрив.

У збірнику 6 готують органо-мінеральну пульпу шляхом поєднання у заданому співвідношенні органічної сировини після біогазового реактора та мінеральних компонентів, які накопичуються у бункерах 4 та за допомогою живильників 5 дозуються у збірник 6.

Одночасне гранулювання та сушіння одержаної пульпи проводять в апараті 7. До переваг цього апарату можна віднести те, що в ньому утворюються гранули за формою, близькою до сферичної, до того ж гранули однорідні завдяки постійній сепарації одержаних гранул у сепараторі 8. При цьому дрібні гранули постійно повертаються в гранулятор 7 на дорошування, а товарна фракція без додаткової обробки направляється на склад.

Відпрацьовані гази із гранулятора 7 очищуються від пилу в циклоні 9 і через теплообмінник 11 направляються на термічне очищення у піч 10, де відбувається розкладання небезпечних речовин та речовин з неприємним запахом, таких як оксиди вуглецю, метан, аміак, сірководень, сірчанистий ангідрид, меркаптани та ін. Для економії витрат горючих компонентів вихлопні гази спочатку підігріваються у теплообміннику 11 за рахунок тепла газів після термічного очищення у печі 10.

Для запобігання надходження продуктів спалювання у добрива, що виробляються, сушіння проводиться нейтральним теплоносієм – атмосферним повітрям, яке перед подачею у гранулятор 7 нагрівається у теплообміннику 12 за рахунок тепла вихлопних газів після пічки 10. Остаточне тепло вихлопних газів перед скиданням у повітря утилізують у рекуператорі 13 для нагрівання води, яка використовується для обігріву біогазового реактора 3 та на потреби ферми.

Недоліками є: висока імовірність зберігання збудників хвороби сальмонели, що притаманна продукції птахівництва; значні витрати на транспортування.

1.3.2 Органо-мінеральні відклади Чорного моря як сировина для біоактивних добрив

Автори роботи [1] пропонують використовувати органічні відкладання Чорного моря, які мають унікальне походження, пов'язане з геологічними катаклізмами на початку неоліту (близько 5000 р. до н.е.) внаслідок прориву середземноморських вод в Чорне море. Органічні рештки моря-озера і планктон стали основою сапропелевидних відкладів і коколітових мулів.

У територіальних водах України ці поклади залягають на глибинах 1200–2000 м, їх прогнозовані запаси становлять близько 7 млрд. т. Експедиції, проведені в 90-х роках ХХ ст. у територіальних водах України та у 2010 р. – Болгарії, забезпечили відділ агрохімії і фізіології рослин ННЦ «Інститут землеробства НААН» вихідним матеріалом для визначення його агрохімічної і агрономічної цінності [1].

Характерною особливістю цих відкладень є наявність 24 % (у сухій масі) органічної речовини, понад 1 % азоту загального і калію, понад 3 %

сірки та 10 % кальцію. В органо-мінеральних відкладах містяться корисні для рослин мікроелементи – бор, марганець, цинк, ряд рідкісноземельних металів (ітрій, літій, цирконій та ін.). Їх концентрація не перевищує нормативи, встановлені для добрив. За вмістом важких металів – свинцю, кадмію і ртуті – їх можна вважати екологічно чистими [1].

Але найважливішою ознакою ГВОМО є те, що сполуки кальцію, які входять до їх складу, мають органічну природу. За внесення добрив, виготовлених на основі цих мулів, що пройшли біоконверсію, сполуки кальцію та інших активуючих ріст речовин проявляють високу ефективність у перший рік. Наявність комплексу біогенних елементів та активність сполук кальцію відкриває високі потенційні можливості для просування нового продукту на ринок України та інших країн [13].

Недоліками є: складна технологія добування органічних відкладів з дна водних ресурсів України та їх перероблення, відповідно висока собівартість, а також ризики щодо порушення екологічної рівноваги.

1.3.3 Спосіб отримання мікробного органо-мінерального добрива з властивостями імуномодулятора з лікуючими властивостями.

Автори роботи [9] пропонують спосіб отримання мікробного органо-мінерального добрива з гумусовмісних речовин шляхом попереднього перемішування гумусовмісних речовин з рідиною, що властивостями імуномодулятора з лікуючими властивостями.

Спосіб отримання мікробного органо-мінерального добрива з гумусовмісних речовин шляхом попереднього змішування гумусовмісних речовин і рідкого середовища, перемішування з подальшою екстракцією водної витяжки, причому гумусовмісні речовини змішують з рідким

культуральним середовищем, що містить живі культури мікроорганізмів в активній формі та їх метаболіти, що має титр від 1×10^4 КУО до 1×10^{10} КУО, гумосовмісні речовини змішують з рідким культуральним середовищем в процентному співвідношенні від 0,5% до 99,5% гумосовмісних речовин, решта - рідке культуральне середовище. Здійснюють ферментацію при перемішуванні або аерації до досягнення загального титру мікроорганізмів 1×10^8 до 1×10^{10} КУО, далі в отриману масу вносять консервант з властивостями бактеріостатика в концентрації від 1 г до 500 г сухого препарату або рідкого препарату в перерахунку на суху речовину на літр маси, отриману масу фільтрують, віджимають і отриманий розчин нормалізують. Винахід дозволяє отримати новий препарат з підвищеними ростостимулюючими, імуномодулюючими, захисними і лікуючими властивостями.

Недоліками відомого способу є: висока вартість та недостатнє вивчення дії на навколишнє середовище.

1.3.4 Спосіб переробки стічних вод

Автори роботи [10] пропонують переробку осадів міських стічних вод в органічні добрива. Спосіб переробки осадів стічних вод включає переробку опадів хімічними реагентами. Оброблені амінокислотним реагентом-детоксикантом, що містить іони міді, цинку, свинцю, хрому, кобальту, нікелю та кадмію, осади витримують до досягнення рН 7,2-7,5, з подальшим розподілом осадів на мулових полях і обробкою перемішаного з водою амінокислотним реагентом- детоксикантом, бактерициди, на основі гідратів гідроксоамінокислотних комплексних сполук міді (2+) з витримуванням обробленого осаду за часом, залежних від обсягу осаду на одному майданчику і числа місць дозування на мулових полях, і

повторною обробкою осаду, розподіленого на полі, амінокислотним реагентом-детоксикантом, виготовлений з білковмісних матеріалів, змішаними з водою у відсотковому співвідношенні 10% реагенту-детоксиканту до 90% води і витримкою осадів протягом 20 днів. Далі проводять компостування отриманої органо-мінеральної композиції. Реалізація даного способу дозволяє спростити переробку осадів стічних вод і знизити рівень небезпеки мулових мас на очисних спорудах.

Недоліком даного способу є великі затрати на приготування компостів та значні витрати пального на транспортування.

1.3.5 Спосіб виробництва добрив з лігноцелюлозного матеріалу

Автори роботи [11] пропонують спосіб виробництва добрив з лігноцелюлозного матеріалу, який включає обробку вихідної сировини шляхом подрібнення її одночасно при тепловій дії та тиску 3-50 МПа. При цьому обробку проводять в змішувачі при напрузі зсуву, рівному 0,03-3 Н/мм², при температурі 130-150°C в присутності вапна Ca(OH)₂, що вводиться в кількості 2-10% від абсолютно сухої речовини лігноцелюлозного матеріалу, і, як мінімум, однією солі в кількості від 3 до 10% від абсолютно сухої речовини лігноцелюлозного матеріалу, при вологості лігноцелюлозного матеріалу не менше 20%. При чому в якості лігноцелюлозного матеріалу використовують очерет, траву, соломку, стружку або торф. Винахід дозволяє отримати органо-мінеральні добрива з різним вмістом гумінових речовин, розширити сировинну базу.

Недоліком цих добрив є великі затрати при їх внесенні до 4 -10 т на 1 гектар.

1.3.6 Спосіб отримання органо-мінеральних добрив

Автори роботи [12] пропонують отримання органо-мінеральних добрив(ОМД) в промислових умовах на діючих підприємствах хімічної промисловості по виробленню мінеральних добрив. Спосіб передбачає отримання органо-мінеральних добрив на основі органічних і мінеральних компонентів шляхом їх змішування. В якості органічного компоненту використовують деревно-рослинну сировину, подрібнену до фракцій 2-10мм. В якості мінерального компоненту використовують 98-99% водяний розчин аміачної селітри або карбаміду. Співвідношення органічного компонента до мінерального становить 1-3:1. Змішування компонентів здійснюють під тиском 0,4-0,5МПа і при температурі 180-190 °С. Застосування цих добрив пов'язане із залученням додаткової техніки для підготовки і внесення поживних речовин у ґрунт.

1.4 Устаткування для отримання органо-мінеральних добрив

Гранулювання може бути засноване на ущільненні порошкоподібних матеріалів, диспергуванні з наступною кристалізацією розплавів або розчинів або на здрібнюванні великих шматків у дробарках.

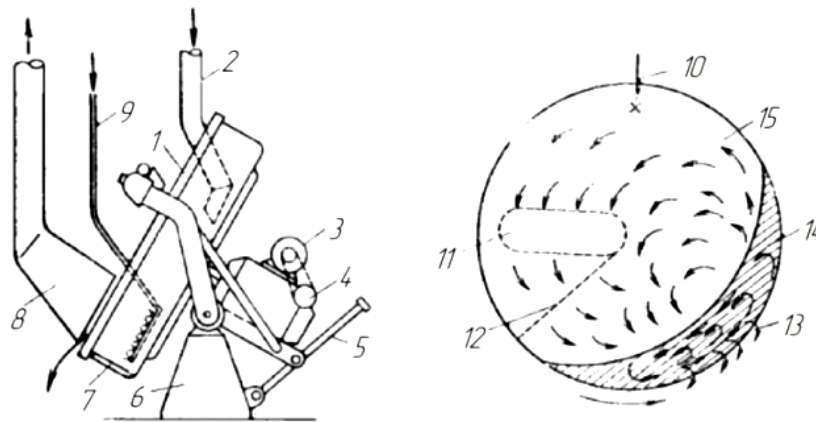
Надання речовинам форми гранул поліпшує умови їхнього зберігання й транспортування, дозволяє механізувати й автоматизувати процеси наступного використання продуктів, підвищує продуктивність і поліпшує умови праці, знижує втрати сировини та готової продукції.

Основні способи гранулювання:

1. Обкатуванням. Процес здійснюють у барабанних, тарілчастих, швидкісних і вібраційних грануляторах, рисунок 1.3 [13].

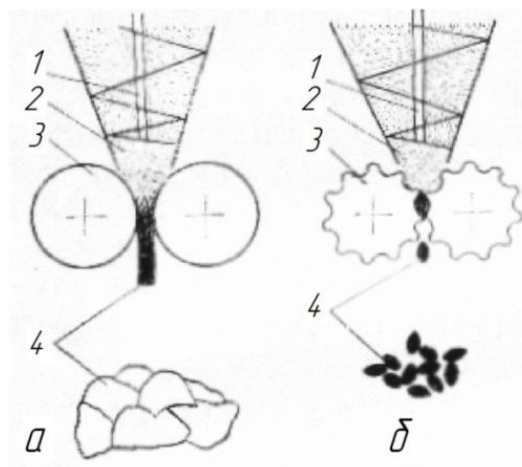
2. Пресування – одержання гранул у формі брикетів, плиток,

таблеток шляхом ущільнення сухих порошків, іноді з наступним дробленням спресованого матеріалу, рисунок 1.4 – 1.7 [13].



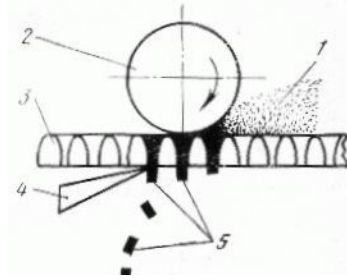
1 – обертова тарілка; 2 – вхідний патрубок подачі сипучих компонентів;

Рисунок 1.3 – Тарілчастий гранулятор (праворуч показана траєкторія руху частинок матеріалу при обертанні тарілки)



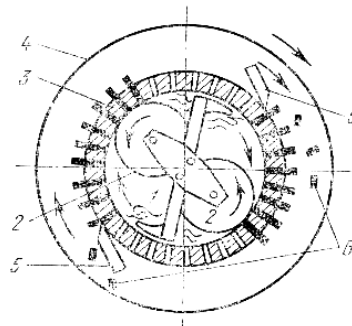
1 – підпресовувач; 2 – вихідний порошок; 3 – валковий та пальцевий преси; 4 – плитки та брикети.

Рисунок 1.4 – Валковий (а) і вальцевий (б) преси для ущільнення порошків



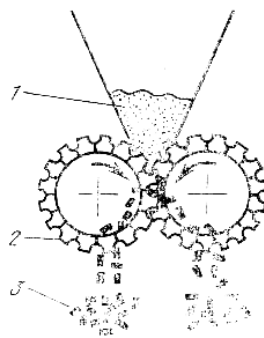
1 – вихідний порошок; 2 – вал-бігун; 3 – дискова матриця;
4 – ніж; 5 – гранули-формовки.

Рисунок 1.5 – Схема преса формування з дисковою матрицею



1 – вихідний матеріал; 2 – притискні валки; 3 – барабанна матриця;
4 – ножовий барабан; 5 – ножі; 6 – гранули-формовки.

Рисунок 1.6 – Схема преса формування матрицею, що обертається

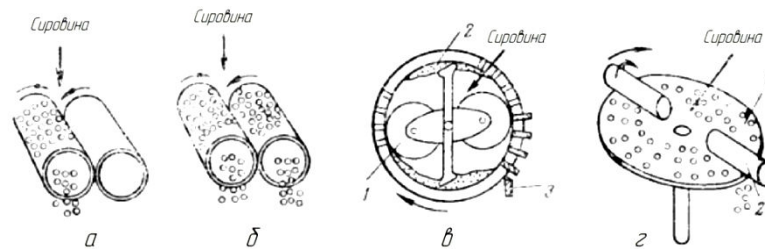


1 – вихідний матеріал; 2 – зубчасті валки; 3 – гранули-формовки.

Рисунок 1.7 – Схема преса формування гранул з зубчастими валками

3. Екструзією. Метод здійснюється в такий спосіб. Матеріал

попередньо обробляється в змішувачі, де при інтенсивному перемішуванні йому надаються пластичні властивості шляхом додавання рідкої фази, нагрівання до температури розм'якшення й т.п. Потім пластифікована маса під тиском продавлюється через спеціальні матриці. Якість гранул залежить від вологості матеріалу, вмісту й типу з'єднувального матеріалу, розміру й числа отворів, форми ножа для зрізу, рисунок 1.8 [14].



а – з одним гладеньким та одним перфорованим барабаном; б – з двома перфорованими барабанами; в – з матрицею, що обертається: 1 – валок; 2 – сировина; 3 – ніж-скребок; г – з нерухомою матрицею: 1 – матриця; 2 – валки, що обертаються.

Рисунок 1.8 – Схема грануляторів екструзійного типу

4. Грануляція кристалізацією розплавів у грануляційних баштах, а також для гранулювання з використанням розчинів, суспензій і пульп у барабанних грануляторах-сушарках та апаратах із псевдозрідженим шаром, рисунок 1.9 [15].

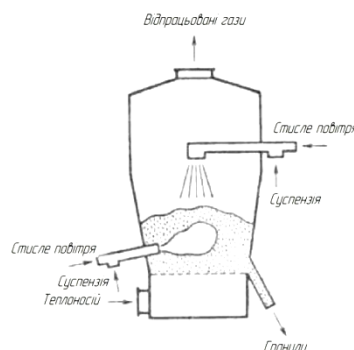


Рисунок 1.9 – Гранулятор із псевдозрідженим шаром

1.5 Гранулятори псевдозрідженого шару

Застосування техніки псевдозрідження для зневоднення і гранулювання рідких систем дозволяє одержати тверді композити, утворені з мікрочастин мінеральної речовини між якими розподіляються колоїдні частки органічних компонентів.

За способом і місцем подачі в псевдозріджений шар розпиленого розчину і теплоносія апарати розрізняють:

а) механічне або пневматичне розпилювання розчину над шаром з подачею всього теплоносія під решітку апарата, основними перевагами якого є зменшення виносу фракційного складу та збільшення поверхні зрощення, а також достатня інтенсифікація процесів тепло-масообміну.

Імовірність середнього часу перебування в апараті для всіх частинок однакова, що дозволяє прогнозувати рівномірний ріст гранул. Процес грануляції протікає в обмеженій зоні киплячого шару, рисунок 1.10, безпосередньо над решіткою апарата, в зоні «киплячого шару» [16].

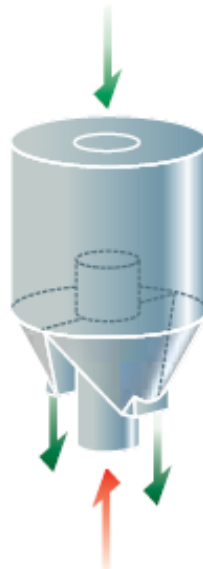


Рисунок 1.10 – Схема подачі розчину зверху на шар і подачі теплоносія знизу під решітку

б) пневматичне розпилювання розчину, рисунок 1.11, всередину шару (знизу) з подачею всього теплоносія під решітку апарата. [16]



Рисунок 1.11 – Схема подачі розчину всередину шару знизу і подачі всього теплоносія під решітку апарата

в) пневматичне розпилювання розчину над шаром з одночасною подачею високотемпературного теплоносія в факел розпилу розчину і теплоносія на псевдозрідження з середньою температурою, рисунок 1.12. [16]

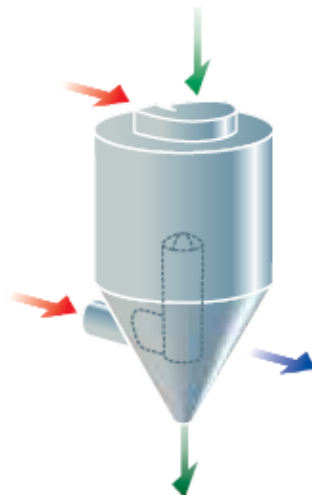


Рисунок 1.12 – Схема апарата з пневматичним розпилюванням розчину над шаром з одночасною подачею високотемпературного теплоносія в факел розпилу розчину і теплоносія на псевдозрідження

Основний потік теплоносія, який має високу температуру, подається в розпилювач розчину. При цьому факели розпилу розчину і теплоносія суміщені в просторі. Прямоток основного теплоносія з розчином в факелі дозволяє створити умови для найбільш інтенсивного випаровування вологи. В цьому випадку волога видалається в основному факелі розпилу, а в киплячому шарі проходить лише кінцева сушка гранул до кінцевої вологості.

Недоліком цієї схеми є те, що для здійснення інтенсивного процесу випарювання необхідний температурний перепад між теплоносієм і краплями розпиленого розчину повинен бути на всій довжині факелу.

г) пневматичне розпилювання розчину всередину шару (знизу вертикально вгору від решітки) з подачею високотемпературного теплоносія в факел розпилу розчину і теплоносія при середній температурі псевдозрідження (рисунок 1.13) [16]. Основний потік теплоносія (високотемпературний) подається в розпилювач розчину таким чином, що факели розчину і подачі теплоносія суміщені в просторі, і знаходяться всередині киплячого шару, в результаті чого всередині нього утворюються зони локального фонтанування, які інтенсифікують гідродинамічний режим псевдозрідження.

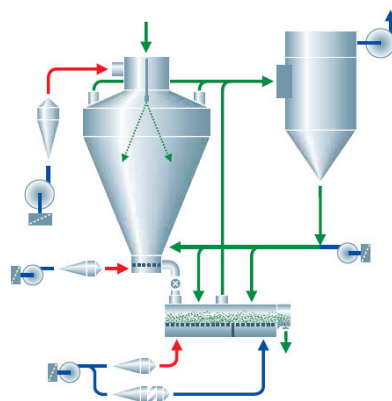
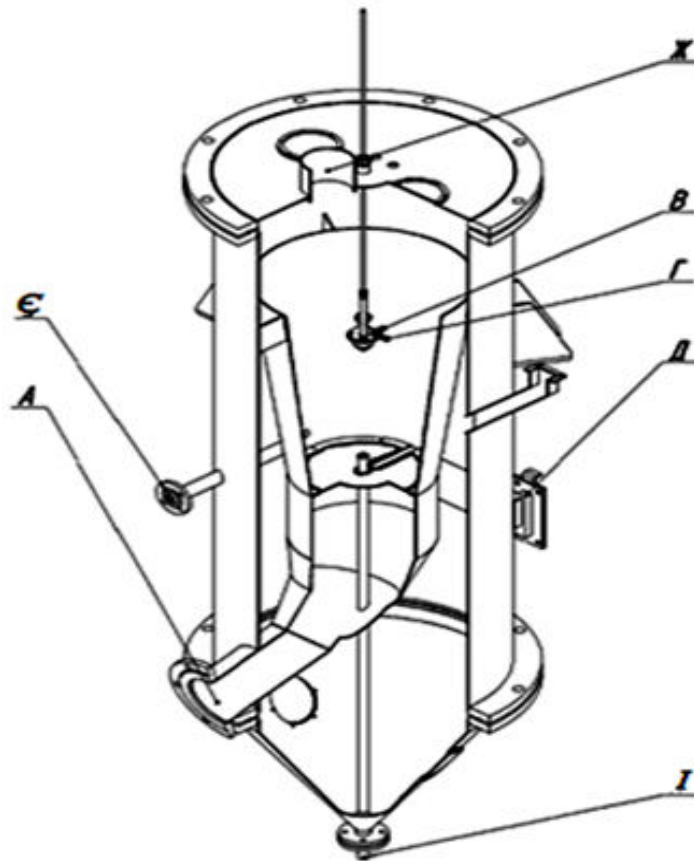


Рисунок 1.13 – Схема установки гранулювання з киплячим шаром

Недоліками є те, що гранули утворюються за рахунок агломерації та їх розмір є не контрольованим.

На рисунку 1.14 [17] зображений вихровий гранулятор псевдозрідженого шару.



А – штуцер для подачі теплоносія; В – штуцер для подачі повітря; Г – штуцер для подачі розчину; Д – розвантажувальний пристрій; Є – патрубок для тангенційної подачі повітря; Ж – патрубок для відводу відпрацьованого повітря; І – інжектор.

Рисунок 1.14 – Вихровий гранулятор

Гранулятор являє собою апарат циліндричної форми з конічним дном. Усередині циліндричного корпусу встановлений, так званий,

внутрішній корпус, який і є робочою зоною апарата. Між корпусом і внутрішнім конусом утворюється внутрішній простір. Для введення розчину в апарат застосовується пневматична форсунка з дефлектором, який слугує для оптимізації форми розмірів факела розпилу. У штуцер А подається підігріте повітря, що є зріджуючим й одночасно сушильним агентом. Повітря проходячи через повітряний канал потрапляє під розподільний пристрій, який необхідний для вирівнювання газового потоку і його закручування. Відпрацьоване повітря відводиться через патрубок Ж.

Розчин подається в штуцер Г та за допомогою стиснутого повітря, який подається в штуцер В, розпилюється в робочу зону апарата, де газовим потоком йому спричиняється вихровий рух. Розчин потрапляє на ретур і кристалізується. Гранули, що досягли необхідного розміру, під дією сили тяжіння опускаються вниз і відводяться через розвантажувальний пристрій Д. Дрібні гранули газовим потоком виносяться з робочої зони і потрапляють в простір сепарації. Там вони під дією відцентрових сил відносяться до стінки корпусу і під дією сил тяжіння сповзають по кільцевому простору в днищі гранулятора. У нижній частині днища апарата встановлений інжектор І, який слугує для повернення дрібних гранул в робочу зону гранулятора по центральній трубі.

На рисунку 1.15 [18] наведено гранулятор киплячого шару з одночасною подачею розчину над шаром та в шар, але недоліком є те що гранули утворюються за рахунок агломерації.

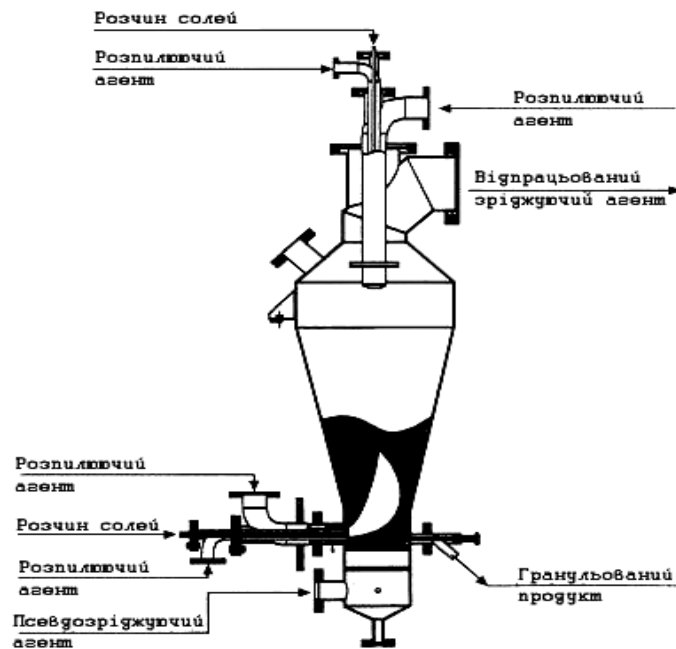
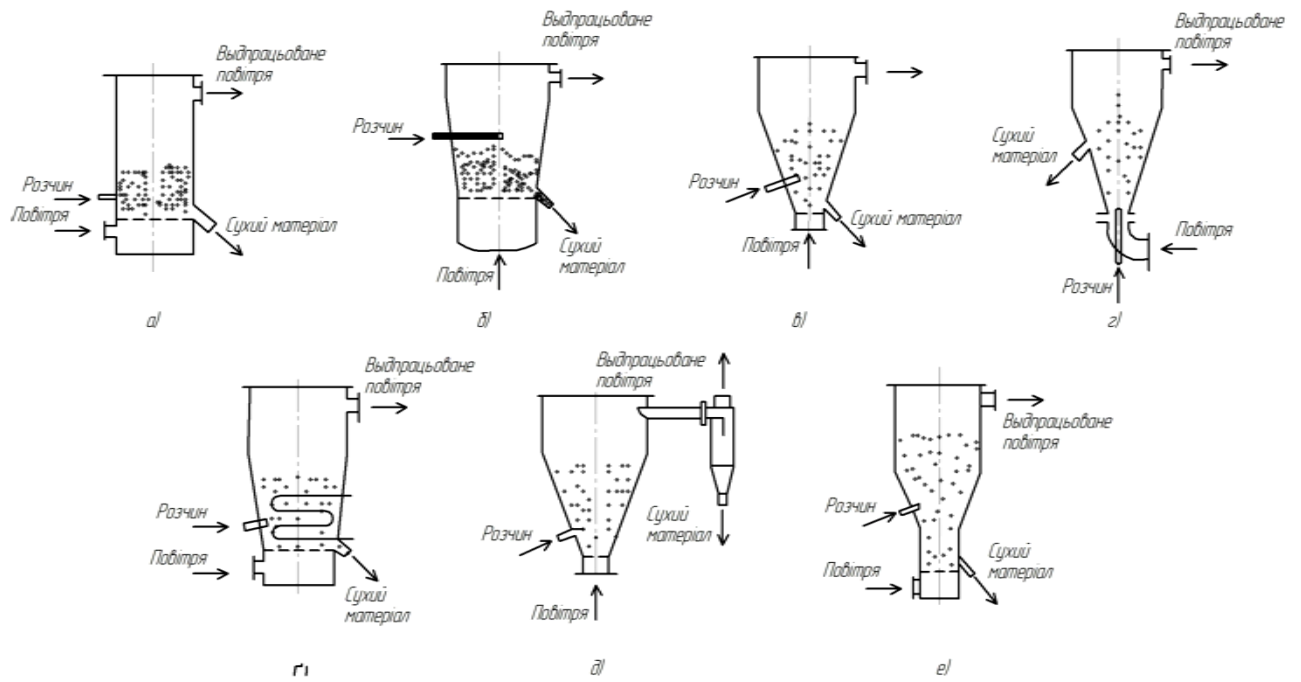


Рисунок 1.15 – Гранулятор киплячого шару

Гранулятор представляє собою циліндрично-конічний апарат, в якому теплоносії подається під газорозподільну решітку. Розчин подають в робочу зону зверху та в середину киплячого шару. Для введення розчину в апарат використовують пневматичні форсунки. Відпрацьоване повітря відводиться через відповідний патрубок. Гранули, що досягли необхідного розміру, під дією сили тяжіння опускаються вниз і відводяться через розвантажувальний пристрій.

Недоліками цієї конструкції є забиття форсунок, а також при великій швидкості газу в факелі, що знаходиться в шарі, або недостатній висоті киплячого шару факел може вийти за його межі, що зміщує кінетику процесу в сторону пилоутворення.

На рисунку 1.16 наведено схеми основних типів гранулятора з застосуванням форсунок.



а – апарат ПШ із введенням розчину збоку в шар; б – апарат ПШ із введенням розчину зверху над шаром; в – апарат з фонтануючим шаром і введенням розчину збоку; г - апарат з фонтануючим шаром і введенням розчину знизу; г – апарат ПШ з комбінованим підведенням тепла і введенням розчину збоку, д – апарат ПШ для сушіння розчинів на інертному теплоносії; е – апарат ПШ з внутрішнім сепаратором

Рисунок 1.16 - Основні типи грануляторів з ПШ для зневоднення рідких систем

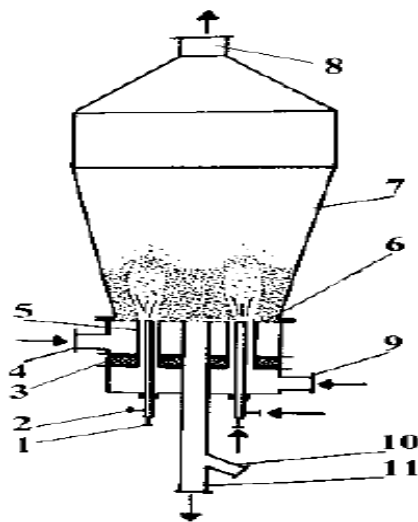
Ці гранулятори можна класифікувати за такими основними технологічними і конструктивними ознаками [19]:

- за періодичністю процесу: періодичні, безперервні;
- по концентрації гранульованої рідкої фази (розчин, пульпа, плав, суспензія), - слабо концентрованих (великий відсоток вологи), висококонцентрована (малий відсоток вологи);
- за способом підведення тепла: конвективні, конвективно-

кондуктивні;

- за формою корпусу: циліндричні, конічні, циліндрично-конічні, прямокутні, квадратні;
- за кількістю секцій: односекційні, багатосекційні;
- щодо зміни перерізу по висоті апарату: з постійним, зі змінним;
- за місцем введення рідкої фази через форсунки: зверху, збоку, знизу, з комбінованим введенням;
- за видом сушильного агента: повітряні, на димових газах, на інертних газах, на перегрітій водяній парі.

На рисунку 1.17 наведено гранулятор конструкції Дзержинського філії НДІХІММАШ [19].



1 – подача розчину; 2 – подача повітря на розпорощення; 3 – теплоізоляція; 4 – подача теплоносія на псевдозрідження; 5 – форсунка; 6 – решітка з нахилом до центру; 7 – камера сушки; 8 – вихлоп газів; 9 – подача теплоносія; 10 – подача повітря для сепарації вивантаження; 11 – вивантаження гранул

Рисунок 1.17 – Гранулятор киплячого шару конструкції Дзержинського філії НДІХІММАШ

Представлений гранулятор з поданням розчину знизу, призначений для грануляції розчинів і пульп карбаміду, аміачної селітри, сульфату амонію та ін.. інтенсивно киплячий, з викидами, шар створюється з частинок, які утворюються в нижній частині апарату на решітці, що має нахил до центру. Решітка являє собою перфоровану плиту товщиною 10 мм і загальною площею 0,35 м² з коефіцієнтом живого перетину 5% і діаметром отворів 5 мм. Розчин і пульпу на розпорошення і грануляцію подають під тиском до 0,1 МПа за допомогою восьми пневматичних форсунок, установлених вертикально під решіткою так, що факели розпилу починаються безпосередньо від газорозподільної решітки. На розпилення надходить повітря нормальної температури під тиском 1 МПа в кількості 0,5-0,3 кг/кг пульпи в кільцевий зазор форсунки. Через бічний штуцер подають високотемпературний теплоносій (800-850°С) на випаровування вологи з розчину.

Але наявність великої кількості форсунок ускладнює процес регулювання процесу гранулоутворення та наявне надмірне зволоження шару, що призводитиме до утворення агломератів. Не приділяється увага конструкції камери гранулятора, щоб запобігти виносу матеріалу з апарату, і основне, не контрольований ріст гранул, та відсутнє поперечне перемішування.

Для усунення цих недоліків потрібно забезпечити об'ємну циркуляцію в середині шару з метою максимального залучення поверхні зернистого матеріалу.

1.6 Базові конструкції газорозподільних пристроїв

Реалізація процесів зневоднення та грануляції в псевдозрідженому шарі визначається режимом гідродинаміки, яка залежить від конструкції

газорозподільного пристрою.

Основні завдання газорозподільників – забезпечення рівномірної подачі псевдозріджуючого потоку без провалу часток шару в підрешіточний простір і формування надрешіточної зони так, щоб при цьому захистити газорозподільні решітки від термічних та інших впливів зі сторони самого киплячого шару. Остання обставина особливо важлива при проведенні високотемпературних процесів з матеріалами, які можуть розм'якшуватися і налипати на решітки, збільшуючи опір останньої аж до повної зупинки процесу. Оплавлений та спечений матеріал часто виводить з ладу газорозподільники і вимагає спеціальних трудомістких операцій для відновлення працездатності всього апарату в цілому [21].

Наявність газорозподільників створює додатковий опір потоку і тим самим збільшує загальний тиск тягодувного пристрою.

В залежності від конструктивних особливостей розрізняють декілька типів нерухомого газорозподільного пристрою: пористі, перфоровані, ковпачкові, колосникові, трубчасті, спеціальні та інші.

Пористі плити з спеченої кераміки або металокераміки є ажурною системою, пронизану найдрібнішими наскрізними порами, її загальна пористість може бути дуже великою. За структурою до цієї ж групи слід віднести і шари тканини (бельтинг, фетр), закріплені по-краях або опертих на металеві хрестовини, що застосовуються в пневможолобах. Завдяки малому діаметру пор і капілярів між волокнами, гідравлічний опір пористих плит і тканинних прокладок може бути значним і їх доцільно використовувати при малих швидкостях потоку, тобто при псевдозрідженні дрібних частинок.

Менший опір мають газорозподільники, що відносяться до того ж типу з насипного шару більшого зернистого матеріалу, затиснутого між двома сітками. При досить великих зернах, опір газорозподільника

знижується і погіршується рівномірність розподілу газового потоку. Однак такий шар швидко забивається псевдозріджуваними частинками (і пилом), особливо під час зупинок процесу. Решітки, що мають такий шар насипного матеріалу, простіше у виготовленні і дешевше, ніж керамічні плити. У промислових умовах досить просто їх замінювати і чистити, змінюючи засипані матеріали. Однак для великих промислових апаратів виникають труднощі у створенні досить рівномірної загрузки матеріалу. Перевага їх перед іншими типами газорозподільників – безпровальність і велика рівномірність у розподілі газового потоку по всьому перерізі апарату (при достатній рівномірності подачі в підрешіточний простір). Проте з цього ще не випливає, що вони забезпечують більшу рівномірність самого псевдозріджуючого шару [21].

Перфорована решітка може мати отвори різної форми: круглої, овальної, трикутної, щілинна, яка звужується або розширюється в напрямку руху газу і утворює канали різного профілю. Розташування отворів по площі решітки розроблюється або по кутам трикутника (рівностороннього) або по кутам квадрата. Осі отворів можуть розташовуватися вертикально чи під деяким кутом до площини решітки. Отвори на решітці можуть розміщуватись рівномірно чи з перемінним кроком.

Одношарові перфоровані решітки можуть бути плоскими, рисунок 1.18 а,б, опуклими, рисунок 1.18, в, увігнутими, рисунок 1.18, г, та у вигляді різноманітних сіток, набірних кілець, пластин, рисунок 1.18, д, різної конфігурації з утворенням отворів будь-якої форми.

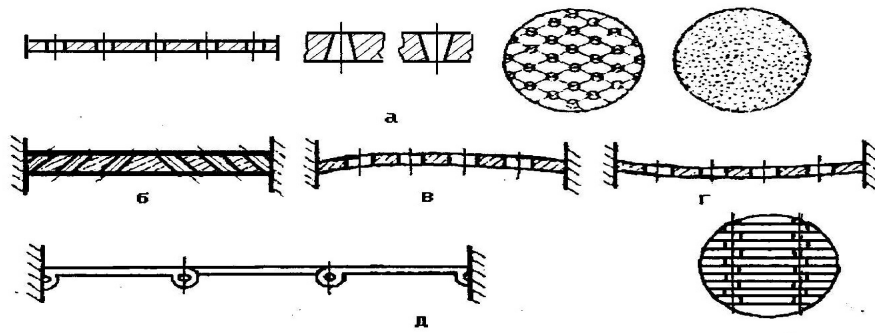
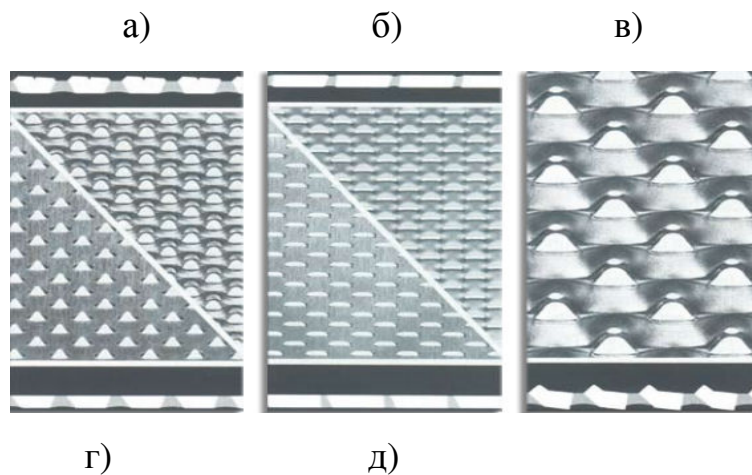


Рисунок 1.18 – Конструкції одношарових перфорованих решіток [20]

Спільним та основним недоліком простих перфорованих решіток є можливість утворення застійних зон твердого матеріалу між отворами. Крім того, можливий провал часток через отвори перфорованої решітки та забивання отворів при малих швидкостях зріджуючого агента.

Компанією CONIDUR®-Feinlochbleche була запропонована реалізація одношарових перфорованих та мікроперфорованих листів виду[22]:



а – мікроперфорований лист, вальцьований; б – перфорований лист з продовгуватими отворами, вальцьований; в – мікроперфорований лист, не вальцьований; г – мікроперфорований лист, шліфований; д – перфорований лист з продовгуватими отворами, шліфований.

Рисунок 1.19 – Конструкції перфорованих решіток

Вказані недоліки можна усунути різними шляхами. Найпростіший спосіб запобігання провалу – застосування багат шарових газорозподільних решіток (дво- та тришарових), рисунки 1.20, 1.21[23].

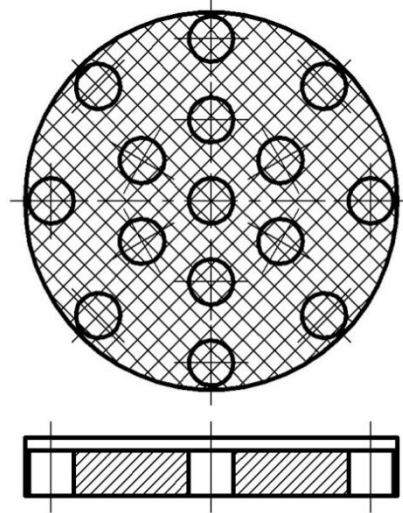


Рисунок 1.20 – Конструкція багат шарової перфорованої решітки

Шари решіток розташовують з урахуванням кута природного нахилу оброблюваного матеріалу, так, щоб матеріал, що просипався крізь перший шар решітки, не потрапив в отвори іншого шару[23].

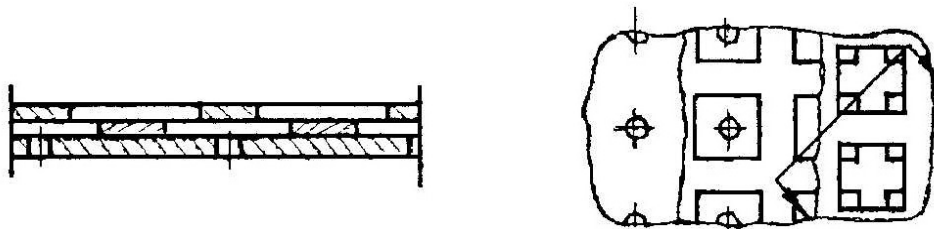


Рисунок 1.21 – Конструкція багат шарової перфорованої решітки

Ліквідувати застійні зони можливо різноманітними способами. Один з них – зведення до мінімуму чи повне усунення горизонтальних ділянок на площині газорозподільної решітки.

Один із варіантів газорозподільної решітки, який зводить до мінімуму застійні зони зображено на рисунок 1.22 [24].

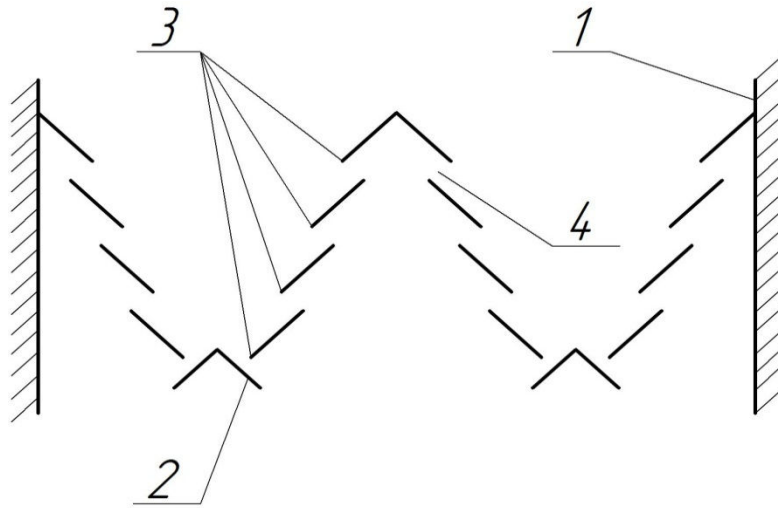


Рисунок 1.22 – Газорозподільний пристрій

1 – лоток; 2 – направляючий елемент; 3 – пластини; 4 – щілини.

Напрямок потоку струменів може бути постійним на різних ділянках площини решітки чи змінним. Існують решітки для організації прямолінійного та обертового переміщення шару.

Також варіантом може бути напрямлене дуття, в результаті якого забезпечується здування матеріалу з плоских ділянок решітки та направлений рух усього шару, рисунок 1.23 [20] [22].

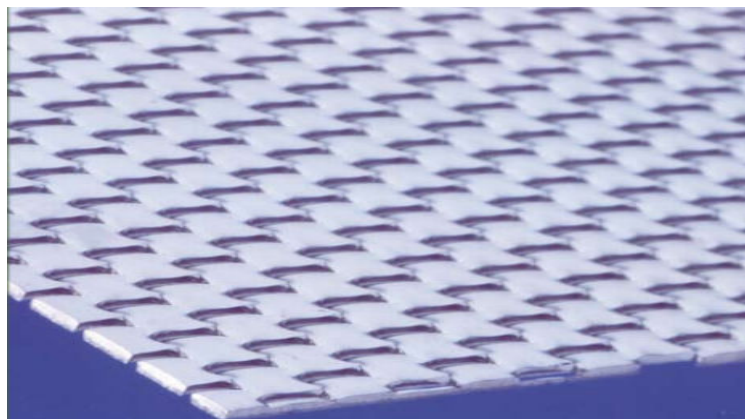
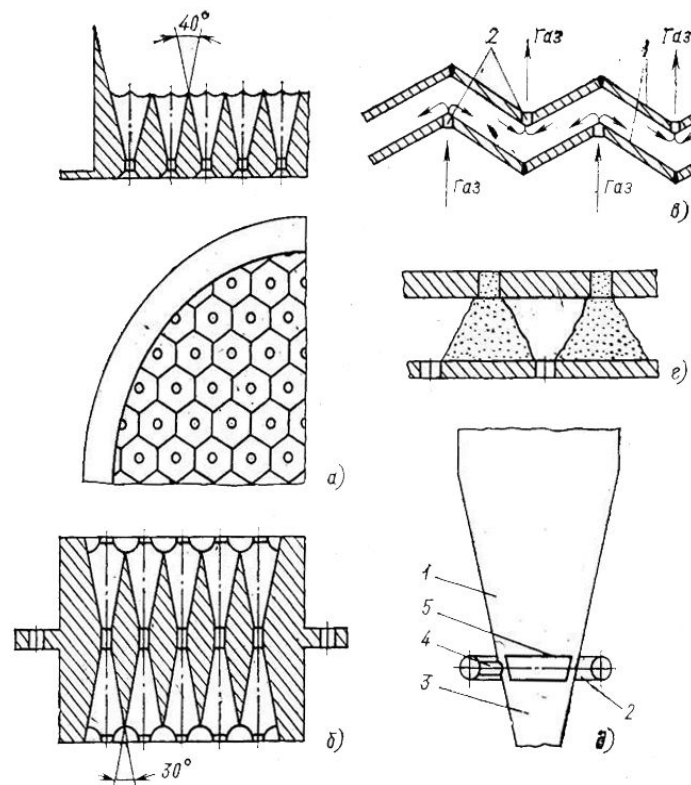


Рисунок 1.23 – Спеціальні перфоровані решітки

Конструктивно найбільш простими є плоскі перфоровані або напівсотові решітки з круглими або довгастими отворами, рисунок 1.24, а,

однак, основний їх недолік – утворення застійних зон на ділянках між отворами для проходу газу (рідини) [25].



а – напівсотові решітки; б – сотова решітка; в – безпровальна колосникова решітка; г – безпровальна плоска решітка; д – конусний газорозподільник; 1 – дифузор; 2 – колектор газу; 3 – вихід твердого матеріалу; 4 – підведення газу, 5 – захисний конус.

Рисунок 1.24 – Принципові схеми газорозподільних пристроїв

На рисунку 1.24, в,г показані схеми двох безпровальних решіток: перша виготовлена з перфорованих плоских металевих листів, друга зварена з куточків.

В апаратах невеликих розмірів виправдав себе газорозподільний пристрій конусного розподілення – дифузора з боковим тангенціальним введенням потоку теплоносія, рисунок 1.24, д.

Зазначених вище недоліків не мають сотові решітки, рисунок 1.24,

б. За допомогою цих решіток, можливе ліквідування застійних зон завдяки зведенню до мінімуму, або повного усунення горизонтальних ділянок на площині газорозподільчої решітки, але вони складні у виготовленні. В наш час виготовлення сотових решіток може бути на керамічній основі, рисунок 1.25[26].



Рисунок 1.25 – Вид керамічної сотової решітки

Рівномірність псевдозрідження залежить не тільки від конструкції газорозподільної решітки, але і від розмірів і форми твердих частинок, від швидкості газового агента, способу його підведення і інших чинників. На практиці частка живого перерізу решітки зазвичай складає 1-10% її площі. Шари зернистих матеріалів можуть складатися з частинок однакового (монодисперсний шар) і різних (полідисперсний шар) діаметрів. Найважливішими характеристиками зернистого шару є відносна об'ємна частка порожнин – порозність шару, розмір частки, їх форма і питома площа поверхні [27].

На рисунку 1.26 [22] показана конструкція перфорованої решітки з деяким кутом нахилу, на якому матеріал не може затриматися та змивається до устя струменя. Струмінь виходить з отворів під деяким кутом до вертикалі і горизонтальна складова швидкості збиває

накопичуваний на решітці матеріал.

До недоліків цієї решітки можна віднести складність в виготовленні.



Рисунок 1.26 – Перфорована решітка

Колосникові решітки, рисунок 1.27[26], виконані з декількох елементів, що утворюють між собою щілину. Ці решітки можуть бути виконані із елементів різного профілю – похилих пластин, кутиків, балок, труб, швелерів та інші. Як і перфоровані решітки, колосникові газорозподільні пристрої можуть бути одношаровими та багатошаровими. Щілини в багатошарових колосникових розподільвачів можуть бути орієнтовані в одному напрямі чи під кутом один до одного, часто у взаємно перпендикулярному напрямі.

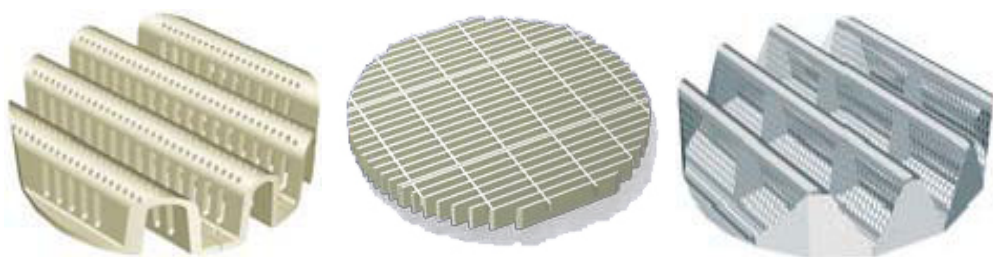


Рисунок 1.27 – Колосникові решітки

Як правило, за допомогою колосникових газорозподільних пристроїв успішно вирішується задача усунення застійних зон – за рахунок

їх форми, чи під дією струменів, які настилаються, та здувають матеріал з плоских ділянок. Основним недоліком є складність виготовлення та монтажу колосникової решітки.

Ковпачкові решітки, що широко застосовуються в промисловості, є повністю безпровальними. Газ надходить через отвори в плиті, прикриті спеціальними ковпачками, що направляють струмінь виходячого в горизонтальному або навіть зверненому вниз напрямі. Хоча введення газу є локальним, як в перфорованих решітках, але прямо висхідних струменів газу (факелів) в шарі немає, це в значній мірі запобігає утворення застійних зон. При злитті струменів утворюється газова подушка, але підрешіточна зона має висоту близько десяти сантиметрів, помітно більшу ніж для пористих плит.

Різні рухливі і вібруючі решітки використовуються у виняткових випадках (важко псевдозріджувані матеріали, необхідність безперервного очищення решітки в процесі роботи), оскільки при цьому зникають такі найважливіші властивості апаратів з киплячим шаром, як простота конструкції, відсутність рухомих елементів і механізмів, які повинні працювати у несприятливих умовах (запиленість, високі температури тощо). Специфічного впливу на структуру киплячого шару рухливі решітки, як правило, не мають.

1.7 Механізм та кінетика грануло утворення при зневодненні рідких систем

При зневодненні розчинів, суспензій у псевдозрідженому шарі частина розпиленої вихідної речовини не закріплюється на поверхні гранул у шарі, і утворює нові центри грануляції. Імпульсивне нанесення тонких плівок на поверхню супроводжується кристалізацією робочого

розчину на центрах грануляції у вигляді тонких шарів мікрочисталів, внаслідок чого відбувається ріст гранул і він тим імовірніший, чим більші сили адгезії краплі рідини з твердими частинками [20].

В свою чергу, адгезійні властивості краплі залежать від жорсткості поверхні гранул і властивостей розпилюваної речовини. Найбільш важливим в цьому випадку є співвідношення в краплі рідини рідкої та твердої фаз. Це співвідношення по мірі руху краплі рідини в псевдозрідженому шарі з більш низькою температурою проходить швидше охолодження насиченого розчину або плаву з виділенням із краплі твердої фази, що знижує її адгезійну здатність.

Авторами [28] запропонована модель змочування частинок при грануляції псевдозрідженого шару розпиленням. Робочий розчин розпилюється в шар за допомогою форсунки, розташованої над «киплячим шаром».

Авторами [28] прийнято припущення, що всі крапельки отримують однакову початкову швидкість на виході з форсунки. Тоді згідно радіальній швидкості для них справедливе розподілення Гауса, середнє квадратичне відхилення цього розподілення може бути різним, що дозволяє контролювати кут конуса розпилення.

Можливе розривання крапельок при зіткненні з твердими частинками проігноровано для спрощення моделювання. Це зроблено для того, щоб приділити більше уваги взаємодії крапельки та частинки.

При зіткненні крапельки та частинки вони з'єднуються і на поверхні останньої формується шар рідини і в подальшому розглядається рух змоченої частинки. При чому частинці передається швидкість та імпульс крапельки (рисунки 1.28 а), а формули (1.1), (1.2), (1.3) та (1.4)

описують масове та об'ємне розподілення рідини на поверхні нової частинки, а також показують зміну її швидкості та положення:

$$m' = m_1 + m_2, \quad (1.1)$$

$$V' = V_1 + V_2, \quad (1.2)$$

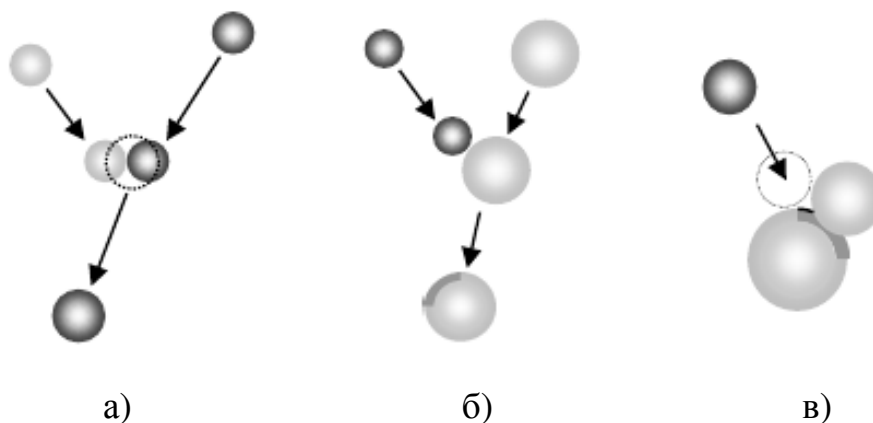
Де m' - маса новоутвореної зволоженої частинки; m_1 , m_2 – маси частинки та крапельки, відповідно; V' – об'єм зволоженої частинки; V_1 , V_2 – об'єми сухої частинки та краплі рідини, відповідно [33]:

$$\bar{v}' = \frac{m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2}{m_1 + m_2}, \quad (1.3)$$

$$\bar{r}' = \frac{m_1 \bar{r}_1 + m_2 \bar{r}_2}{m_1 + m_2}, \quad (1.4)$$

де \bar{v}' – швидкість зволоженої частинки; \bar{v}_1 , \bar{v}_2 – швидкість частинки та крапельки до зіткнення відповідно; \bar{r}' – зміна положення зволоженої частинки; \bar{r}_1 , \bar{r}_2 – положення частинки та крапельки до зіткнення відповідно.

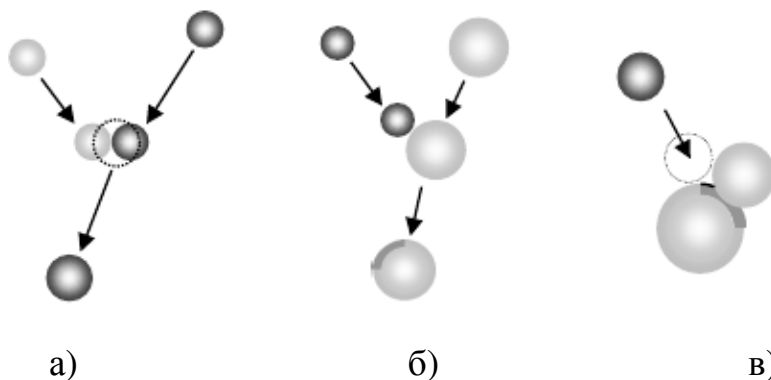
Так як в реальних умовах однієї крапельки не достатньо для зволоження всієї поверхні частинки, рисунок 1.28 б, приймається, що шар рідини є мінімальним і формується миттєво відразу після зіткнення частинки з крапелькою. Товщина цього шару також залежить від в'язкості рідини, теплоємності та теплопровідності рідини та частинки.



а – зіткнення частинки і крапельки, в результаті якого тонка плівка рідини покриває всю поверхню частинки; б – зіткнення частинки і крапельки, в результаті якого частинці не вистачає рідини; в – злипання частинок в результаті їх перезволоження (утворення агломерату)

Рисунок 1.28 – Варіанти зволоження частинок в псевдозрідженому шарі

Фактор розподілення рідини по поверхні частинки можна визначити за формулою [28]:



а – зіткнення частинки і крапельки, в результаті якого тонка плівка рідини покриває всю поверхню частинки; б – зіткнення частинки і крапельки, в результаті якого частинці не вистачає рідини; в – злипання частинок в результаті їх перезволоження (утворення агломерату)

Рисунок 1.28 – Варіанти зволоження частинок в псевдозрідженому шарі

Фактор розподілення рідини по поверхні частинки можна визначити за формулою [28]:

$$\eta' = \frac{6(V_1 + V_2)}{k \left[(d'_q)^3 - (d'_q - 2l_{min})^3 \right]}, \quad (1.5)$$

де k – експериментальний коефіцієнт; d'_q – діаметр зволоженої частинки;

l_{min} – мінімальна товщина шару рідини на поверхні частинки.

Якщо частинка покрита рідиною повністю, то фактор розподілення η' дорівнює одиниці, товщина плівки дорівнює мінімальній товщині, в іншому випадку товщину шару рідини розраховують [33]:

$$2l'_q = d'_q - \sqrt[3]{(d'_q)^3 - \frac{6}{k}(V_1 + V_2)}, \quad (1.6)$$

В процесі грануляції зволожені частинки можуть стикатися між собою. Результатом такої взаємодії може бути відштовхування або злипання (утворення агломерату, рисунок 1.34 в). На вірогідність одного з випадків впливає багато факторів: фізичні властивості рідини, структура частинки, товщина рідкого шару, швидкість зіткнення та ін. Необхідною умовою для агломерації є наявність надлишку рідини між частинками (перезволоження частинок).

Фактор розподілення рідини на новоутвореному агломераті залежить від факторів розподілення рідини на тих частинках, які прийняли участь в агломерації і визначається [28]:

$$\eta' = \frac{k(\eta_1 d_1^2 + \eta_2 d_2^2) - \frac{k}{4} d_{min}^2}{k(d')^2}, \quad (1.7)$$

де η_1, η_2 – фактори розподілення рідини на частинках, які утворили агломерат; d_1, d_2 – діаметри частинок до агломерації; d_{min} – діаметр меншої з частинок; d' – середній діаметр утвореного агломерату.

Товщина шару рідини на новоутвореній частинці дорівнює [28]:

$$l' = \frac{V_{11}l_1 + V_{22}l_2}{V_{11} + V_{22}}, \quad (1.8)$$

де V_{11}, V_{22} – об'єми частинок до агломерації; l_1, l_2 – товщини шару рідини на частинках до зіткнення.

Недоліками даного математичного опису є розгляд гомогенного розчину і неможливість описати крапельки з гетерогенної рідкої фази.

Автори [29] розглядають механізм гранулювання сипучих матеріалів в апаратах псевдозрідженого шару, де зріджуючим агентом є водяна пара. При розробці теоретичних основ гранулоутворення взято наступну фізичну модель: ріст гранул проходить за рахунок зіткнень та агломерації вологих частинок при умові інтенсивного перемішування їх в псевдозрідженому шарі, при цьому утворенням агломератів закінчуються ті зіткнення, котрі відбуваються між оптимально зволженими частинками за рахунок виникнення сил адгезії.

Для математичного моделювання гранулоутворення використано закон зіткнення кулеподібних частинок при їх хаотичному русі в об'ємі псевдозрідженого шару. Згідно цьому закону, число зіткнень частинок діаметром D_Γ на одиниці шляху руху можна визначити з рівняння [29]:

$$V = \pi \cdot D_\Gamma^2 \cdot n_\Gamma, \quad (1.9)$$

де V – число зіткнень частинок; D_Γ – діаметр частинок до зіткнень;

n_{Γ} – число частинок в одиниці об'єму псевдозрідженого шару.

Якщо прийняти, що на шляху dl в результаті зіткнень діаметр частинок збільшується на величину $2\Delta S = 2(S_{\text{H}} - S_{\text{И}})$, то зміну їх розміру при цьому переміщенні можна описати рівнянням [34]:

$$dD_{\Gamma} = 2\pi \cdot D_{\Gamma}^2 \cdot n_{\Gamma} \cdot (S_{\text{H}} - S_{\text{И}}) dl, \quad (1.10)$$

де $S_{\text{H}}, S_{\text{И}}$ – величини росту і стирання частинок.

Підстановкою в рівняння (1.10) математичного виразу, котрий визначає число частинок в одиниці об'єму псевдозрідженого шару [29]:

$$n_{\Gamma} = \frac{6(1-\varepsilon)}{\pi D_{\Gamma}^2}, \quad (1.11)$$

і елементарного переміщення цих частинок – $dl = \bar{v}_{\Gamma} d\tau_{\Gamma}$, було отримано рівняння [29]:

$$D_{\Gamma} dD_{\Gamma} = 12(1-\varepsilon) \bar{v}_{\Gamma} (S_{\text{H}} - S_{\text{И}}) d\tau_{\Gamma}, \quad (1.12)$$

де ε – порозність шару; \bar{v}_{Γ} – середня швидкість руху частинок; τ_{Γ} – час гранулоутворення.

Рівняння (1.12) являє собою математичну модель гранулоутворення при грануляції порошкових матеріалів в монодисперсному шарі і в шарі з вузьким розподіленням частинок по розмірам. Однак задача математичного опису моделі росту в полідисперсному шарі з широким розподіленням частинок по розмірам вирішується складно. Це пов'язано з тим, що в такому шарі зіткнення частинок хаотичні, тобто вони проходять між частинками однакових та різних розмірів при їх хаотичному русі. Таким чином поставлена задача може бути розв'язана для наступних варіантів:

Варіант 1. Припустимо, що в полідисперсному шарі ріст гранул проходить за рахунок зіткнень між собою частинок з однаковими

розмірами. В даному випадку загальне число зіткнень на одиницю переміщення частинки можна описати рівнянням [34]:

$$v = 6(1 - \varepsilon) \left(\frac{x_1}{D_1} + \frac{x_2}{D_2} + \frac{x_3}{D_3} + \dots + \frac{x_i}{D_i} \right) = 6(1 - \varepsilon) \frac{1}{D_e}, \quad (1.13)$$

Для даного варіанта рівняння гранулоутворення приймає вигляд [21]:

$$D_e dD_e = 12(1 - \varepsilon) \bar{v}_\Gamma (S_H - S_H) d\tau_\Gamma, \quad (1.14)$$

Варіант 2. Припустимо, що в полідисперсному шарі ріст гранул проходить в результаті зіткнення між собою частинок різного розміру. В даному випадку існують чисельні комбінації порядку зіткнень, що ускладнює математичний опис моделі гранулоутворення.

При цьому загальне число зіткнень на одиницю переміщення частинки може бути знайдене з рівняння [29]:

$$v = 6(1 - \varepsilon) \left[\frac{x_1 + x_2}{0,5(D_1 + D_2)} + \frac{x_3 + x_4}{0,5(D_3 + D_4)} + \dots + \frac{x_{i-1} + x_i}{0,5(D_{i-1} + D_i)} \right] \quad (1.15)$$

Для даного випадку середній ріст гранул можна описати рівнянням [21]:

$$\frac{dD_\Gamma}{d\tau_\Gamma} = 12(1 - \varepsilon) \bar{v}_\Gamma \left[\begin{array}{c} \frac{x_1 + x_2}{0,5(D_1 + D_2)} + \frac{x_3 + x_4}{0,5(D_3 + D_4)} + \dots \\ \dots + \frac{x_{i-1} + x_i}{0,5(D_{i-1} + D_i)} \end{array} \right] (S_H - S_H) \quad (1.16)$$

де x_1, x_2, \dots, x_i – масові частки гранул різних розмірів в псевдозрідженому шарі; $D_1, D_2, D_3, \dots, D_i$ – діаметри частинок в полідисперсному шарі.

В рівняння (1.13), (1.15) і (1.16) входять гранули різного розміру

(x_1, x_2, \dots, x_i) , масові частки яких в псевдозрідженому шарі не постійні, при гранулюванні без подачі зовнішніх центрів росту можуть бути виражені рівнянням (1.17).

Практичне використання рівняння (1.16) ускладнюється за рахунок неможливості експериментального визначення швидкості росту частинок різного діаметра, котре проходить в зв'язку з хаотичними зіткненнями в псевдозрідженому шарі. Автори [29] вважають, що самим зручним для оцінки росту гранул в полідисперсному шарі є метод, котрий спирається на зміну середнього еквівалентного діаметра частинок в часі. В зв'язку з цим, рівняння (1.14) з деяким спрощенням може бути використане при гранулюванні порошкоподібних матеріалів в полідисперсному шарі. В даному випадку вираз $12(1-\varepsilon)\bar{v}_r$ характеризує залежність швидкості росту гранул від гідродинамічного режиму псевдозрідженого шару, так як до його складу входять величини порозності шару і середньої швидкості руху в ньому частинок (\bar{v}_r). Для спрощення виду рівняння (1.14) при його подальшому перетворенні вираз $12(1-\varepsilon)\bar{v}_r$ було позначено M . При постійному гідродинамічному режимі шару для одного й того ж матеріалу можна прийняти, що $M = \text{const}$. Множник $(S_H - S_{II})$, з рівняння (1.14), характеризує ефективність агломерації частинок, що стикаються.

Для пояснення математичної моделі гранулоутворення розглянуто деякі її загальні розв'язки, пов'язані з різними законами виміру S_H, S_{II} .

1. Якщо $S_H > S_{II}$, то практично агломерація гранул відсутня ($S_{II} \approx 0$ чи $S_{II} = \text{const}$) Це значить, що впродовж всього періоду процесу грануляції проходить ріст розміру гранул.
2. Якщо одночасно змінюються S_H, S_{II} по визначеним законам, то в

даному випадку ріст гранул залежить від швидкості зміни S_H, S_I .

3. Якщо $S_H = S_I$, то еквівалентний діаметр частинок $D_e = \text{const}$, тобто ріст гранул не відбувається.

Розрахункові формули росту гранул, отримані інтегруванням рівняння (1.14) в інтервалі змінних $D_{oe} \leq D_e \leq D_{et}$ та $0 \leq \tau_1 \leq \tau_{ГТ}$ з врахуванням всіх можливих законів зміни S_H та S_I приведені в таблиці 1.1.

Згідно даних цієї таблиці, коли $S_H = 0$, рівняння (1.14) проінтегровано відповідно при $S_H = \text{const}$, а також при зміні його в залежності від часу процесу по лінійному або експоненційному закону (варіанти 1-3). У варіантах 4-5 розглянуто випадки розв'язку рівняння (1.14), враховуючи одночасну зміну S_H та S_I за лінійним або експоненційним законом. А у варіантах 6-7 рівняння (1.14) проінтегровано з врахуванням умови $S_H = S_I$.

Прикладом варіантів 6, 7 може бути період зволоження гранульованого матеріалу (індукційний період гранулювання), при якому частинки стикаються між собою, а ріст гранул не відбувається в зв'язку з низьким зволоженням останніх.

Таблиця 1.1 – Розрахункові рівняння росту гранул

Вар-ти	Значення S_H , дорівнюють	Значення S_{II} , дорівнюють	Значення $D_{ет}$, дорівнюють
1	const	0	$\sqrt{D_{oe}^2 + 2MS_H\tau_{ГТ}}$ (1.17)
2	$S_0 - \beta_1\tau_{ГТ}$	0	$\sqrt{D_{oe}^2 + M(2S_0 - \beta_1\tau_{ГТ})\tau_{ГТ}}$ (1.18)
3	$S_0 \exp(-\beta_2\tau_{ГТ})$	0	$\sqrt{D_{oe}^2 + \frac{2MS_0}{\beta_2}(1 - \exp(-\beta_2\tau_{ГТ}))}$ (1.19)
4	$S_0 - \beta_1\tau_{Г}$	$S_0 - \beta'_1\tau_{Г}$	$\sqrt{D_{oe}^2 + M(\beta'_1 - \beta_1)\tau_{Г}^2}$ (1.20)
5	$S_0 \exp(-\beta_2\tau_{Г})$	$S_0 \exp(-\beta'_2\tau_{Г})$	$\sqrt{D_{oe}^2 + 2MS_0 \left\{ \frac{1}{\beta_2} [1 - \exp(\beta_2\tau_{ГТ})] \times \right.}$ $\left. \times \frac{1}{\beta_2} [1 - \exp(\beta'_2\tau_{ГТ})] \right\}}$ (1.21)
6	$S_0 - \beta_1\tau_{Г}$	$S_0 - \beta_1\tau_{Г}$	const
7	$S_0 \exp(-\beta_2\tau_{Г})$	$S_0 \exp(-\beta_2\tau_{Г})$	const

де β_1, β'_1 і β_2, β'_2 – коефіцієнти, які характеризують швидкість зменшення поверхні псевдозрідженого шару по ходу процесу S_H, S_{II} , м/с і 1/с відповідно.

Ця математична модель застосовується для гранулювання порошкоподібних матеріалів та розглядає взаємодію лише макрочастинок.

Обидва з наведених математичних описів процесу гранулоутворення передбачають введення робочого розчину в шар за допомогою пневматичних форсунок. Але форсунки не можуть стабільно працювати з гетерогенною рідкою фазою, потребують постійного контролю та чистки.

Таким чином, враховуючи вимоги до гуміново-мінеральних композитних систем, досягти рівномірного розподілення мікродомішок гумінових речовин, вміст яких не перевищує 1% по сухих речовинах, можливо лише шляхом багатократного нанесення рідкої фази та отримання пошарової структури з мікрокристалів. Це можливо лише при створенні умов для регулярного проходження зернистого матеріалу через зони зрошення, релаксації(кристалізації) та інтенсивного тепломасообміну.

Стійка кінетика процесу грануло утворення відбувається у випадку, коли встановлені відповідні співвідношення часу перебування частинок у вказаних зонах.

В іншому разі, процес зміщується в зону інтенсивного пилоутворення, з коефіцієнтом виносу $> 40\%$.

З попередніх експериментальних досліджень встановлено, що лімітуючою стадією процесу гранулоутворення є час перебування частинок в зоні релаксації. Тому, для зневоднення композитних розчинів, що містять більше 50% розчинника, висота шару має бути $H \geq 300$ мм, тобто $H/D_a \geq 2$.

У цьому випадку реалізація стійкої кінетики гранулоутворення визначається гідродинамікою.

Тому, дослідження процесу гідродинаміки в апаратах із відносно високими шарами з метою підвищення ефективності процесу гранулоутворення є актуальним.

1.8 Висновки

Застосування органо-мінеральних добрив дозволяє відновити екологічну рівновагу при активному землекористуванні та запобігти деградації ґрунтів.

Аналіз джерел літератури показав, що найбільш доцільним для одержання органо-мінеральних композитів із заданими властивостями є техніка псевдозрідження.

Для одержання органо-мінеральних добрив з пошаровою структурою необхідно забезпечити умови масової кристалізації з тонкої плівки рідини, нанесеної на поверхню гранули шляхом інтенсивної спрямованої циркуляції матеріалу в апараті з псевдозрідженим шаром з висотою, який визначається стійкою кінетикою гранулоутворення.

Ці умови будуть визначатися конструкцією газорозподільного пристрою у сукупності з камерою гранулятора.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛОУТВОРЕННЯ ТВЕРДИХ КОМПОЗИТИВ З ПОШАРОВОЮ СТРУКТУРОЮ

2.1 Структурна модель процесу гранулоутворення

При формулюванні фізичної моделі процесу прийняті такі припущення:

- водяний розчин сульфату амонію з домішками гумату калію та карбонату кальцію розподіляється на поверхню гранул рівномірно у вигляді тонкої плівки, яка утримується за рахунок адгезійно-сорбційних сил;

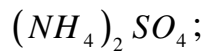
- максимальна маса поглиненої вологи складає 0,15 – 0,3 частки маси гранули ($m_{\text{гр}} = f(d_{\text{гр}})$);

- при контакті гранул із теплоносієм, нагрітим до температури 200 °С, відбувається інтенсивне випаровування вологи з плівки розчину, що обумовлює інтенсивну масову кристалізацію мінеральних компонентів та осадження гумінових речовин та суспендованих мікрочасток на поверхні гранул. Внаслідок чого розміри гранул зростають. Приймаємо, що швидкість росту гранули Λ не залежить від її діаметра, тобто ($\frac{d\Lambda}{dD} = 0$) ;

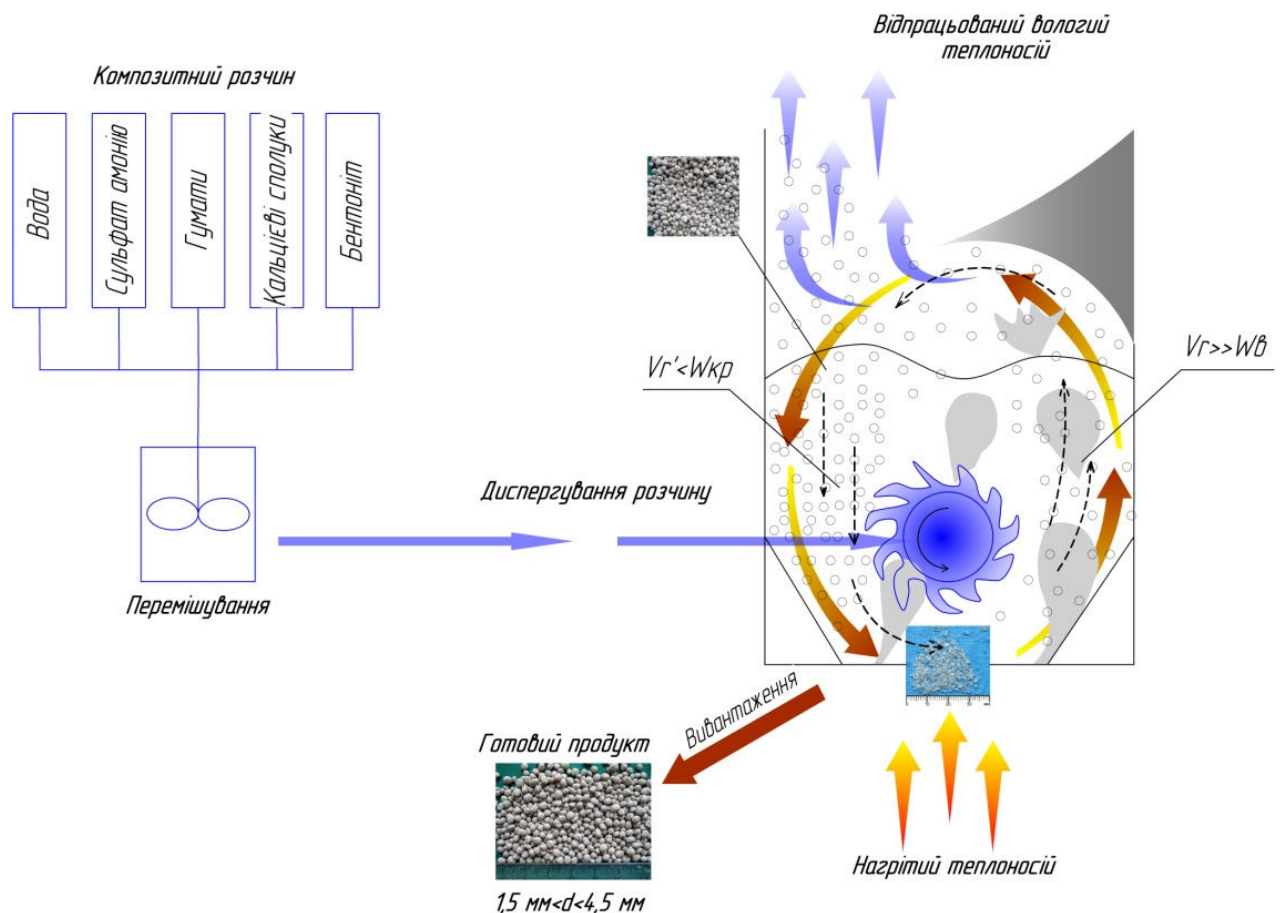
- кількість рідкої фази, що утримується на поверхні гранули пропорційна її поверхні;

- підведення теплоти до гранули здійснюється за рахунок теплоносія (вимушена конвекція) і від самого тіла гранул, за рахунок зіткнення з іншими сухими нагрітими гранулами;

- температура сухих гранул у шарі підтримується в інтервалі температур 93÷95°С, що визначається властивостями готового продукту



– на висоті шару 50 мм над газорозподільною решіткою відбувається зниження температури теплоносія до температури псевдозрідженого шару .



V_2, V_2' - швидкість руху гранул в окремих ділянках апарату

Рисунок 2.1 – Структурна схема утворення багатошарових твердих композитів

Реалізація пошарової структури можлива при зневодненні композитних розчинів у псевдозрідженому шарі з інтенсивним трьохмірним перемішуванням твердих композитів через відповідні зони апарату, а саме: зону інтенсивного тепло-масообміну, висхідну зону, зону

диспергування (зону зрошення), та зону релаксації.

В апарат з завантаженими центрами ганулоутворення, прогрітого до 93°C, подається композитний розчин – водяний розчин сульфату амонію з додаванням до нього гумінових речовин, кальцієвих сполук та бентоніту. Розчин диспергується в двофазну систему: твердий матеріал – газовий теплоносій.

Диспергований розчин розподіляється по поверхні гранул в середині апарату у вигляді надтонкої плівки, яка формується за рахунок адгезійно-сорбційних сил.

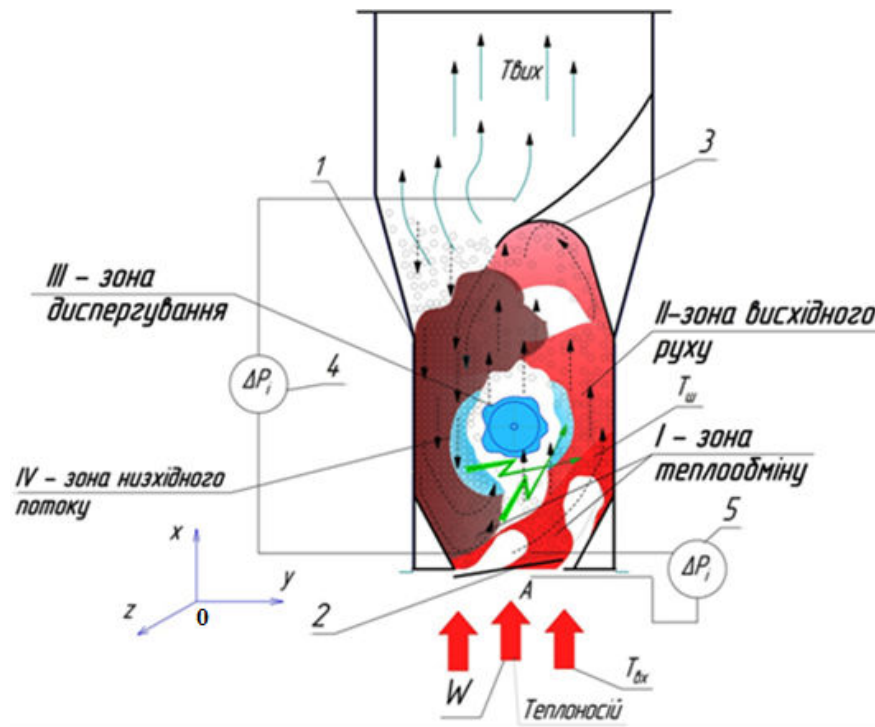
Внаслідок двохстороннього підведення теплоти від нагрітої гранули та газового теплоносія відбувається інтенсивне випаровування розчинника, що зумовлює інтенсивну масову кристалізацію сульфату амонію. В результаті на поверхні гранули утворюється шар з мікрокристалів сульфату амонію, кальцієвих сполук і бентоніту, та осаджених між ними колоїдних частинок гуматів.

Зернистий матеріал, суміш зволжених та сухих гранул, надходить у зону релаксації, в якій завершується процес масової кристалізації, та формування шару мікрокристалів на поверхні гранул, а також сорбція частини парів вологи сухими гранулами. Решта вологи переноситься до газового теплоносія, який рухається в режимі фільтрації через шар зернистого матеріалу. Із зони релаксації зернистий матеріал надходить до зони теплообміну.

Цикл повторюється багатократно. Внаслідок цього структура гранул являє собою просторовий каркас з мікрокристалів мінеральної речовини, між якими розташовуються мікрочастинки органічних домішок.

2.2 Фізична модель процесу утворення мінерально-гумінових твердих композитів з пошаровою структурою

Для реалізації механізму утворення органо-мінеральних композитів з пошаровою структурою необхідно створити умови послідовного проходження через відповідні зона апарату: зону теплообміну, висхідну зону, зону диспергування (зону зрошення), та зону релаксації, рисунок 2.2.



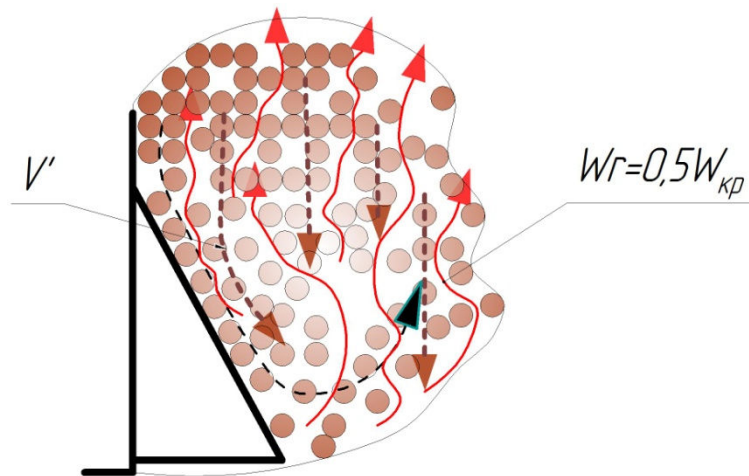
I – зона інтенсивного теплообміну; II – зона висхідного руху;
III – зона диспергування; IV – зона низхідного потоку
(зона релаксації – кристалізації та стабілізації мікрошару);

1 – корпус апарата; 2 – газорозподільний пристрій; 3 – направляючий розподільник; 4 - дифманометр виміру перепаду тиску на псевдозрідженому шарі; 5 - дифманометр виміру перепаду тиску на ГРП.

Рисунок 2.2 - Фізична модель процесу гранулоутворення в апараті

Спрямований рух теплоносія задається за допомогою газорозподільного пристрою 2, та забезпечує зону інтенсивного теплообміну - I. Далі гранули потрапляють до висхідної зони, та переміщуються вгору до направляючого розподільника 3. Направляючий розподільник спрямовує рух матеріалу в низхідну зону та зону диспергування робочим розчином - III, а також запобігає інерційному винесенню частинок з апарату. Перенаправлені розподільником гранули потрапляють в низхідну зону, після якої потрапляють до зони зрошення робочим розчином - III. Зона – IV, у лівій частині апарату, в якій теплоносій рухається у фільтруючому режимі забезпечує релаксацію, кристалізацію та стабілізацію мікрошару, рисунок 2.3.

Ця фізична модель покладена в основу математичної моделі



$V_{гран}$ - швидкість руху гранул; W_2 – швидкість гарячого теплоносія

Рисунок 2.3 – Схема руху теплоносія між гранулами низхідної зони IV

Рух газового потоку в центральному каналі буде описувати рівняння Нав'є-Стокса. Враховуючи, що основна зміна швидкості відбувається по висоті апарату (вісь OX), рівняння набуває вигляду:

$$-\rho g + \frac{\partial P}{\partial x} - \theta \frac{\partial^2 W_x}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial W_x}{\partial \tau} + \rho W_x \frac{\partial W_x}{\partial x} \quad (2.1)$$

де W_x – вертикальна складова швидкості руху потоку; ρ – густина потоку;

P – тиск; θ – коефіцієнт тертя.

Оскільки процес стаціонарний, то рівняння 2.1 приймає вигляд:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = 0 \quad (2.2)$$

Для окремої частинки, що рухається у висхідному потоці, на яку діє сила тяжіння та гідродинамічний опір середовища, застосовується другий закон Ньютона:

$$m \frac{dV}{d\tau} = -mg + \xi \frac{\pi d^2}{4} \rho \frac{u^2}{2} - f_{fr} \quad (2.3)$$

де m - маса частинки, ρ - густина частинки, g - прискорення сили тяжіння, u - відносна швидкість частинки, ξ - коефіцієнт гідравлічного опору, f_{fr} - сили інерції.

Відносна швидкість частинок:

$$u = W - V \quad (2.4)$$

де W – швидкість газового потоку; V – швидкість руху частинки.

Дійсна швидкість газу в шарі матеріалу визначається з залежності:

$$W = f(\varepsilon) = \frac{Q}{F_a \varepsilon}, \quad (2.5)$$

де Q – об'ємна витрата газу; F_a – поперечний переріз апарата; ε – порозність шару

Враховуючи (2.4) рівняння (2.3) зводиться до вигляду:

$$m \frac{dV}{d\tau} = -mg + \xi \frac{\pi d^2}{4} \rho \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.6)$$

Рівняння (2.6) необхідно розв'язати відносно швидкості руху частинки V та швидкості газового потоку W .

Граничні умови для розв'язку: початкові умови: $\tau_0 = 0; V = 0$, кінцеві умови: $\tau_{\max} = \tau; V = 0$.

Для кожної зони апарату (Рис. 2.1) окремо запишемо рівняння:

Зона I – інтенсивного теплообміну:

$$m \frac{dV}{d\tau} = \xi_1 \frac{\pi D_1^2}{4} \rho_r \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.7)$$

Зона II – зона висхідного руху:

$$m \frac{dV}{d\tau} = \xi_2 \frac{\pi \left(d + \frac{ds_1}{d\tau}\right)^2}{4} \rho \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.8)$$

Зона III – диспергування:

$$\left(m + \frac{dm'_{\text{p.p.}}}{d\tau}\right) \frac{dV}{d\tau} = - \left(m + \frac{dm'_{\text{p.p.}}}{d\tau}\right) g + \xi_3 \frac{\pi(d + S)^2}{4} \rho \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.9)$$

Зона IV – зона низхідного потоку:

$$\left(m + \frac{dm_{\text{c.p.}}}{d\tau}\right) \frac{dV}{d\tau} = - \left(m + \frac{dm_{\text{c.p.}}}{d\tau}\right) g + \xi_4 \frac{\pi(d + 0,4S)^2}{4} \rho \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.10)$$

Визначальною складовою фізичної моделі процесу гранулоутворення в апараті є визначення швидкості руху гранули по всім чотирьом зонам апарату з відповідними силами, що діють на частинку.

I – зона інтенсивного теплообміну: частинка рухається до висхідної зони, при цьому відбувається процес інтенсивного теплообміну і маса зволоженої частинки зменшується на масу випаруваної вологи композитного розчину, який був нанесений на гранулу попереднім проходженням зони диспергування. При цьому, сила Архімеда та сила

тертя ξ_1 - направлені ввєрх.

II – зона висхідного руху: де частинка, рухаючись ввєрх, а за рахунок перемішування, що виникає внаслідок струменево-барботажного режиму, частково зрошується композитним розчином, який осаджується у вигляді плівки на її поверхню та починає висихати за рахунок нагрітого теплоносія. При цьому вектори швидкостей руху частинки V та газу W співпадають між собою, сила Архімеда та сила тертя ξ_2 співпадають за напрямом і направлені протилежно вектору сили тяжіння mg .

III – зона диспергування – де частинка, в цілому рухаючись вниз, з одночасним перемішуванням в горизонтальній площині зрошується композитним розчином, який осаджується у вигляді плівки на її поверхню та починає висихати за рахунок нагрітого теплоносія. При цьому вектори швидкостей руху частинки V та газу W протилежні між собою, сила Архімеда та сила тертя ξ_2 направлені протилежно вектору сили тяжіння mg .

IV – зона низхідного потоку – зона релаксації, кристалізації та стабілізації мікрошару – зона осадження частинок, в якій відбувається остаточне формування шару з мікрокристалів. Після чого частинка опиняється в I зоні – інтенсивного тепло масообміну, та процес відбувається спочатку. Остаточно, в кінцевій зоні релаксації та стабілізації мікрошару, вектор швидкості руху частинки V співпадає з вектором $m_{ср}g$ (масою робочого розчину, що остаточно кристалізується), а сила Архімеда, швидкість газу W та сила тертя ξ_4 – за напрямом протилежні напрямку руху частинки.

2.3 Математична модель утворення мінерально-гумінових твердих композитів з пошаровою структурою

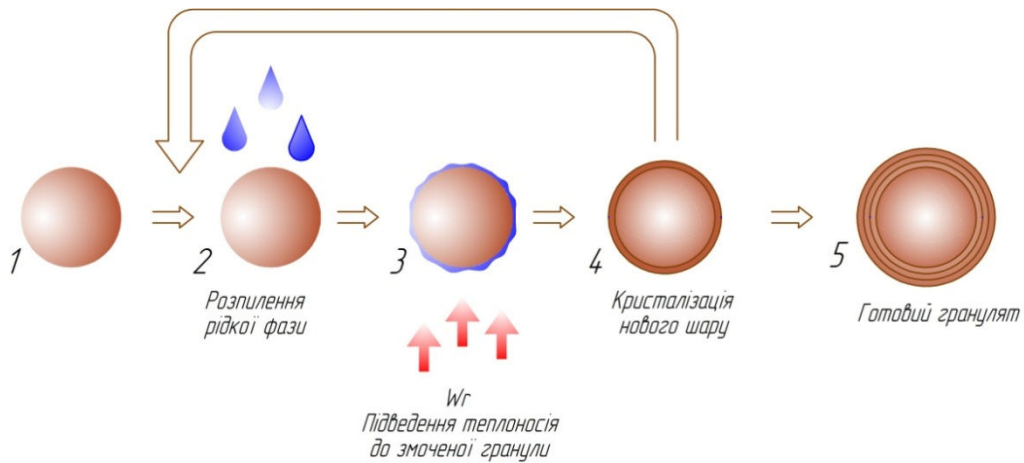
Для математичного опису процесу руху дисперсної фази у апараті з

направленою циркуляцією при наступних припущеннях:

- частинка має форму сфери;
- рух частинок в апараті підлягає умові ідеального змішування;
- частинки рухаються вертикально вниз з постійною швидкістю по боковій низхідній зоні;
- швидкість руху частинок у висхідному потоку визначається швидкістю теплоносія;
- для розрахунку прийнято середнє значення еквівалентного діаметра частинки;
- маса шару у псевдозрідженому шарі підтримується постійною шляхом вивантаження частини матеріалу з апарату;
- адгезійне зчеплення між частинками в апараті і остаточну напругу, які виникають при урівноваженні сили тяжіння, вважаємо відсутніми;
- теплота необхідна для випаровування вологи для забезпечення масової кристалізації підводиться з нагрітим теплоносієм;
- температура частинок у псевдо зрідженому шарі достатня, щоб забезпечити процес видалення розчинника у першому періоді сушки.

Механізм утворення гранули з пошаровою структурою при багатократній циркуляції по всім зонам апарату показано на рисунку 2.3, а на рисунку 2.4 показано механізм утворення агломератів.

Найбільш доцільним механізмом утворення є пошаровий, рисунок 2.4. Для забезпечення цього необхідно створити направлену циркуляцію зернистого матеріалу і, особливо, інтенсивне об'ємне перемішування в зоні зрошення [23].



1 – зона інтенсивного теплообміну; 2 – зона диспергування розчину; 3 – низхідна зона після диспергатора; 4 – зона низхідного потоку (зона релаксації – кристалізації та стабілізації мікрошару); 5 – гранула при вивантаженні

Рисунок 2.4 – Механізм утворення композиту з пошаровою структурою в окремій зоні апарату

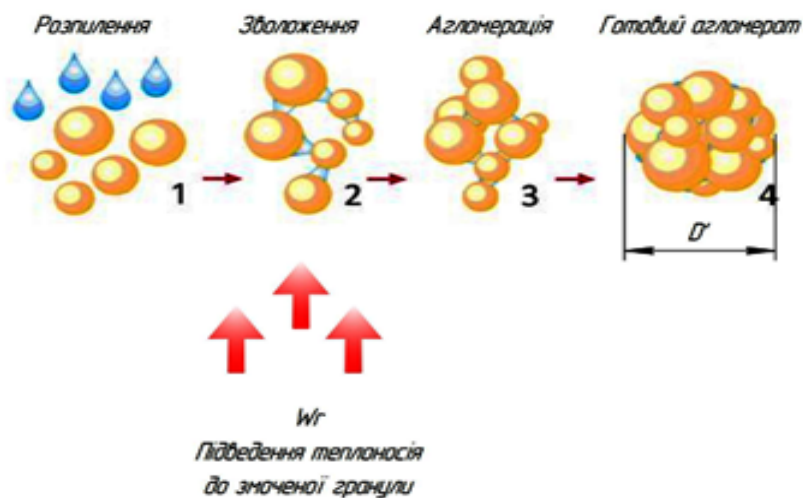


Рисунок 2.5 – Агломерація

Всі сили, що діють на тверду частинку, відповідно до зон в апараті, наведено на рисунку 2.6. Відповідно до запропонованої вище фізичної моделі у загальному вигляді можна представити, як:

$$\left(m + \frac{dm}{d\tau} d\tau\right) \frac{dV}{d\tau} = \pm \left(m + \frac{dm}{d\tau} d\tau\right) g \pm \xi_1 \frac{\pi D^2}{4} \rho_r \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.11)$$

де m – маса частинки, кг;

$\frac{dV}{d\tau}$ – прискорення частинки, м/с²;

$\frac{dm}{d\tau}$ – зміна маси частинки від часу, кг/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

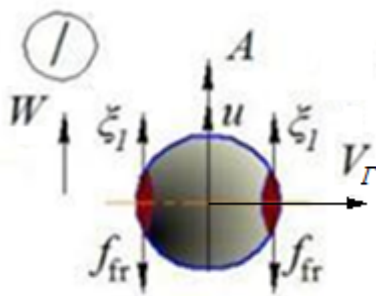
ξ_1 – коефіцієнт опору в вибраній зоні;

D – еквівалентний діаметр частинки в вибраній зоні, мм;

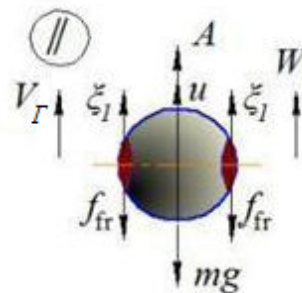
ρ_r – густина теплоносія(газової фази),кг/м³ ;

W – швидкість теплоносія, м/с;

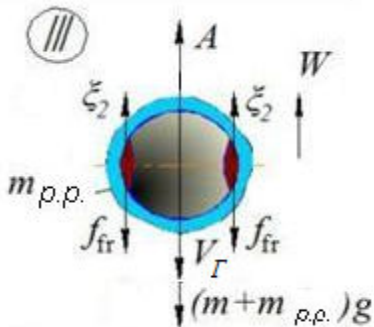
V – швидкість частинки, м/с;



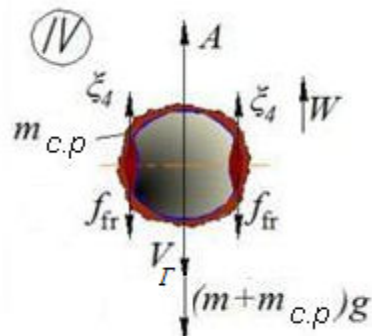
I – зона теплообміну



II – зона висхідного руху



III – зона диспергування



IV – низхідна зона

Рисунок 2.6 – Схема дії сил на частинку в кожній окремій зоні апарату

Відповідно, окремо для кожної зони розписується рівняння:

I-а зона – зона теплообміну:

$$m \frac{dV}{d\tau} = \xi_1 \frac{\pi D^2}{4} \rho_r \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.12)$$

де $\frac{dV}{d\tau}$ – зміна швидкості частинки від часу, м/с;

ξ_1 – коефіцієнт опору в I-й зоні;

D – еквівалентний діаметр частинки в I-й зоні, мм;

ρ_r – густина теплоносія(газової фази), кг/м³ ;

W – швидкість теплоносія, м/с;

V – швидкість частинки, м/с;

II-а зона – зона висхідного руху:

$$m \frac{dV}{d\tau} = \xi_2 \frac{\pi D_1^2}{4} \rho_r \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.13)$$

де $\frac{m_{p.p.}}{d\tau}$ – масові витрати робочого розчину, що подається до апарату
, кг;

D_1 – еквівалентний діаметр частинки в II-й зоні, мм;

ξ_2 – коефіцієнт опору в II-й зоні.

III-а зона – зона диспергування :

$$\left(m + \frac{m'_{p.p.}}{d\tau} \right) \frac{dV}{d\tau} = - \left(m + \frac{m'_{p.p.}}{d\tau} \right) g + \xi_3 \frac{\pi D_2^2}{4} \rho_r \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.14)$$

де $\frac{m'_{p.p.}}{d\tau}$ – маса розчину, що залишилась на поверхні частинки після часткового випаровування за час $d\tau$, кг;

D_2 – еквівалентний діаметр частинки в III-й зоні, мм;

ξ_3 – коефіцієнт опору в III-й зоні.

IV-а зона – зона низхідного потоку – зона релаксації, кристалізації та стабілізації мікрочару, де відбувається остаточне формування нового шару гранули:

$$\left(m + \frac{m_{\text{с.р.}}}{d\tau}\right) \frac{dV}{d\tau} = - \left(m + \frac{m_{\text{с.р.}}}{d\tau}\right) g + \xi_4 \frac{\pi D_{2'}^2}{4} \rho_r \frac{(W - V)^2}{2} \quad (2.15)$$

де $m_{\text{с.р.}}$ – маса сухих речовин, що утворила шар на поверхні частинки за час $d\tau$, кг;

$D_{2'}$ – еквівалентний діаметр частинки в IV-й зоні, мм;

ξ_4 – коефіцієнт опору в IV-й зоні.

Коефіцієнт опору визначається як [15]:

$$\xi = k_1 k_2 (0,462 k_3 + 30/\text{Re}), \quad (2.16)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує умови стісненого руху частинок через їх взаємодію, і визначається як [15]:

$$k_1 = \varepsilon^{-4,75}, \quad (2.17)$$

де ε – порозність шару;

k_2 – коефіцієнт, що враховує умови стісненого руху частинок через вплив стінок, і визначається як [15]:

$$k_2 = 1/M^2, \quad (2.18)$$

де M – поправочний множник, що залежить від співвідношення розміру частинок до поперечного перерізу діаметра апарата і від режиму обтікання. Ця величина не є універсальною, і при турбулентному русі вибираємо за Р.Б. Розенбаумом [15]:

$$M = (1 + 2,1[1 - d_e/D_a] \cdot d_e/D_a)(1 - d_e/D_a); \quad (2.19)$$

де d_e – еквівалентний діаметр частинки, мм;

D_a – еквівалентний діаметр апарата, мм;

k_3 – коефіцієнт, що враховує вплив форми частинки, і визначається як [15]:

$$k_3 = 11 - 10\psi, \quad (2.20)$$

де ψ – коефіцієнт форми (сферичності), $\psi = 0,86$;

Re – критерій Рейнольдса визначається згідно методики, запропонованої О.М. Тодесом і має найбільшу точність, і враховує порозність матеріалу [15]:

$$Re = \frac{Ar \cdot \varepsilon}{\frac{150 \cdot (1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} + \sqrt{\frac{1,75 \cdot (Ar \cdot \varepsilon)}{\varepsilon^3}}}, \quad (2.21)$$

де Ar – критерій Архімеда, що враховує зазначені вище припущення [15]:

$$Ar = \frac{9,81 \cdot d_e^3 \cdot (\rho_t - \rho_r)}{\nu^2 \cdot \rho_r}, \quad (2.22)$$

де d_e – еквівалентний діаметр частинки, мм;

ρ_t – густина твердих частинок, кг/м³;

ρ_r – густина теплоносія (газової фази), кг/м³;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості теплоносія, м²/с.

Остаточно, необхідно розрахувати швидкість руху частинки в апараті при утворенні мінерально-гумінових композитів з пошаровою структурою.

Після доповнення рівнянням масообміну, було складено систему рівнянь:

$$\begin{cases} \left(m - \frac{dm}{d\tau}\right) \frac{dV}{d\tau} = \pm \left(m - \frac{dm}{d\tau}\right) g \pm \xi \frac{\pi d^2}{4} \rho \frac{(W - V)^2}{2} \\ \frac{dm}{d\tau} = \beta F \Delta C \end{cases} \quad (2.23)$$

При цьому необхідно врахувати, що загальна маса вивантаженого продукту:

$$G_{np} = F \Lambda \tau \rho_{ш}, \quad (2.24)$$

де F – загальна поверхня частинок у псевдозрідженому шарі, м²;

$\rho_{ш}$ – густина гранул, кг/м³;

Λ – лінійна швидкість росту гранул, м/год:

$$\Lambda = \frac{K \cdot \psi}{6 \cdot 100} D_e, \quad (2.25)$$

де K – константа вивантаження, 1/год:

$$K = \frac{G_{cp}}{G_{ш}}, \quad (2.26)$$

де G_{cp} – масові витрати сухих речовин, що подаються в апарат з робочим

розчином, кг/год;

$G_{ш}$ – маса шару, кг;

τ – середній час перебування, год:

$$\tau = \frac{1}{K}, \quad (2.27)$$

Коефіцієнт гранулоутворення:

$$\psi = \frac{G_{г}}{G_{с.р.}} 100\% \quad (2.28)$$

Розв'язок цієї системи рівнянь визначає умови гідродинаміки, та загальну поверхню зернистого матеріалу в шарі, необхідну для забезпечення стійкої кінетики процесу грануло утворення гуміново-мінеральних твердих композитів із заданою структурою.

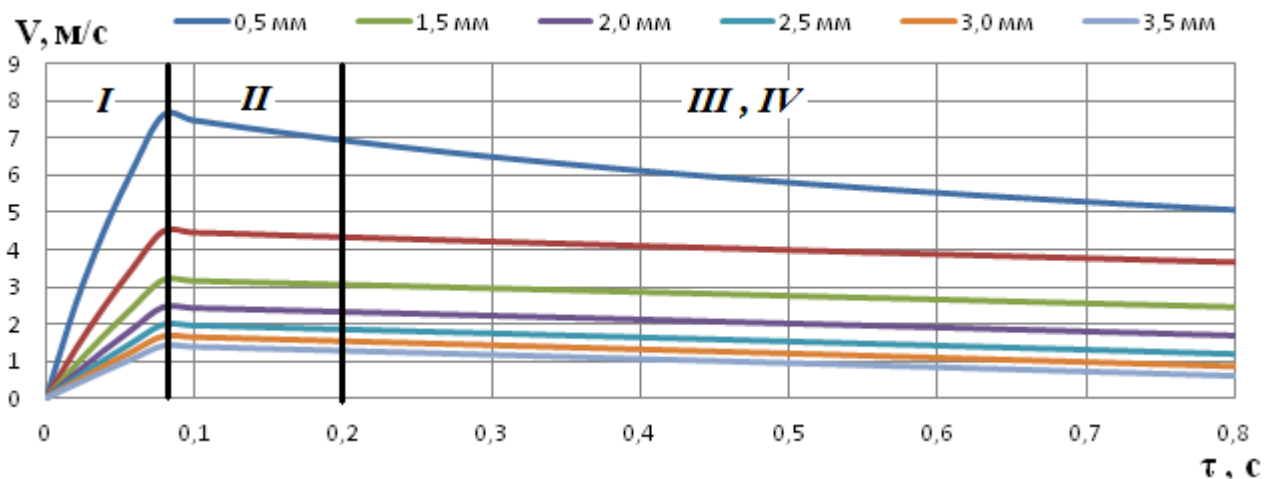
2.4 Числовий розв'язок математичної моделі

З урахуванням результатів експериментів гідродинаміки при наявності струменево-барботажного режиму псевдозрідження, час повного циклу при послідовному переході частинки через технологічні області в псевдозрідженому шарі в апараті $\tau_{\text{ц}} = 0,8$ с.

Відповідно, за математичною моделлю при зневодненні рідких систем, розраховано динаміку зміни швидкості в діапазоні зміни діаметра від 0,5 мм до 3,5 мм.

Розрахунок проводився для монодисперсного шару.

Так, максимальну швидкість $V_r = 7,8$ м/с досягають частинки $d_e = 0,5$ мм, і лише 2 м/с досягають частинки $d_e = 2,5$ мм, рисунок 2.7.



I – зона інтенсивного теплообміну; *II* – зона висхідного руху; *III* – зона диспергування; *IV* – зона низхідного потоку

Рисунок 2.7 – Розрахунок швидкості частинок з різними розмірами

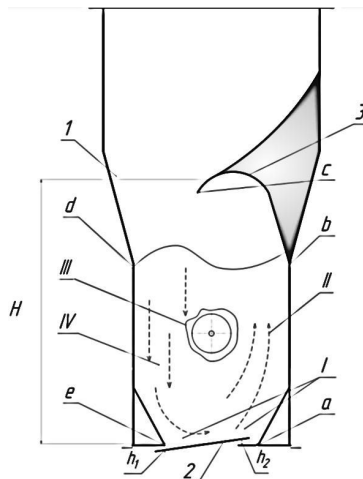
В загальному випадку швидкість частинок в кінці циклу, $\tau_{ц} = 0,8$ с, в середньому зменшується на 30 % відносно максимального значення при $0,6 \leq \tau \leq 0,8$ с.

Звідси випливає висновок, що швидкість газу в зоні біля ГРП доцільно збільшувати пропорційно квадрату еквівалентного діаметра частинок в шарі.

2.5 Розроблення конструкції газорозподільної решітки

Метою розробки є створення конструкції газорозподільного пристрою (ГРП), яка забезпечуватиме направлену циркуляцію зернистого матеріалу по всьому апарату.

В нижній частині апарату встановлюємо ГРП, що спрямовує газовий потік в праву сторону камери гранулятора і спричиняє зону висхідного руху (рисунок 2.8). Для запобігання винесенню гранул з апарату, на висоті H встановлено направляючий розподільник, який спрямовує струмінь зернистого матеріалу в зону $c - d - e$. Це дозволить забезпечити вертикальний рух зернистого матеріалу по всій висоті шару $H=360...400$ мм.



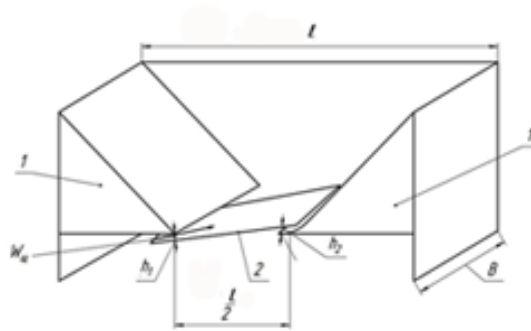
I

Рисунок 2.8 – Схема руху зернистого матеріалу в апараті

– зона теплообміну; II – зона висхідного руху; III – зона диспергування; IV – зона низхідного потоку (зона релаксації – кристалізації та стабілізації мікрошару);

1 – корпус апарата; 2 – газорозподільний пристрій, ; 3 – направляючий розподільник.

Для реалізації цього процесу, на підставі попередньо проведених дослідів, запропоновано газорозподільний пристрій (ГРП), де $\frac{h_2}{h_1} = 1,5$ згідно рисунку 2.9.



1 – призматичні елементи; 2 – направляюча пластина;

Рисунок 2.9 – Конструкція газорозподільного пристрою з нерівномірними щілинами

Запропонована конструкція ГРП гранулятора потребує експериментальних гідродинамічних досліджень та оцінки впливу на кінетику процесу гранулоутворення при зневодненні рідких систем.

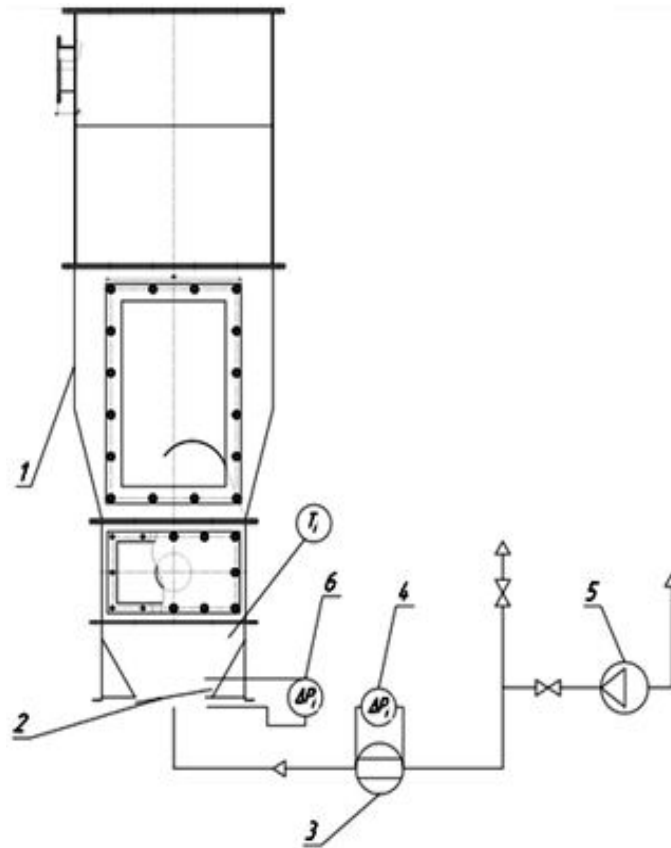
2.6 Методика проведення комплексних експериментальних досліджень

2.6.1 Методика визначення коефіцієнту гідравлічного опору газорозподільного пристрою

Метою досліджень є визначення впливу конструктивних параметрів

газорозподільного пристрою (ГРП) на його гідродинамічні характеристики.

Для проведення досліджень була створена установка - рисунок 2.10.



1 – гранулятор псевдозрідженого шару; 2 – газорозподільний пристрій;
3 – камерна діафрагма; 4 – дифманометр для визначення перепаду тиску на діафрагмі; 5 – газодувка для подачі повітря; 6- дифманометр для визначення перепаду тиску на ГРП

Рисунок 2.10 – Загальний вид пілотної дослідної установки

Витрати повітря, яке подається компресором для подачі повітря 4 з регулюючим вентилям і вимірюються камерною діафрагмою у комплекті з U-подібним дифманометром з точністю $\pm 1 \text{ м}^3/\text{год}$. Температура газу вимірюється безпосередньо перед ГРП термопарою в комплекті з електронним потенціометром А-565, з точністю $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Гідравлічний опір ГРП вимірювався U-подібним дифманометром з точністю $\pm 20 \text{ Па}$.

Коефіцієнт гідравлічного опору ГРП розраховується за виразом:

$$\Delta P_p = \xi \frac{W_{\text{ш}}^2 \cdot \rho_t}{2}, \quad (2.26)$$

де, ΔP_p – гідравлічний опір ГРП, Па;

ρ_t – густина повітря при даній температурі, кг/м³;

$W_{\text{ш}}$ – середня швидкість газу в щілинах ГРП, м/с;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору ГРП.

Швидкість газу в щілинах визначається за виразом:

$$W_{\text{ш}} = \frac{W_a}{\varphi_i} \cdot 100\%, \quad (2.27)$$

де φ_i – значення коефіцієнту живого перетину ГРП, %;

W_a – швидкість повітря в апараті віднесена до повної площі ГРП і визначається за виразом:

$$W_a = \frac{Q}{F_a} = \frac{Q}{L \cdot B},$$

де $F_a = L \cdot B$ – загальна площа ГРП, м²;

Q - об'ємні витрати повітря при даній температурі, м³/с

вимірюються камерною діафрагмою та обчислюється за виразом:

$$Q = 4,927 \cdot 10^{-5} \sqrt{\Delta P_d (273 + t_{\text{сер}})} \quad (2.28)$$

де $t_{\text{сер}}$ - температура оточуючого середовища (аудиторії), °С;

ΔP_d - перепад тиску на діафрагмі, Па;

Тоді коефіцієнт гідравлічного опору визначається за виразом:

$$\xi = \frac{\Delta P_p}{A} \quad (2.29)$$

де $A = \frac{W_{\text{ш}}^2 \cdot \rho_t}{2}$.

Результати дослідження гідродинамічного стану наведено на

рисунку 2.11 (Додаток В1).

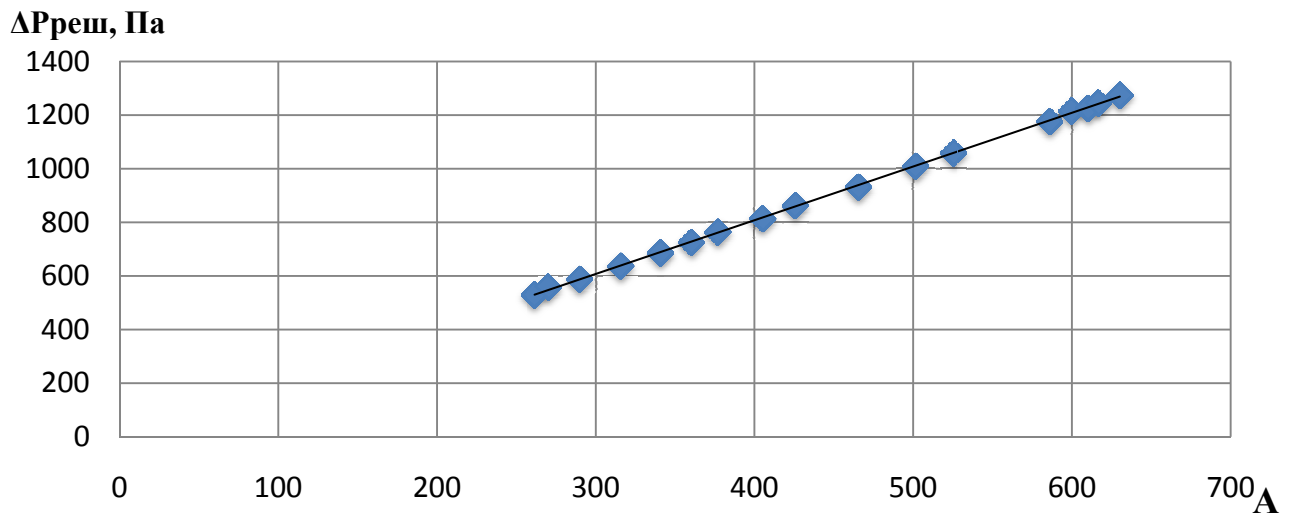


Рисунок 2.11 – Визначення коефіцієнта гідравлічного опору ГРП

2.6.2 Методика визначення об'ємних витрати теплоносія в апараті

Метою експериментальних досліджень є визначення кількості теплоносія, необхідної для забезпечення стабільного протікання процесу руху зернистого матеріалу у вертикальному каналі в апараті з направленою циркуляцією (Додаток А).

Розрахунок проводиться згідно методики, запропонованої авторами [правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами РД 50-213-80" Москва, издательство стандартов 1982 г. С-319.] [30].

Початковими даними для розрахунку є:

діаметр трубопроводу D , мм ;

діаметр отвору діафрагми d , мм ;

коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря ν , $\text{м}^2/\text{с}$;

температура повітря оточуючого середовища T , К ;

густина теплоносія ρ , кг/м³;

перепад тиску на діафрагмі ΔP_d , Па;

абсолютний тиск перед діафрагмою P , Па.

Витрата теплоносія:

$$q_v = 0,25 \cdot \pi \cdot d_{20}^2 \cdot K_{cy}^2 \cdot C \cdot E \cdot K_\theta \cdot \xi \cdot \hat{E}_i \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P_d}{\rho}}, \quad (2.30)$$

де ξ – поправочний коефіцієнт на розширення вимірювального середовища;

K_t – поправочний коефіцієнт на теплове розширення матеріалу діафрагми;

$d_{20}=35,5$ мм – діаметр отвору звужуючого пристрою при температурі 20°C;

$K_{cy}=1$ – коефіцієнт, що враховує зміну діаметра отвору звужуючого пристрою викликаного відхиленням температурного середовища від 20°C. (t=20°C);

C – коефіцієнт витікання;

K – коефіцієнт стисненості газу.

Для розрахунку витрати теплоносія необхідно знайти додаткові величини, що залежать від конструкції діафрагми, режиму роботи, похибок вимірювання та обладнання, а також умови проведення процесу.

Відносна площа пристрою звуження:

$$m = \frac{d^2}{D^2}. \quad (2.31)$$

Згідно визначеної вище методики розрахунку, приймаємо значення критерію Рейнольдса $Re = 160000$, тоді коефіцієнт витрати діафрагми:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \left(0,5959 + 0,03212 \cdot m^{1,05} - 0,184 \cdot m^4 + 0,0029 \cdot m^{1,25} \cdot \left(\frac{10^6}{Re} \right)^{0,75} \right). \quad (2.3)$$

Для спрощення приймаємо:

$\xi = 1$, так як $T = 273 \text{ К}$, $K = 1$, тому, що тиск $P = 0,1 \text{ МПа}$ (атмосферний), $K_t^2 = 1$.

Тоді, прийнявши зазначені вище умови, (2.35) набуває вигляду:

$$Q_{\text{НОМ}} = 0,2109 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{д}} \cdot P}{\rho \cdot T}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.33)$$

Перевіряємо значення прийнятого вище критерію Рейнольдса з реальним значенням:

$$\text{Re}' = \frac{W \cdot D}{\nu} = \frac{4 \cdot Q_{\text{НОМ}} \cdot D}{\pi \cdot D^2 \cdot \nu} = \frac{4 \cdot Q_{\text{НОМ}}}{\pi \cdot D \cdot \nu}, \quad (2.34)$$

де W – швидкість теплоносія, м/с.

Похибка прийнятого значення від реального:

$$\Delta = \frac{\text{Re} - \text{Re}'}{\text{Re}'} \quad (2.35)$$

Остаточно приймаємо значення критерію Рейнольдса $\text{Re} = 25831$, тоді розрахункова формула витрати теплоносія у вертикальному каналі в апараті з направленою циркуляцією набуває вигляду:

$$q_v = 4,927 \cdot 10^{-5} \sqrt{\Delta P_{\text{д}} (273 + t)}. \quad (2.36)$$

де $\Delta P_{\text{д}}$ – перепад тиску на діафрагмі, Па; t – температура середовища, °С.

2.6.3 Визначення кінетичних характеристик процесу зневоднення органо-мінеральних багатошарових твердих композитів з рідких систем

Метою експериментальних досліджень є визначення технологічних умов проведення безперервного процесу гранулоутворення гуміново-

мінеральних багатошарових твердих композитів із заданими фізико-хімічними властивостями при застосуванні нової конструкції ГРП та камери гранулятора.

Для забезпечення умов фізичної моделі досліди проводились в грануляторі з псевдозрідженим шаром, який має форму комірки у вигляді паралелепіпеда із встановленим в ній направляючої вставки в нижній частині якої розташовано ГРП.

В якості початкових центрів грануляції використовувались кристали сульфату амонію, або дрібні гранули. Температуру нагрітого теплоносія на вході до гранулятора необхідно тримати на рівні 200 °С, у псевдозрідженому шарі – 93 – 97 °С, шляхом зміни витрат робочого розчину, який за допомогою механічного розпилювача подається всередину псевдозрідженого шару.

Робочий розчин готувався на основі 40% (мас.) водяного розчину сульфату амонію з рН=6,5-7,6 з домішками карбонату кальцію і гумінових речовин.

У стаціонарному процесі необхідно безперервно вимірювати і періодично, через кожні 20 хвилин, фіксувати з точністю $\pm 0,5$ °С температуру теплоносія в шарі і на вході в апарат. Витрати повітря вимірювати за допомогою камерної діафрагми з точністю $\pm 1,0$ м³/год, а витрати рідкої фази визначати за зміною об'єму за певний проміжок часу, з точністю $\pm 0,005$ кг. Час досліду фіксувати спеціальним хронометром з точністю ± 30 с. Періодично, з інтервалом 20 хвилин, відбирати проби (100 г) для проведення ситового аналізу, для підтримки перепаду тиску в шарі кожні 20 хв. вивантажувати таку кількість шару, щоб значення на U-подібному диференційному манометрі зберігалось на рівні 1962 Па з точністю ± 20 Па.

При проведенні дослідів висоту псевдозрідженого шару визначати через його гідравлічний опір в діапазоні 1900÷2200 Па і вимірювати водяними

U-подібними диференційними манометрами з точністю ± 20 Па.

За результатами експериментів визначались наступні величини.

В загальному випадку гідравлічний опір шару зернистого матеріалу можна виразити як:

$$\Delta P_{\text{ш}} = H_0(1 - \varepsilon_0)\rho_{\text{ш}}g \quad (2.37)$$

де, H_0 – висота нерухомого зернистого шару, м;

ε_0 – порозність нерухомого шару;

$\rho_{\text{ш}}$ – густина зернистого матеріалу, кг / м³.

Тиск зернистого шару на ГРП можна записати як:

$$\Delta P_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{ш}}}{S} \quad (2.38)$$

де $M_{\text{ш}}$ – маса шару, кг;

S – площа поперечного перерізу апарата, $S = A \cdot B$, м²;

g – прискорення сили тяжіння, $g = 9,81$ м / с².

Маса шару зернистого матеріалу визначається:

$$M_{\text{ш}} = \frac{\pi d_e^3}{6} n \rho_{\text{ш}} \quad (2.39)$$

де, d_e – еквівалентний діаметр частинок, м;

n – число частинок.

Якщо загальну поверхню шару зернистого матеріалу $f_{\text{ш}} = \pi d_e^2 n$.

Тоді маса шару запишеться як:

$$M_{\text{ш}} = f_{\text{ш}} \frac{d_e}{6} \rho_{\text{ш}} \quad (2.40)$$

Якщо $f_{\text{ш}}$ необхідна поверхня контакту фаз для ефективного масообміну, то порівнявши праві частини виразів (2.39) і (2.40) одержимо

вираз для визначення висоти нерухомого шару зернистого матеріалу, який впливає з необхідних умов проведення масообміну:

$$H_0 = \frac{f_{\text{ш}} \cdot d_e}{6 \cdot S \cdot (1 - \varepsilon_0)} \quad (2.41)$$

Еквівалентний діаметр частинок у псевдозрідженому шарі:

$$D_e = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{d_i}}, \quad (2.42)$$

де X_i – масова частка i -тої фракції (визначається за даними ситового аналізу); d_i – середній діаметр i -тої фракції визначається як середнє геометричне:

$$d_i = \sqrt{d_1 \cdot d_2}, \quad (2.43)$$

де d_1, d_2 – розміри отворів двох сусідніх сит при проведенні ситового аналізу.

Розподіл маси гранул за розміром визначався за результатами ситового аналізу за виразом:

$$g_i = \frac{n_i}{\Delta D_i \sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.44)$$

де n_i – щільність розподілу маси гранул i -тої за розмірами, мм^{-1} ; m_i – маса i -тої фракції, кг; $\Delta D = (d_2 - d_1)$ – діапазон існування фракції, мм.

Число псевдозрідження визначається за виразом:

$$K_w = \frac{W_p}{W_{\text{кр}}}, \quad (2.45)$$

де W_p приведена робоча швидкість в апараті, визначається з досліду, м/с:

$$W_p = \frac{Q}{3600 \cdot F_a}, \quad (2.46)$$

де Q – витрати повітря, які надходять в апарат, при нормальних умовах, м³/год; F_a – площа апарату в зоні газорозподільної решітки, м²:

$$F_a = L \times B \quad (2.47)$$

де L і B – геометричні розміри апарату в зоні газорозподільної решітки,

$L = 0,3$ м, $B = 0,11$ м; $W_{кр}$ – швидкість початку псевдозрідження (критична швидкість), м/с:

$$W_{кр} = \frac{Re_{кр}}{\nu_r}, \quad (2.48)$$

де $Re_{кр}$ – число Рейнольдса для початку псевдозрідження частинок з еквівалентним діаметром D_e :

$$Re = \frac{Ar \cdot \epsilon_0^{4,75}}{18 + 0,61(Ar \cdot \epsilon_0^{4,75})^{0,5}}, \quad (2.49)$$

де ϵ_0 – порозність нерухомого шару $\epsilon_0 = 0,4$; Ar – число Архімеда:

$$Ar = \frac{g D_e^3 (\rho_T - \rho_r)}{\nu_r^2 \rho_r}, \quad (2.50)$$

де ρ_T – густина твердих частинок, кг/м³; ρ_r – густина теплоносія при температурі шару, кг/м³; ν_r – коефіцієнт кінематичної в'язкості теплоносія при температурі шару, м²/с.

Щільність зрошення поверхні частинок у псевдозрідженому шарі за вологою a_f , кг вол./ (м²·год.), характеризує інтенсивність тепло -, масообмінних процесів і розраховується за виразом:

$$a_f = \frac{M_B}{f_{\text{ш}}}, \quad (2.51)$$

де $f_{\text{ш}}$ – загальна поверхня твердих частинок в шарі, м²; M_B – кількість вологи, яка надходить до апарату з рідкою фазою, кг/год:

$$M_B = \frac{(L_1 - L_2) \rho_p (1 - x_p)}{\Delta \tau}, \quad (2.52)$$

де L_1, L_2 – рівні рідкої фази в ємності на початку і кінці заданого інтервалу часу, л; ρ_p – густина рідкої фази, кг/м³; x_p – масова частка сухих речовин в рідкій фазі; $\Delta \tau$ – інтервал часу протягом якого визначились значення L_1 та L_2 , год.

У випадку, коли витрати рідкої фази (суспензії) вимірюються ваговим методом, масові витрати вологи розраховуються за виразом:

$$M_B = \frac{(G_1 - G_2)}{g \Delta \tau} \cdot (1 - x_p), \quad (2.53)$$

де G_1, G_2 – вага рідкої фази на початку і в кінці часового інтервалу, Н;

g – прискорення сили тяжіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Загальна поверхня частинок у псевдозрідженому шарі:

$$f_{\text{ш}} = \frac{6F \Delta P_{\text{ш}}}{D_e \cdot \rho_T g}, \quad (2.54)$$

де F – площа апарату в перерізі газорозподільного пристрою, м²; ρ_T – густина твердих частинок, кг/м³; $\Delta P_{\text{ш}}$ – гідравлічний опір псевдозрідженого шару (поточне значення), Па.

Ефективність процесу через коефіцієнт гранулоутворення, %:

$$\psi = \frac{G_{\text{гр}}}{G_M} \cdot 100\%, \quad (2.55)$$

де $G_{\text{гр}}$, $G_{\text{М}}$ – відповідно продуктивності по гранульованому продукту та по сухим речовинам, які надходять до апарату з рідкою фазою, кг/год.

Константа вивантаження, 1/год:

$$K = \frac{G_{\text{гр}}}{M_{\text{ш}}}, \quad (2.56)$$

де $M_{\text{ш}}$ – маса псевдозрідженого шару, кг.

Відповідно, середній час перебування розраховується за виразом:

$$K = \frac{G_{\text{гр}}}{M_{\text{ш}}}. \quad (2.57)$$

Первинна обробка експериментальних даних наводиться у вигляді графічних залежностей зміни базових характеристик процесу в часі:

- динаміка зміни еквівалентного діаметра частинок в шарі – $D_e = f(t)$;
- динаміка зміни масових часток окремих фракцій – $X_i = f(t)$;
- динаміка зміни загальної поверхні частинок в псевдозрідженому шарі $F_{\text{ш}} = f(t)$;
- динаміка зміни коефіцієнта гранулоутворення – $\psi = f(t)$;
- динаміка зміни питомої щільності зрошення за вологою поверхні частинок в псевдозрідженому шарі за вологістю $a_f = f(t)$;
- динаміка зміни гідравлічного опору шару - $\Delta P_{\text{д}} = f(\tau)$;
- динаміка зміни температури псевдозрідженого шару $T_{\text{ш}} = f(\tau)$ та рушійної сили теплообміну $\Delta T = f(\tau)$;
- динаміка зміни числа псевдозрідження $K_W = f(\tau)$;
- експериментально визначена залежність $\psi = f(K_W, a_f)$;

2.6.4 Визначення пористості пошарових гуміново-мінеральних твердих композитів

Для визначення густини твердих композитів застосовуємо пікнометричний метод. Сутність методу полягає в тому, що об'єм дисперсних часток – гранул визначається шляхом поміщення їх в пікнометр і заповнення простору між гранулами рідиною, що не розчинює компоненти гранул. Такою речовиною може бути насичений розчин такого ж складу, як гранули, або рідкі вуглеводні, зокрема – гас.

Густина багат шарового композиту ρ_k розраховувалась за виразом:

$$\rho_k = \frac{m_k}{V_n - \frac{m_r}{\rho_r}}, \text{ кг/м}^3, \quad (2.57)$$

де m_k – маса гранул в пікнометрі, кг;

m_r – маса гасу, що заповнив проміжки між гранулами, кг;

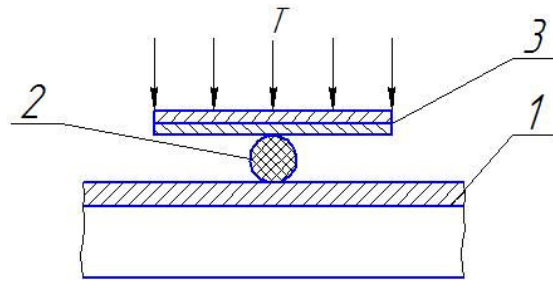
$V_n = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ – об'єм пікнометра;

$\rho_r = 789,9 \text{ кг/м}^3$ – густина гасу.

2.6.5 Визначення міцності пошарових гуміново-мінеральних твердих композитів

Для визначення статичної міцності гуміново-мінеральних твердих композитів застосовувався метод визначення величини зусилля, яке призводить до руйнування гранул. Досліди проводяться на спеціальному стенді,

рисунок 2.12.



1 – електронні ваги, точність виміру $\pm 0,005$ кг; 2 – твердий багат шаровий композит; 3 – виконуючий механізм із плавним збільшенням зусилля.

Рисунок 2.12 – Стенд для вимірювання міцності гранул

Вибирають 10 гранул фракцій +1,0 мм, +2,0 мм і +3,0 мм і визначають величину середнього руйнівного зусилля для кожної фракції для типів композитів: гуміново-азотних, гуміново-кальцієво-азотних, гуміново-кальцієво-калійно-азотних.

Результати представляють у вигляді величини зусилля, яке призводить до руйнування гранул, Н / на гранулу для кожної фракції.

Або зусилля руйнування відносять до максимальної площі поперечного перетину:

$$\sigma = \frac{T}{\frac{\pi d^2}{4}}, \text{ Н/м}^2, \quad (2.58)$$

де T – значення сили, що призводить до руйнування гранул, Н;

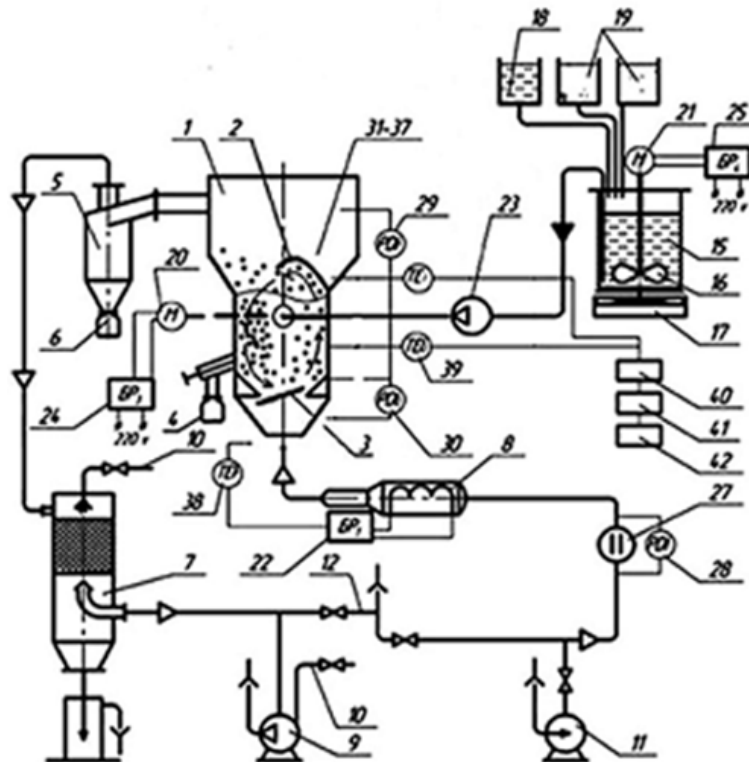
d – діаметр сфероподібної гранули, м.

Отримують значення межі міцності на стиснення, МПа.

2.7 Опис пілотної установки

З метою перевірки фізичної та математичних моделей процесу гранулоутворення багат шарових твердих композитів з інтенсивною

трьохмірною циркуляцією та визначення технологічних умов стійкої кінетики створено пілотну установку рисунок 2.13.



1 – апарат з псевдозрідженим шаром; 2 – механічний розпилювач; 3 – газорозподільна решітка; 4 – ємність для вивантаження гранул; 5 – циклон; 6 – ємність для збору пилу; 7 – скруббер; 8 – калорифер; 9 – вакуум-насос; 10 – подача води; 11 – газодувка; 12 – байпас; 13 – компресор; 14 – ресивер; 15 – ємність робочого розчину; 16 – мішалка; 17 – електроні ваги; 18 – ємність для розчину; 19 – ємність для сипучих речовин; 20 – двигун ротора; 21 – двигун мішалки; 22 – блок регулювання температури теплоносія на вході перед ГРР (БР₁); 23 – дозуючий насос для температури шару і подачі розчину (БР₂); 24 – блок регулювання числа обертів двигуна механічного розпилювача (БР₃); 25 – блок регулювання числа обертів двигуна мішалки (БР₄); 26 – блок регулювання тиску повітря в ресивері (БР₅); 27 – діафрагма для виміру витрат повітря; 28 – дифманометр виміру витрати повітря; 29 – дифманометр виміру перепаду тиску на псевдозрідженому шарі; 30 – дифманометр виміру перепаду тиску на діафрагмі; 31-37 – термопари виміру температури теплоносія в шарі; 38 – термопара виміру температури теплоносія на вході; 39 – термопара виміру температури в шарі для регулювання подачі розчину; 40 – модуль збору даних; 41 – інтерфейс; 42 – персональний комп'ютер.

Рисунок 2.13 – Схема пілотної установки

Пілотна установка, рисунок 2.13, призначена для дослідження процесів гранулоутворення багат шарових твердих композитів при зневодненні гетерогенних рідких систем. Конструктивно і технологічно виконана таким чином, що технологічна схема установки і конструкція основних вузлів гранулятора дозволяє проводити безперервний процес зневоднення і грануляції композитних розчинів в широкому діапазоні зміни основних технологічних параметрів.

Пілотна установка має в своєму складі: апарат з псевдозрідженим шаром 1, циклон 5, скруббер 7, вакуум-насос 9, калорифер 8, компресор 13, ємність робочого розчину 18, ємність для сипучих речовин 19, камерну діафрагму 27, U-подібні дифманометри 29, 30, блок голчатих термопар 31-37, термопари 38, 39, блоки регулювання 22, 23, 26.

Гранулятор 1 має прямокутну камеру з площею перерізу $F=0,0328 \text{ м}^2$ (0,111 x 0,296 м). З метою зменшення швидкості відвідних газів верхня частина камери гранулятора виконана з розширенням з двох боків та з'єднана з циклоном.

Вузол вивантаження гранульованого продукту апарату розташований у нижній частині апарату та дозволяє вести загальне і селекційне вивантаження гранул заданого розміру. Камера гранулятора виготовлена з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т в якій встановлено направляючу вставку. В нижній частині камери гранулятора встановлено газорозподільний пристрій щілинного типу, який створює направлений правосторонній рух зернистого матеріалу в прирешіточній зоні та забезпечує направлений рух теплоносія, і реалізує активний струменево-барботаажний гідродинамічний режим.

Введення рідкої фази здійснюється диспергатором 2 конічного типу, який встановлений всередині псевдозрідженого шару. Застосування конічного диспергатора обумовлено переробкою рідких гетерогенних

систем.

Нагрів повітря яке є теплоносієм, та подається до гранулятора, проводиться в електрокалорифері 8. Підтримання температури нагрітого повітря з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$ здійснюється автоматичною системою керування, за вимірами безінерційної хромель-копелевої термопари в комплекті з потенціометром А565 та блоком керування BP_1 .

Підтримання заданого значення температури у псевдозрідженому шарі проводилось за показанням безінерційної хромель-копелевої термопари 39 в комплекті з потенціометром А565 з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ шляхом зміни витрат робочого розчину, який надходить до гранулятора. Враховуючи те, що безінерційна термопара, розташована у псевдозрідженому шарі, має безпосередній контакт з нагрітим теплоносієм, зволженими та сухими твердими частинками, а інколи, із краплинами рідкої фази, тому з інтервалом у 1 с проводилось вимірювання температури із застосуванням інформаційних технологій 40-42.

В установці передбачена можливість ручного та автоматичного режиму керування витратами рідкої фази, що надходить в апарат. Витрати теплоносія вимірювались камерною діафрагмою 27 з точністю $\pm 1,0 \text{ м}^3/\text{год}$.

Для сухої очистки відпрацьованого теплоносія використовується циклон типу “НИИОГАЗ” 5, діаметром 150 мм. Кінцева очистка газів, які відходять, проводиться в прямоточному насадковому скрубєрі 7.

При роботі установки за допомогою вакуум-насосу 9 повітря через вимірювальну діафрагму 27 надходить до електрокалорифера 8.

Після електрокалорифера теплоносій з заданою температурою подається у дифузор апарату 1, і через ГРП 3 – до камери гранулятора, де відбувається безпосередній контакт з частинками зернистого шару. Після

нагріву шару до 93°C до псевдозрідженого шару подається робочий розчин за допомогою механічного розпилювача 2. При цьому в апараті створюється ефективний гідродинамічний режим з направленою циркуляцією зернистого матеріалу.

У випадку, коли в грануляторі 1 масовий відсоток частинок розміром

$d > 3$ мм досягає більше 50%, для забезпечення заданої швидкості теплоносія можливе підключення перед калорифером нагнітаючого пристрою – газодувки 11.

Відбір проб для ситового аналізу товарної фракції проводиться через вивантажувальний пристрій гранулятора 4.

При проведенні експериментальних досліджень проводилось безперервне вимірювання:

- температури теплоносія на вході до апарату T_1 , °C;
- температури псевдозрідженого шару T_2 , °C;
- витрати теплоносія за допомогою камерної діафрагми (PD_3), м³/год;
- витрати розчину, який вводиться у псевдозріджений шар, кг/год. за допомогою електронних ваг;
- перепади тиску на ГРП, у псевдозрідженому шарі, тиск у апараті – за допомогою U – подібних водяних дифманометрів (29, 30).

Температурне поле в псевдозрідженому шарі і над ним досліджувалось виносною мало інерційною голкоподібною термопарою (31-37) і вимірювальним приладом А565 з точністю $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Для забезпечення роботи пневматичного регулюючого клапану створена система пневматичного живлення, в якій автоматично

підтримується заданий робочий тиск.

З метою запобігання осадженню CaCO_3 та інших домішок в робочому розчині ємності 15 встановлено перемішуючий пристрій 16. Точність витрат розчину підвищена в 10 разів для одиночного виміру, а для сумарного виміру витрат за дослід протягом 5 годин – на 5-7%.

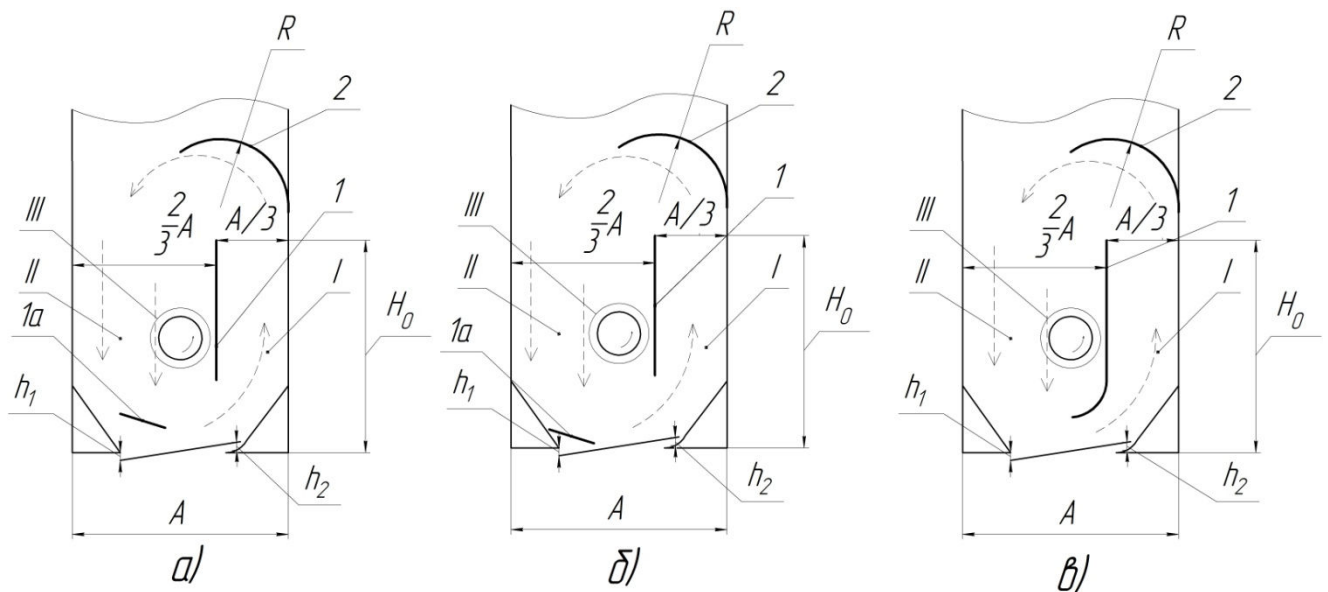
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Дослідження гідродинамічних характеристик псевдозрідження

Метою експериментальних досліджень було визначення впливу конструкції ГРП та додаткових направляючих елементів 1 та 2 в камері гранулятора на інтенсивність циркуляції зернистого матеріалу.

Досліди проводились на пілотній установці з розміром газорозподільного пристрою $A \times B = 0,3 \times 0,1$ м та висотою камери гранулятора $H_{к.г.} = 1,2$ м.

В якості ГРП застосовувалась решітка щільового типу наведена на рисунку 3.1 при $h_1 = 3$ мм та $h_2 = 6$ мм.



1, 1а, 2- додаткові направляючі елементи

I – зона висхідного потоку, II – зона низхідного потоку, III – зона диспергування

Рисунок 3.1 – Схеми конструкцій камери гранулятора

Коефіцієнт живого перетину ГРП дорівнює:

$$\psi = \frac{h_1 + h_2}{A} 100\% \quad (3.1)$$

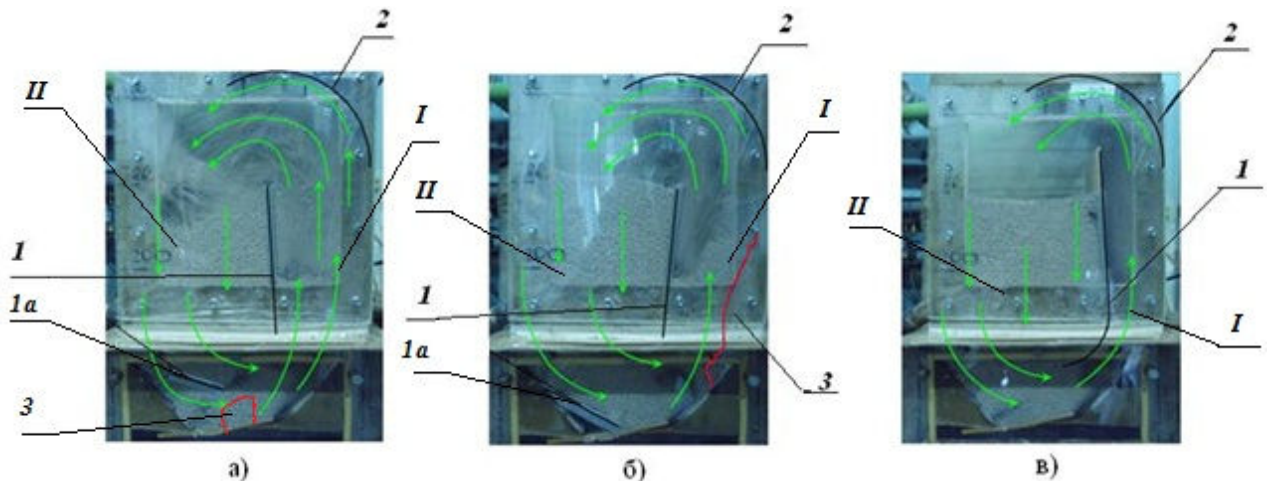
Для варіантів зображених на рисунку 3.1 коефіцієнт живого перетину ГРП $\psi = 3\%$.

В якості зернистого шару використовувався гранульований сульфат амонію з домішками гумінових речовин з $D_e = 2,3$ мм. Густина гранул визначалась експериментально і становить $\rho_{гр} = 1420 \pm 10 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

За результатами попередніх досліджень для забезпечення стійкого процесу масообміну загальна поверхня шару і відповідно висота нерухомого шару $H_0 = 300$.

При цьому $\frac{H}{D_a} = 2,0$, де D_a - приведений діаметр камери гранулятора в зоні ГРП, $D_a = 150$ мм.

Фотографії при числі псевдозрідження $K_w = 1,1$ для трьох варіантів конструкції камери гранулятора наведено на рисунку 3.2.



1, 1а, 2- додаткові направляючі елементи, 3 – застійні зони

I – зона висхідного потоку, II – зона низхідного потоку,

Рисунок 3.2 – Фотографії циркуляції зернистого матеріалу при

$$D_e=1,8 \text{ мм}; \Delta P_{ш}=1962 \text{ Па}; \Delta P_p = 246 \text{ Па}; T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

При реалізації взаємодії газового зріджуючого агента при температурі 20°C і перепаді на шарі 1962 Па , при приведеній швидкості $W_p=0,93\text{ м/с}$ для типу, рисунок 3.2 а, в висхідній зоні I спостерігався інтенсивний рух частинок із швидкістю газу, що значно перевищувала швидкість виносу частинки $W_r \gg W_{\text{вин.част}}$, $W_{\text{вин.част}} = 9\text{ м/с}$. внаслідок цього в низхідному потоці спостерігався монотонний низхідний рух щільної фази, при цьому частина газового теплоносія проходила через зону низхідного потоку II в фільтраційному режимі та мала щільність близьку до нерухомого шару. В нижній частині на пластинчатому елементі ГРП утворились застійні зони 3, рисунок 3.2 а, переміщення елементу 1а, рисунок 3.2 б, в зону близької до лівого колосника дещо збільшило інтенсивний рух у прирешіточній зоні. Проте, характер руху в висхідній I та низхідній зоні II залишився аналогічний варіанту а, рисунок 3.3.

Застосування направляючого елементу 1, рисунок 3.2 в, з радіальним вигином нижньої частини підвищив інтенсивність руху та забезпечив спрямування всього потоку з першої - h_1 та другої - h_2 щілин, рисунок 3.1 в, в вертикальний канал, що підвищило концентрацію твердого матеріалу в висхідній зоні I, та дещо збільшило швидкість в низхідній зоні II, яка мала порозність $\varepsilon < 0,45$.

Проведені експериментальні дослідження при реалізації процесу утворення азотно-гумінових добрив складу $N:\Gamma = 20,0:1,0$ з $D_{\text{поч}} = 1,8\text{ мм}$, зумовило перезволоження шару і утворення агломератів, рисунок 3.3 а в зоні зрошення, які внаслідок великих швидкостей було занесено в канал висхідного потоку I, рисунок 3.3 б, що унеможливило процес гранулоутворення. Це сталося внаслідок недостатнього перемішування в зоні диспергування III, рисунок 3.1 в, і великий час перебування твердих частинок в цій зоні.



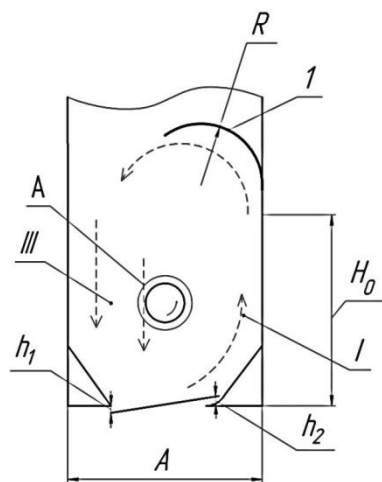
а)



б)

Рисунок 3.3 – Фотографії: а) – агломерат; б) – нарост закристилізованого агломерату на вертикальній стінці апарату

Для забезпечення інтенсивного руху та тривимірного перемішування в зоні диспергування була запропонована схема організації потоку руху зернистого матеріалу, що наведена на рисунку 3.4 із одночасним збільшенням розмірів щілин ГРП до $h_1 = 6$ мм та $h_2 = 9$ мм, що зумовило збільшення коефіцієнту живого перетину до 5%. Коефіцієнт гідравлічного опору визначався графічно за результатами експериментів, рисунок 3.5, $\xi = 2 \pm 0,2$.



1- направляючий розподільник

I – зона висхідного потоку, II – зона диспергування, III – зона низхідного потоку

Рисунок 3.4 – Схема конструкції камери гранулятора

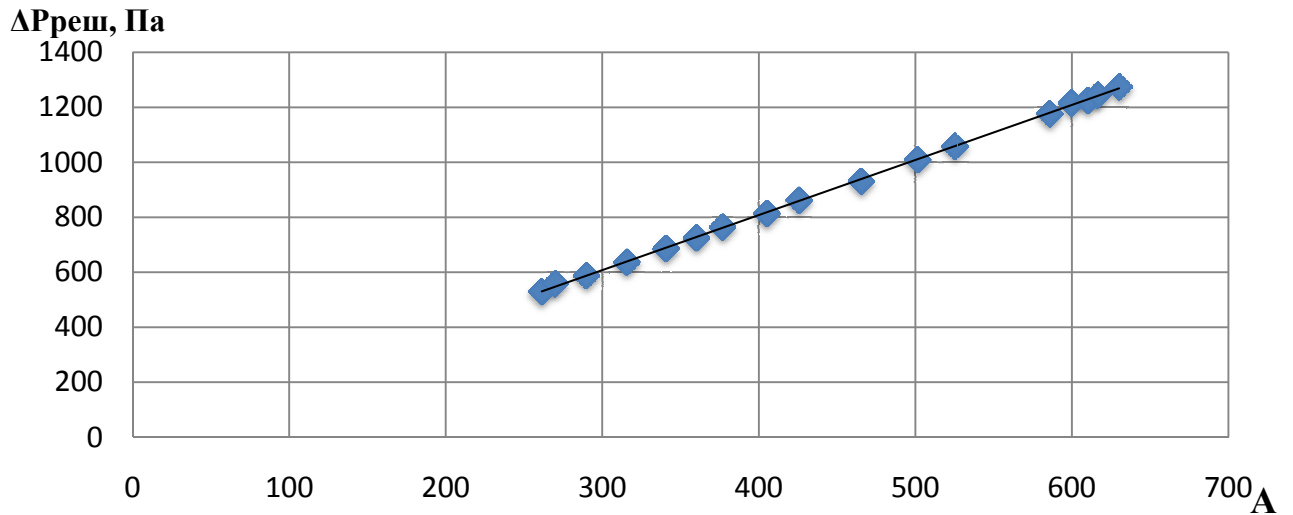


Рисунок 3.5 – Визначення коефіцієнта гідравлічного опору ГРП

На рисунку 3.6 з інтервалом 0,033с наведені фотографії стану зернистого матеріалу в шарі під час взаємодії з газом.

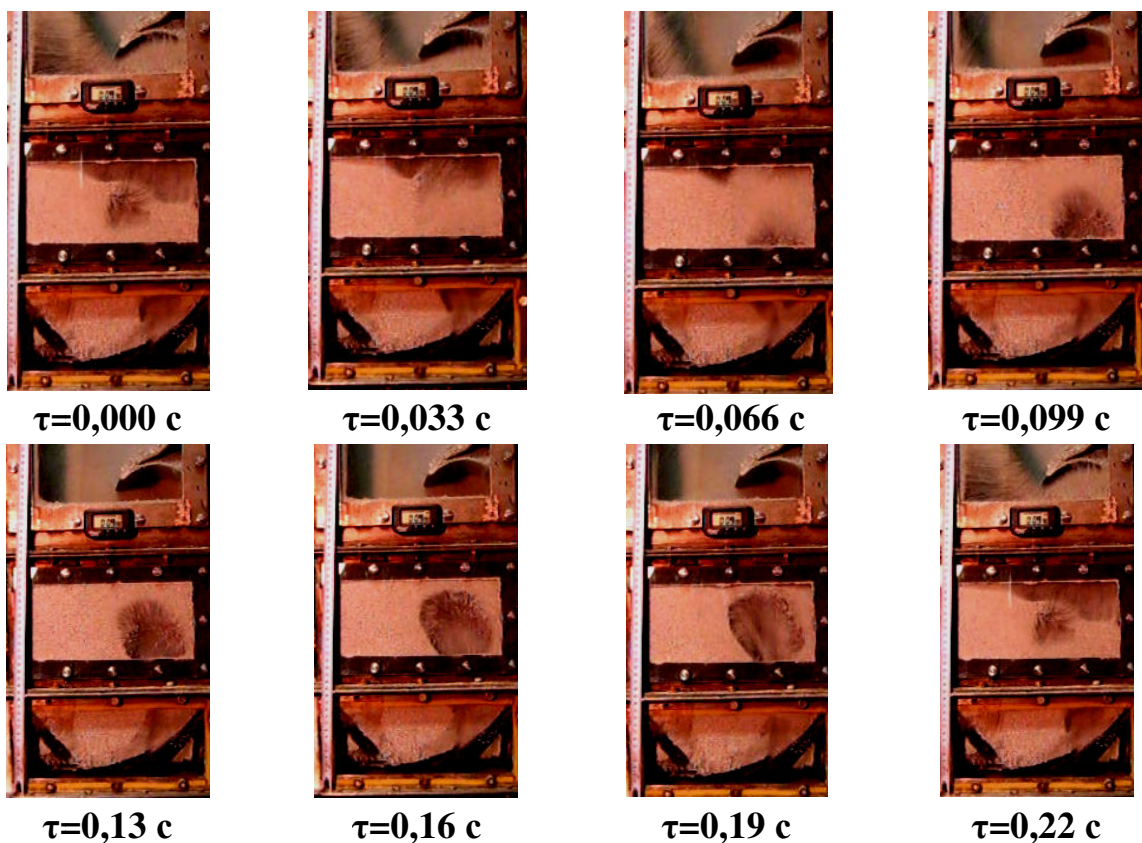


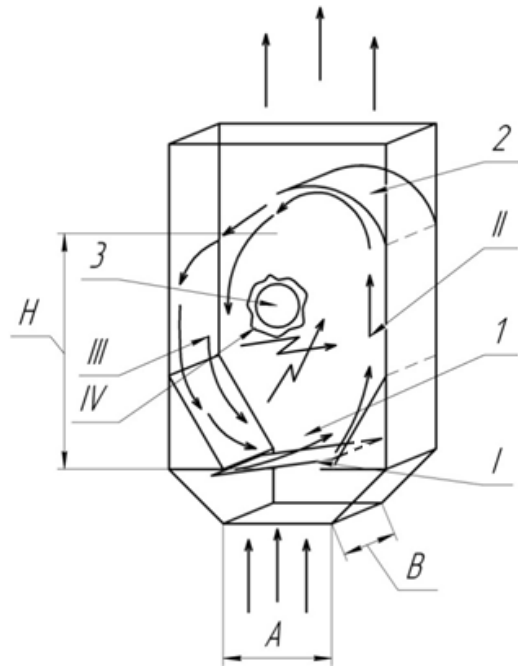
Рисунок 3.6 - Циклограма гідродинамічного режиму псевдозрідження при

$$D_e = 2,1 \text{ мм}; \Delta P_{ш} = 1960 \text{ Па}; \Delta P_p = 294 \text{ Па}; T=20^{\circ}\text{C}$$

У разі збільшення розмірів газової бульбашки, яка займає $\frac{1}{4}$ об'єму зернистого шару, значення підйомної сили збільшується, і газова бульбашка прискорено переміщується вгору ближче до правої сторони камери гранулятора. Це призводить до інтенсивного переміщення зернистого матеріалу, який знаходиться над нею, унаслідок чого потужний вертикальний струмінь зернистого матеріалу над шаром спрямовується направляючим розподільником 2, рисунок 3.4, до лівої бічної сторони камери гранулятора. Цей процес призводить до локального збільшення висоти шару й адекватного збільшення гідравлічного опору шару, що зумовлює зміщення траєкторії руху газової бульбашки до правої вертикальної стінки гранулятора в зону меншого гідравлічного опору, рисунок 3.6. Це підтверджується фотографіями миттєвої взаємодії при $\tau \geq 0,13$ с. Таким чином, при $\tau = 0,19$ с відбувається вихід газової бульбашки із зернистого шару, що майже адекватно стану шару при $\tau = 0,000$ с, тобто, цикл триває 0,19 с або частота пульсацій у шарі становить $f_{\text{ц}} = 5,26$ Гц.

Такий характер руху газової бульбашки спричиняє інтенсивну інжекцію зернистого матеріалу в зону шару, з якої вийшла газова бульбашка, і додаткове переміщення в горизонтальній площині, в зоні диспергування рідкої фази IV.

Завдяки цьому, в об'ємі шару зернистого матеріалу відбувається інтенсивне імпульсне переміщення кластерів зернистого матеріалу в горизонтальних площинах по всій висоті, що сприяє максимальному використанню поверхні контакту фаз. Окрім того, в низхідному потоці зернистого матеріалу може відбуватися ефективний масообмін між зернистим матеріалом і газом у режимі фільтрації. При збільшенні приведеної швидкості до $W_p = 1$ м/с частота пульсацій у шарі збільшується до 7,26 Гц.



1 – газорозподільний пристрій; 2 – направляючий розподільник; 3 – пристрій введення робочого розчину до диспергатора; I – зона інтенсивного тепломасообміну; II – зона вертикального руху; III – зона низхідного потоку, спрямованого направляючим розподільником 2; IV – зона зрошення

Рисунок 3.7 - Схема руху зернистого матеріалу в апараті з інтенсивним перемішуванням

Таким чином, застосування нової конструкції ГРП та відповідної конструкції камери гранулятора, рисунок 3.7, дозволяє забезпечити направлену циркуляцію зернистого матеріалу з утворенням тривимірного імпульсного режиму переміщення зернистого матеріалу.

3.2. Кінетика процесу утворення азотно-гумінових композитів

Мета експериментальних досліджень полягала у перевірці теоретичних положень щодо утворення комплексних твердих композитів шляхом зневоднення та грануляції рідких гетерогенних систем в дисперсних середовищах із застосуванням апарата з струменево-

барботажем режимом псевдозрідження.

В якості початкових центрів грануляції використовувались гранули амоній сульфату з домішками гумінових речовин, які містили (в перерахунку на діючу речовину) азоту та гумінових речовин у співвідношенні N:Г=20:1,0. Робочий розчин амоній сульфату з концентрацією 40% мас. мав аналогічний хімічний склад за сухими речовинами. Результати експериментальних досліджень для чотирьох дослідів наведені на рисунку 3.8, додаток В2, таблиця В2.1.

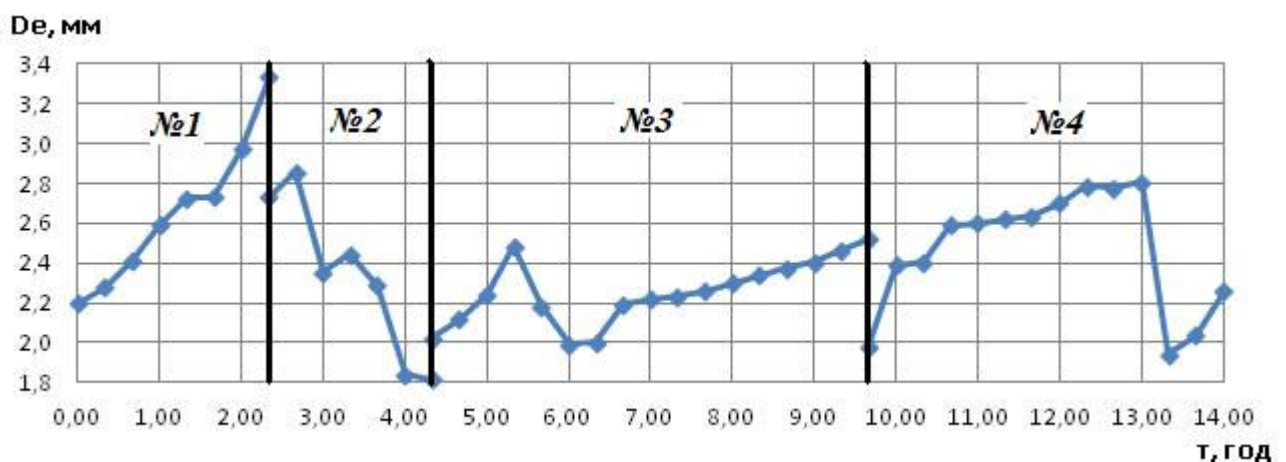


Рисунок 3.8 - Динаміка зміни еквівалентного діаметра гранул

В першому досліді спостерігалось монотонне зростання еквівалентного діаметра від 2,1 мм до 3,3 мм, що підтверджує перевищення кінетики гранулоутворення над кінетикою стирання частинок в шарі. При цьому усереднена швидкість росту гранул $\frac{dD}{dt} = 0,4$ мм/год.

Динаміка зміни масових відсотків фракцій в першому досліді характеризується послідовним переходом гранул від меншої до більшої за розмірами фракції, рис 3.9, що свідчить про пошаровий механізм утворення гранул та стійку кінетику процесу.

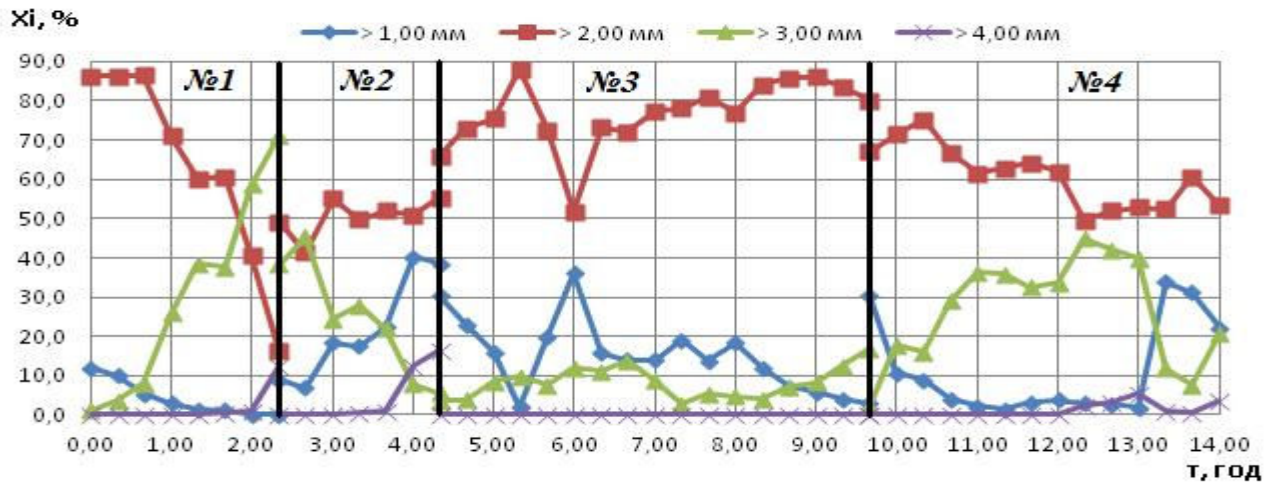


Рисунок 3.9 - Динаміка зміни масових відсотків окремих фракцій

При цьому температура шару підтримувалась $95 \div 97^\circ\text{C}$, при корисній різниці температур $\Delta T = 110 \div 145^\circ\text{C}$, маса шару в апараті підтримувалась постійною, шляхом вивантаження частини гранул шару. При проведенні дослідів, при збільшенні $\Delta P_{\text{ш}}$ до 2160 ± 50 Па відбувалось вивантаження шару до $\Delta P_{\text{ш}} = 1960 \pm 50$ Па.

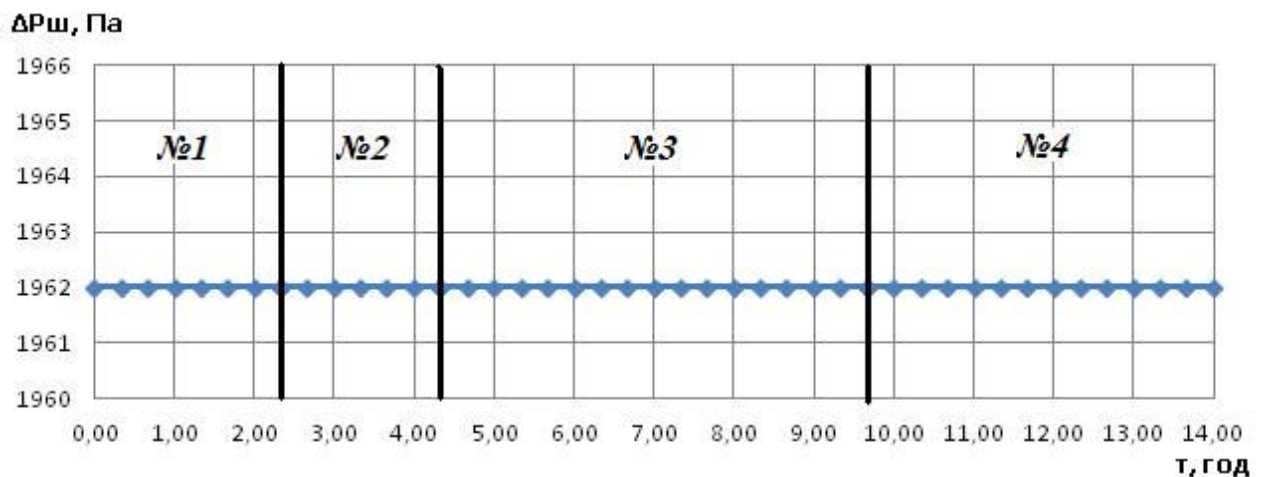


Рисунок 3.10 – Динаміка зміни гідравлічного опору шару

Такий спосіб реалізації процесу зумовлює суттєве зменшення загальної поверхні твердих частинок в псевдозрідженому шарі у випадку монотонного зростання еквівалентного діаметра, рисунок 3.11 (досліди

№1, №3, №4). А у випадку подрібнення, рисунок 3.11 (дослід №2), загальна поверхня шару збільшується з 8,5 до 13,5 м².

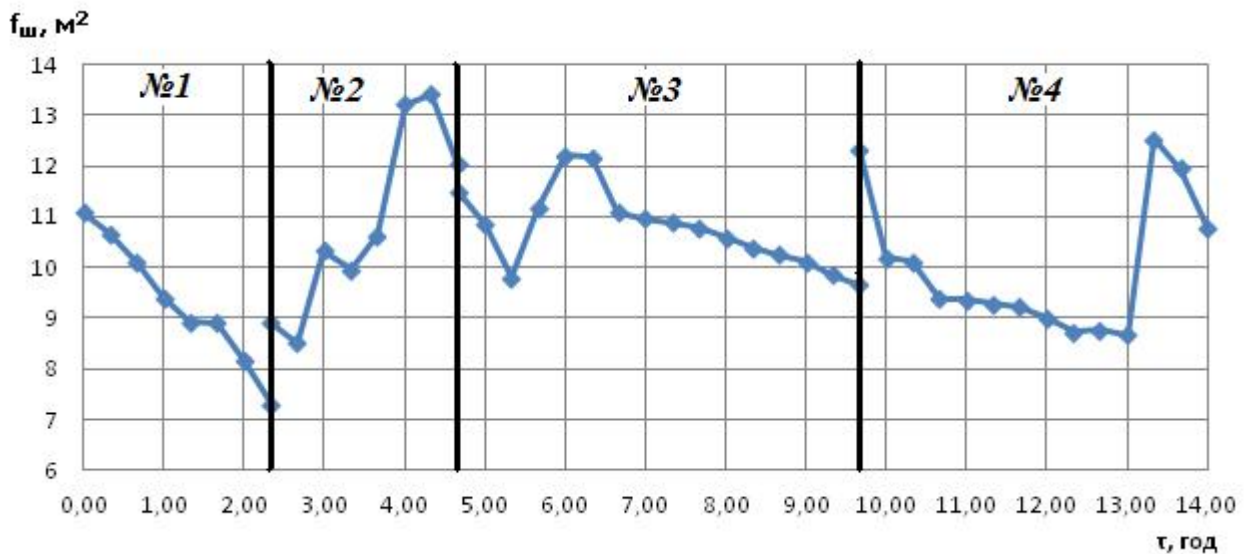


Рисунок 3.11 – Динаміка зміни загальної поверхні шару

В другому досліді визначалась можливість подрібнення гранул шляхом підвищення температури шару. Підвищення температури шару проводилось циклічно від 95 °С до 120 °С в інтервалах $2,33 \leq \tau \leq 3,00$ та $3,00 \leq \tau \leq 4,33$ год, рисунок 3.12.

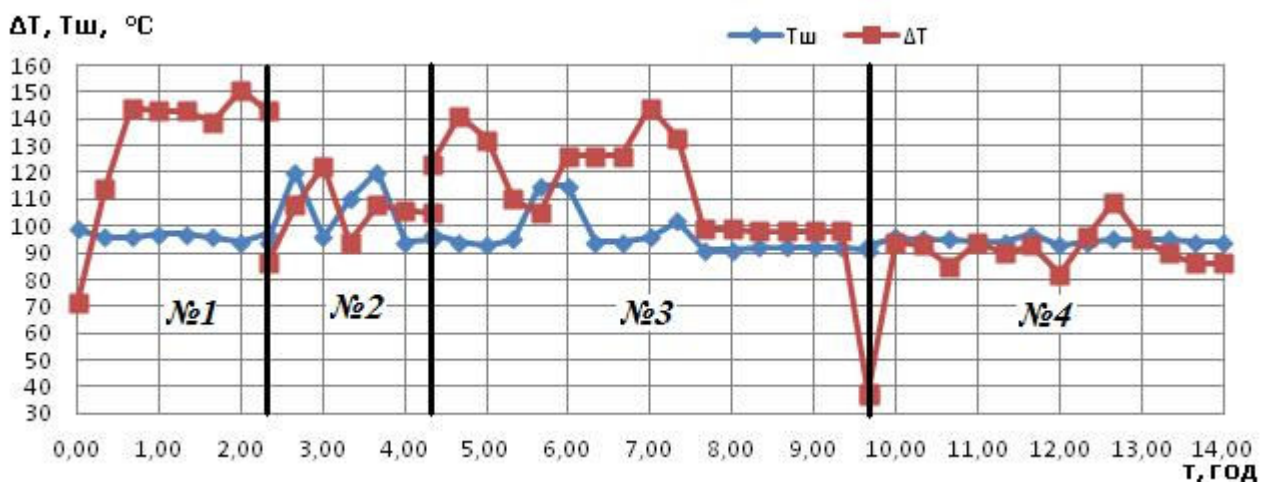


Рисунок 3.12 - Динаміка зміни температури у псевдозрідженому шарі

Це призвело до зменшення еквівалентно діаметра від 2,7 мм, $\tau = 2,33$ год, до 1,8 мм, $\tau = 4,00$ год, рисунок 3.8.

По суті процес подрібнення проводився в режимі, коли відношення корисної різниці температур ΔT до температури шару $T_{ш}$ становили $\frac{\Delta T}{T_{ш}} = 1,0 \div 1,1$, рисунок 3.11. Аналіз зміни дисперсного складу зернистого матеріалу в досліді №2, в порівнянні з дослідом №1, показує, що масовий відсоток фракції +3,00 мм зменшився від 40% до 10%, при одночасному зростанні масового відсотка фракції +1,00 мм від 10% до 40%, рисунок 3.9. Такий характер зміни дисперсного складу підтверджує механізм паровибухового подрібнення гранул.

В досліді №3 перевірялась відтворюваність механізму подрібнення гранул, рисунок 3.8. Так, в інтервалі часу $4,33 \leq \tau \leq 5,33$ год спостерігалось стрімке збільшення еквівалентного діаметру гранул від 2,00 мм до 2,4 мм, тобто $\frac{dD}{d\tau} = 0,45$ мм/год, рисунок 3.8. При цьому $\frac{\Delta T}{T_{ш}} = 1,52$, а $\Delta P_{ш} = 1960$ Па. Відповідно до рисунку 3.9 спостерігалось збільшення масового відсотка фракції +2,00 мм з 65% до 98%, при одночасному зменшенні відсотка фракції +1,00 мм від 30 до 1%. Зменшення співвідношення $\frac{\Delta T}{T_{ш}}$ до 1,0 шляхом підвищення $T_{ш}$ до 115°C з відповідним зниженням ΔT дозволило зменшити еквівалентний діаметр від 2,45 до 2 мм, рисунок 3.8, та знизити динаміку росту еквівалентного діаметру майже в 2 рази. При $7,00 \leq \tau \leq 9,00$ год $\frac{dD}{d\tau} = 0,25$ мм/год.

В досліді №4 визначались кінетичні характеристики процесу при $\frac{\Delta T}{T_{ш}} \leq 1,0$. Так, в інтервалі часу $10,00 \leq \tau \leq 13,00$ год градієнт зміни еквівалентного діаметра $\frac{dD}{d\tau} = 0,133$ мм/год, що в першу чергу пояснюється зменшенням параметра ΔT від 140°C до 90°C. Але при збільшенні ΔT від

90°C до 110°C відбулося інтенсивне подрібнення гранул із використанням паро-вибухового механізму.

Інтенсивність процесу зневоднення рідких систем визначається питомим навантаженням поверхні зернистого матеріалу в шарі за вологою a_f при заданих температурних режимах.

За таких температурних умов було досягнуто монотонне збільшення питомого навантаження поверхні зернистого шару за вологою $a_f, \frac{\text{КГ ВОЛОГИ}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}}$, рисунок 3.13. Характер збільшення $a_f = f(\tau)$ до значення $0,6 \frac{\text{КГ ВОЛОГИ}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}}$ пояснюється збільшенням теплоти, підведеної до псевдозрідженого шару, при збільшенні робочої швидкості теплоносія W_p і температурного параметра ΔT . А в відповідних діапазонах з 3,33 год по 5,00 год, з 6,00 год по 6,66 год, з 14,00 год по 14,33 год при подрібненні шару питома навантаження по волозі зменшувалось до $0,4 \frac{\text{КГ ВОЛОГИ}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}}$, що все одно більше за значення a_f в попередніх дослідях із звичайним способом організації гідродинаміки у яких $a_f = 0,36 \frac{\text{КГ ВОЛОГИ}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}}$.

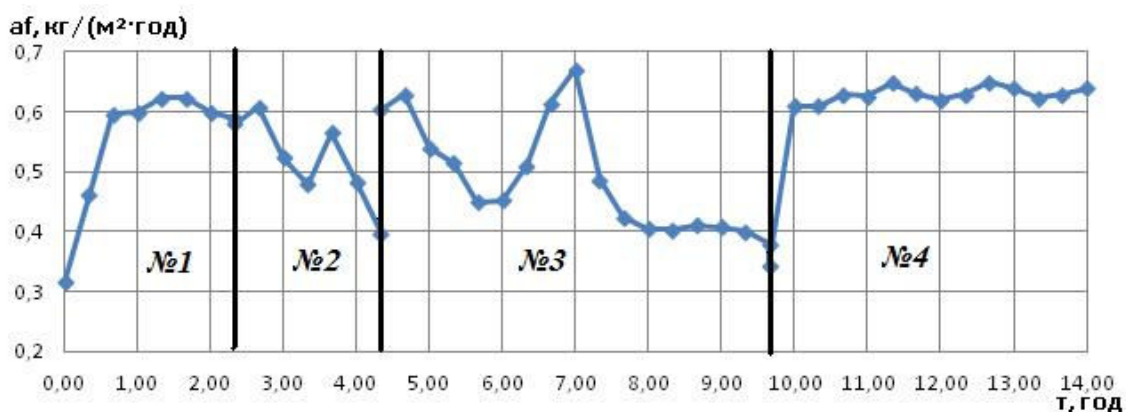


Рисунок 3.13 – Динаміка зміни питомого навантаження загальної поверхні шару за вологою $a_f = f(\tau)$

Інтегральною оцінкою ефективності процесу є коефіцієнт грануло-

утворення, рисунок 3.14, який показує масовий відсоток сухих речовин, поданих до апарата з розчином, які зумовлюють збільшення розмірів гранул.

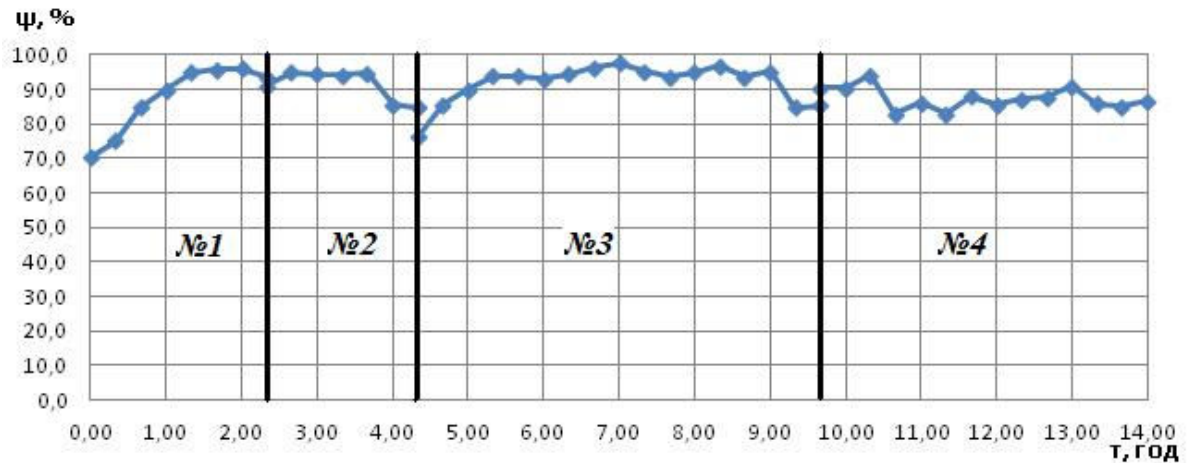


Рисунок 3.14 - Динаміка зміни коефіцієнта гранулоутворення $\psi = f(\tau)$

Так в першому досліді спостерігалось збільшення коефіцієнта гранулоутворення від 70% до 95%, рисунок 3.14, що пов'язано із встановленням динамічної рівноваги при становленні процесу. В досліді №2 $2,33 \leq \tau \leq 4,33$ год, при якому здійснювалось інтенсивне подрібнення гранул коефіцієнт гранулоутворення становив $\psi = 85 \div 95\%$. Це свідчить про ефективність струменеві-барботажного режиму псевдозрідження і відсутність значної кількості частинок розміром 0,5 мм, які могли б виноситься з апарату. Це положення в подальшому підтверджувалось в інших дослідях.

Стійкість кінетики процесу, яка забезпечується новим способом організації руху частинок в апараті при зневодненні композитних рідких систем підтверджується в досліді №4. Так при максимальних значеннях параметра $a_f \geq 0,6 \frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$, рисунок 3.13, коефіцієнт гранулоутворення становив $\psi = 80 \div 90\%$.

Для практичної реалізації процесу важливим є залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{III}}{g \cdot D_e}\right)$, рисунок 3.15, яка показує що в діапазоні $80 \leq \frac{\Delta P_{III}}{g \cdot D_e} \leq 93$ коефіцієнт гранулоутворення набуває максимальних значень $\psi \geq 90\%$.

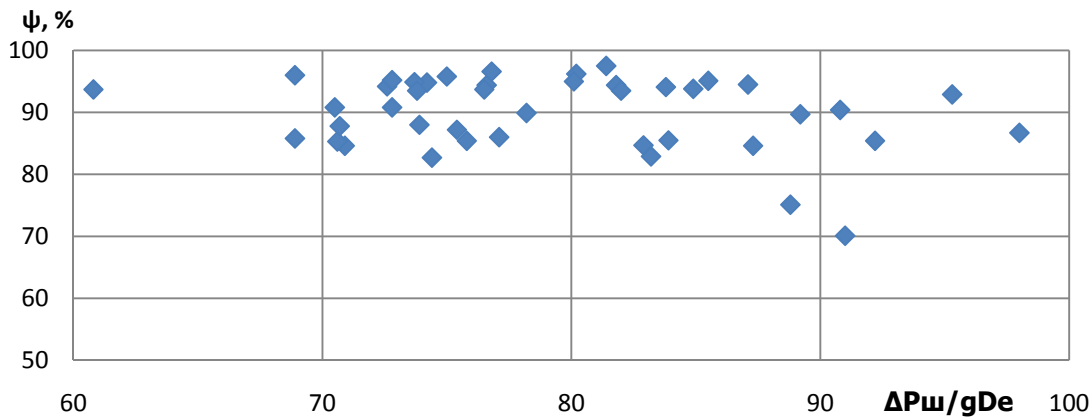


Рисунок 3.15 – Залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{III}}{g \cdot D_e}\right)$

Тобто, для значення $D_e = 2,3$ мм $\Delta P_{III} = 90 \cdot g \cdot D_e = 90 \cdot 9,8 \cdot 2,3$ мм, що забезпечує мінімально необхідну поверхню масообміну для стійкої кінетики гранулоутворення.

Експериментальна залежність $\psi = f(K_W)$, рисунок 3.16, показує, що коефіцієнт гранулоутворення $\psi > 90\%$ досягається при значеннях числа псевдозрідження в діапазоні $1,6 \leq K_W \leq 1,9$.

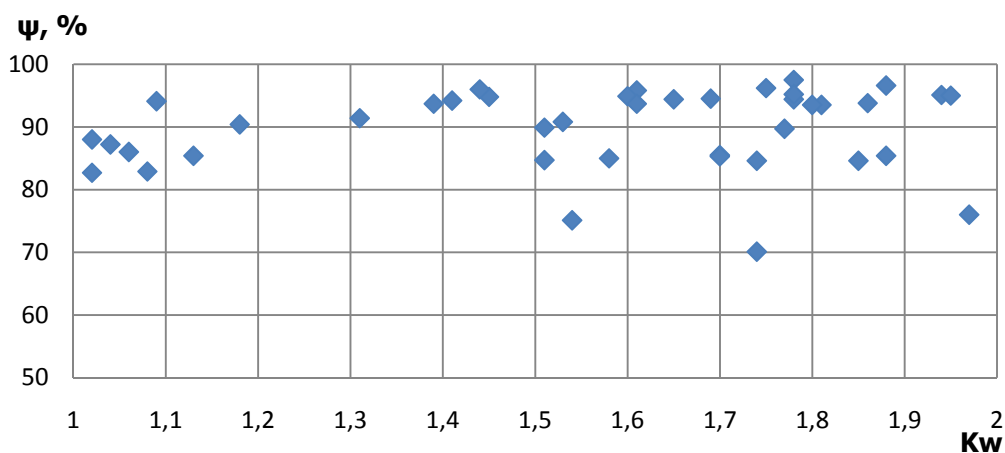


Рисунок 3.16 – Залежність коефіцієнта гранулоутворення від числа псевдозрідження

Тобто, застосування нового способу організації процесу дозволяє реалізувати процес при підвищених витратах теплоносія, що збільшує рушійну силу по масообміну.

Узагальнена експериментальна залежність коефіцієнта гранулоутворення ψ від приведеної поверхні шару $\frac{\Delta P_{\text{ш}}}{g \cdot D_e}$, та питомого навантаження поверхні шару за вологою a_f визначається як $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{\text{ш}}}{g \cdot D_e}, a_f\right)$, рисунок 3.17, і показує області, у яких коефіцієнт гранулоутворення досягає максимальних значень ($\psi \geq 96,2\%$) при збільшеному питомому навантаженні за вологою $a_f > 0,61 \frac{\text{КГ ВОЛОГИ}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}}$ та значенні $80 \leq \frac{\Delta P_{\text{ш}}}{g \cdot D_e} \leq 93$.

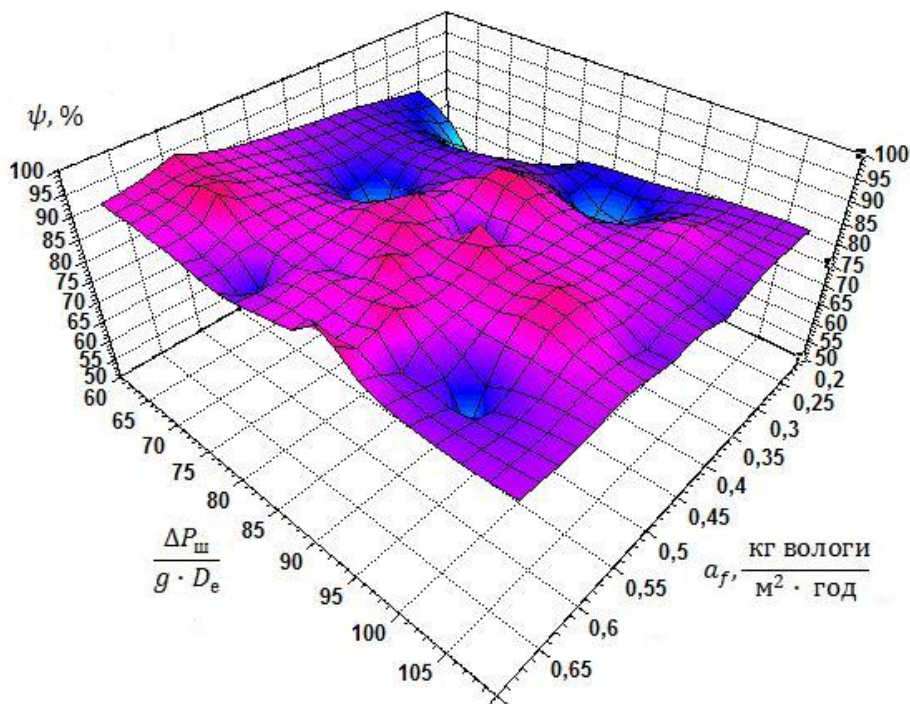


Рисунок 3.17 - Узагальнена експериментальна залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{\text{ш}}}{g \cdot D_e}, a_f\right)$

Загальний вигляд азотно-гумінових твердих композитів, одержаних

при зневодненні розчинів сульфату амонію з домішками гумінових речовин наведено на рисунку 3.18.

Зріз гранули розміром 2,5 мм, збільшений у 20 разів підтверджує пошарову структуру азотно-гумінових твердих композитів, рисунок 3.19, збільшення фрагменту структури гранули у 80 разів, рисунок 3.20, підтверджує наявність стійкої кристалічної структури з мікрокристалів сульфату амонію.

Наявність такої структури забезпечує міцність гранули не менше 10 Н для фракції +1,00 мм, яка відповідно збільшується на 20÷30% із збільшенням розмірів гранули.



Рисунок 3.18 – Загальний вигляд азотно-гумінових твердих композитів

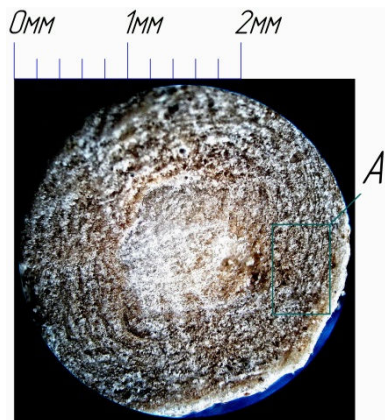


Рисунок 3.19 – Зріз гранули (збільшена в 20 разів)

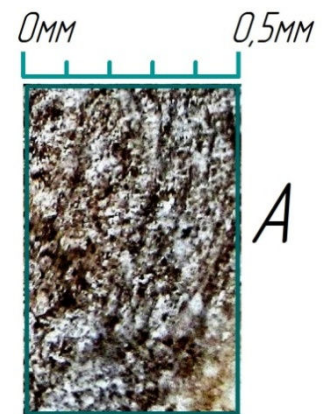


Рисунок 3.20 – Фрагмент структури гранули (збільшення в 80 разів)

Таким чином, застосування струменево-барботажного режиму псевдозрідження, забезпечує стійку кінетику гранулоутворення при питомому навантаженні поверхні шару за вологою $a_f = 0,61 \frac{\text{КГ ВОЛОГИ}}{\text{М}^2 \cdot \text{ГОД}}$, що майже в 2 рази перевищує цей показник для звичайного режиму

псевдозрідження при високих значеннях коефіцієнту гранулоутворення $\psi \geq 90 \%$.

Нова організація руху зернистого матеріалу дозволяє суттєво підвищити локальні коефіцієнти масовіддачі за рахунок імпульсного режиму контакту фаз.

Це дозволяє забезпечити стійку кінетику гранулоутворення при інтенсивному подрібненні гранул з від'ємним градієнтом $\frac{dD}{d\tau} = -0,542$ мм/год.

3.3 Кінетика процесу утворення азотно-кальцієво-гумінових композитів

Мета експериментальних досліджень полягала у перевірці ефективності струменево-барботажного режиму псевдозрідження при одержанні азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів шляхом зневоднення композитних розчинів.

В якості початкових центрів грануляції використовувались гранули амоній сульфату з домішками кальцієвих сполук та гумінових речовин, які містили азот, кальцієвих сполуки та гумінові речовини у співвідношенні $N:Ca:Ga = 18,0:7,0:1,0$.

Динаміка зміни еквівалентного діаметра гранул у шарі свідчить про стійку кінетику гранулоутворення при середній лінійній швидкості росту $\frac{dD}{d\tau} = 0,166$ мм/год для досліду №1, та при $\frac{dD}{d\tau} = 0,296$ мм/год для досліду №2, наведена на рисунку 3.21. Результати експериментальних досліджень наведені на рисунках 3.21–3.30 та додатку В2, таблиця В2.2.

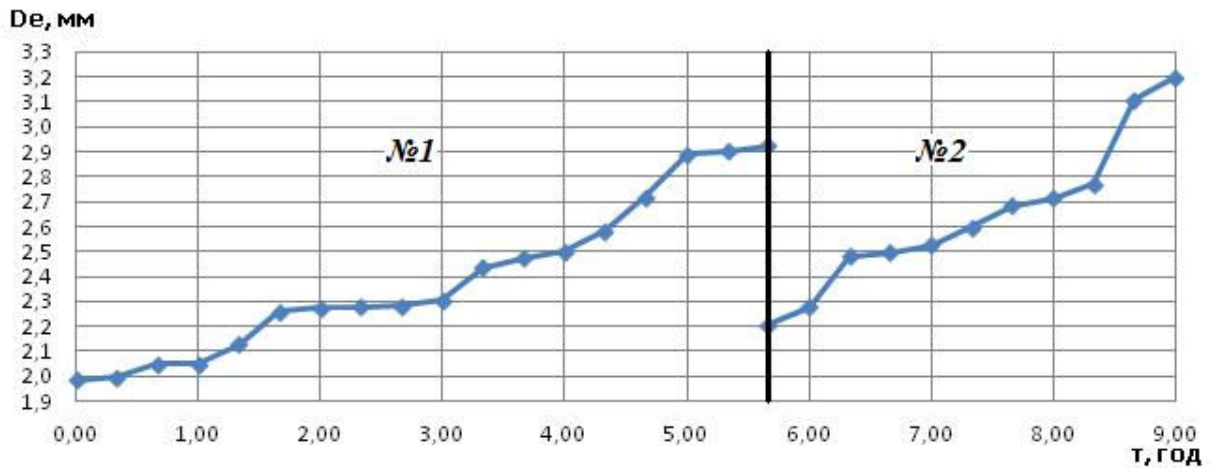


Рисунок 3.21 - Динаміка зміни еквівалентного діаметра гранул

Рівномірний перехід гранул з фракції +1,0мм до фракції +2,0мм, з фракції +2,0 мм до фракції +3,0мм, а з фракції +3,0 мм до фракції +4,0 мм свідчить щодо пошарового механізму утворення азотно-кальцієво-гумінових композитів, рисунок 3.22.

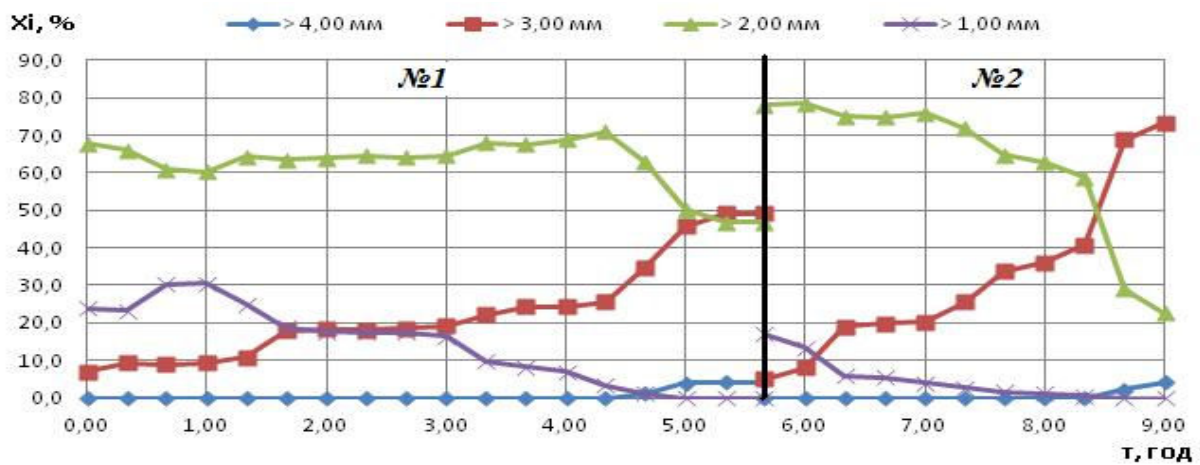


Рисунок 3.22 - Динаміка зміни масових відсотків окремих фракцій

Температура шару підтримувалась $93 \div 95^{\circ}\text{C}$ при корисній різниці температур $\Delta T = 100 \div 120^{\circ}\text{C}$, рисунок 3.23.

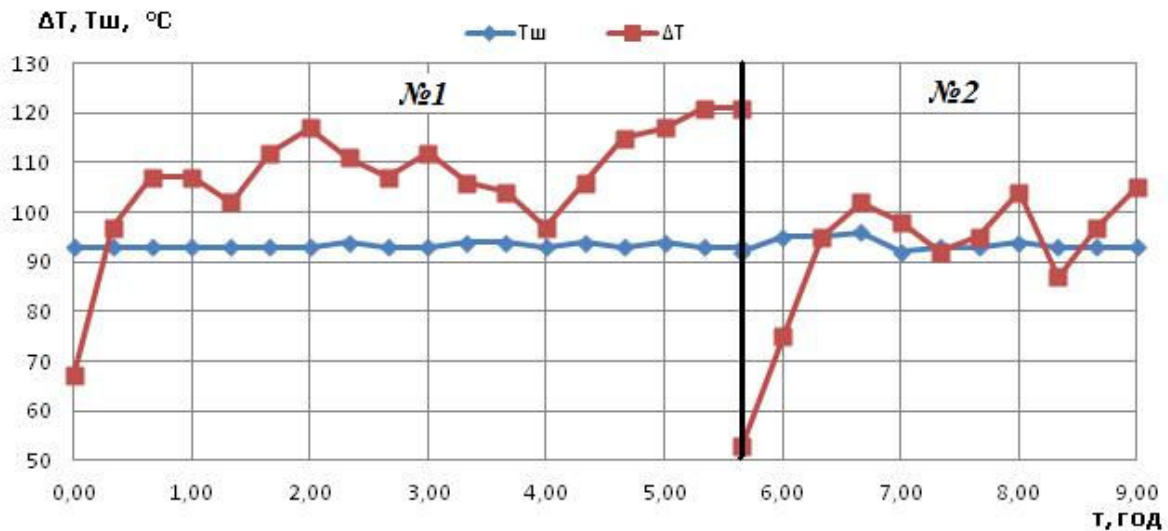


Рисунок 3.23 - Динаміка зміни температури у псевдозрідженому шарі

Маса шару в апараті підтримувалась постійною шляхом вивантаження частини гранул шару і підтримувалась у межах $\Delta P_{ш} = 1960 \pm 50$ Па, рисунок 3.24.

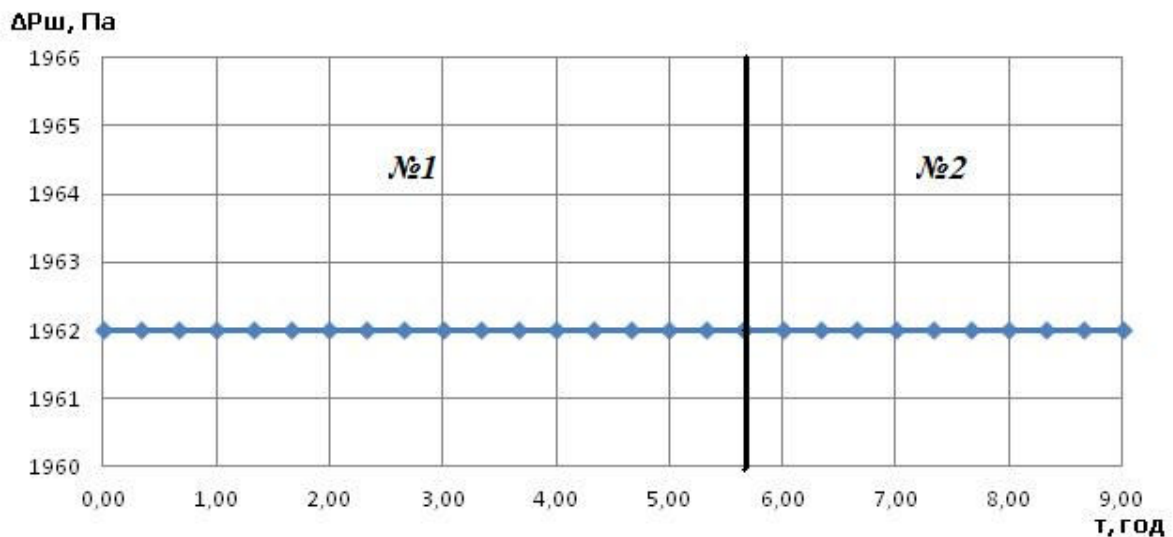


Рисунок 3.24 – Динаміка зміни гідравлічного опору шару

Такий спосіб проведення процесу зумовив поступове зменшення загальної поверхні твердих частинок в шарі апарату, рисунок 3.24.

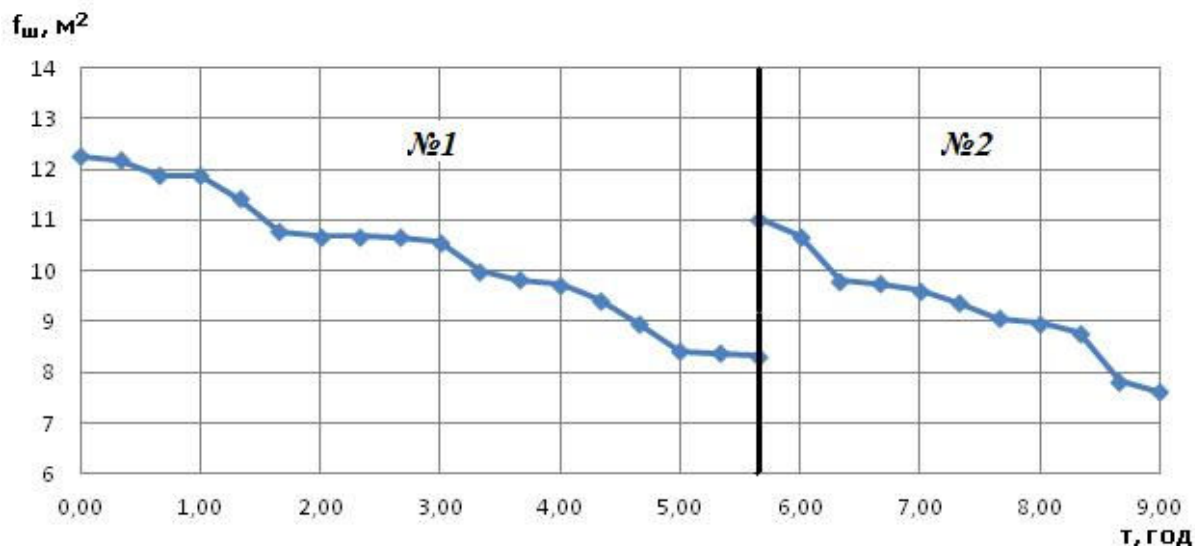


Рисунок 3.25 – Динаміка зміни загальної поверхні шару

Відповідно це вплинуло на питоме навантаження за вологою, рисунок 3.26. Так, в досліді №1 цей показник зростає від 0,45 до 0,7 $\frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$, а в досліді №2, починаючи з 6,33 год не виходить за межі діапазону $a_f = 0,42 \div 0,48 \frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$. Це пояснюється суттєвим зменшенням відношення $\frac{\Delta T}{T_{\text{ш}}}$ від 1,2 ÷ 1,29 в першому досліді до 1,05 в другому, рисунок 3.23.

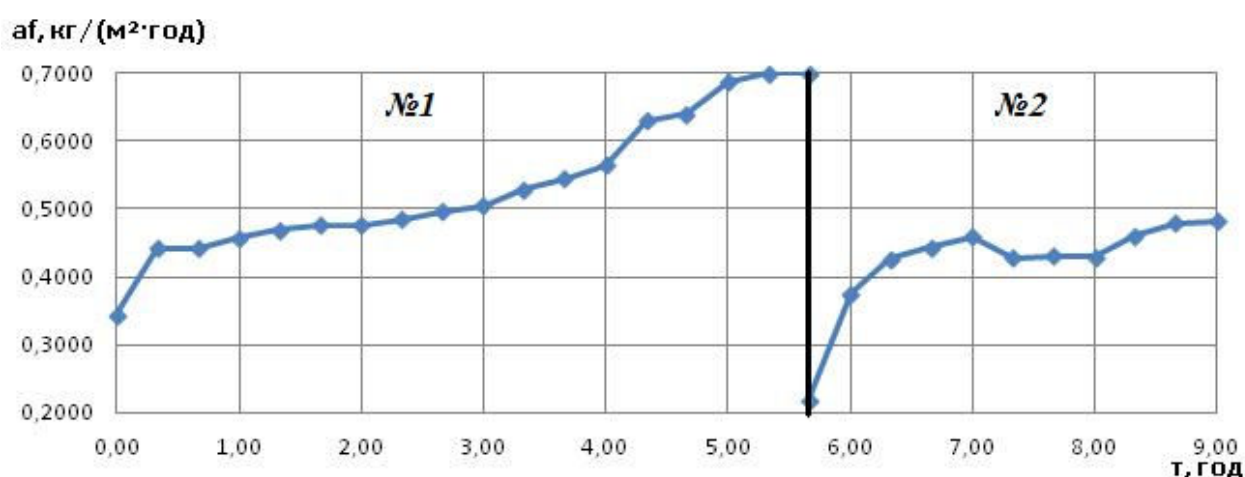


Рисунок 3.26 - Динаміка зміни питомого навантаження поверхні шару за вологою $a_f = f(\tau)$

Коефіцієнт гранулоутворення, рисунок 3.27, в досліді №1 поступово зростає, але в діапазоні часу з 3,66 год по 5,66 год спостерігається зменшення, яке пояснюється тим, що значення еквівалентного діаметру досягли значення $d_e = 2,7$ мм та збільшенням параметру $a_f \geq 0,6 \frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$, що призвело до стирання поверхні гранул в середині апарату. В досліді №2 коефіцієнт гранулоутворення з 5,66 год до 6,33 год зростає до 85 % при значеннях $a_f \leq 0,48 \frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$. Це пояснюється підвищеним стиранням гранульованого продукту, що зумовлює необхідність підвищення $T_{ш}$ на $1 \div 2^\circ\text{C}$.

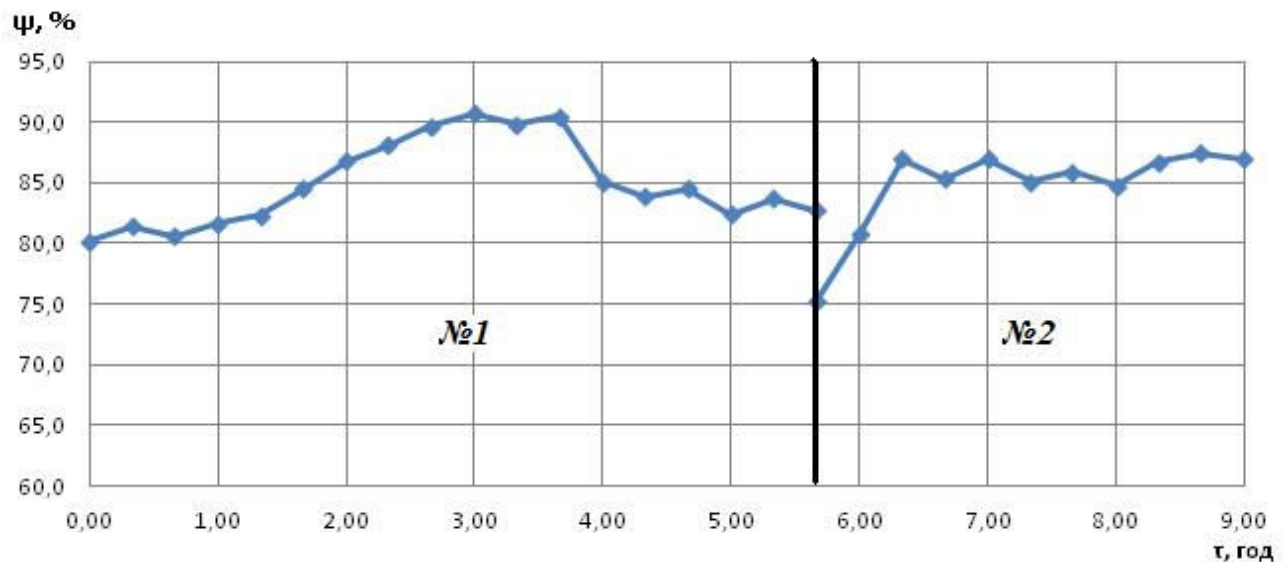


Рисунок 3.27 - Динаміка зміни коефіцієнта гранулоутворення $\psi = f(\tau)$

Залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}\right)$, рисунок 3.28, показує, що максимальні значення $\psi \geq 85 \div 90\%$ досягається при значеннях комплексу $72 \leq \frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e} \leq 82$.

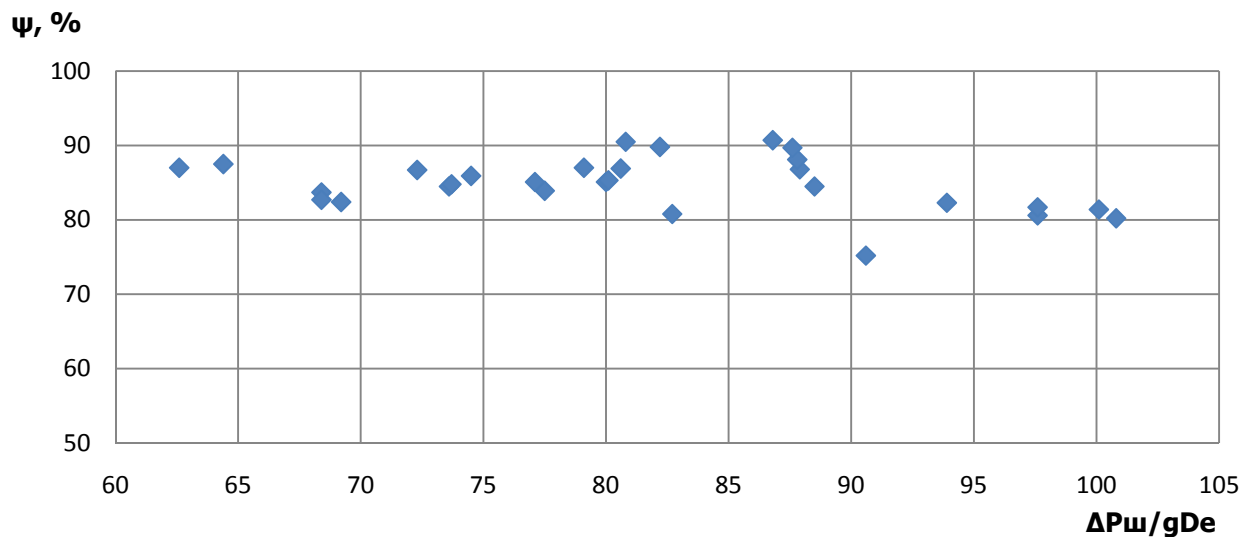


Рисунок 3.28 – залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}\right)$

Експериментальна залежність коефіцієнта гранулоутворення від числа псевдозрідження $\psi = f(K_W)$, рисунок 3.29, показує, що збільшення $K_W > 1.15$ зменшує ψ до 82%.

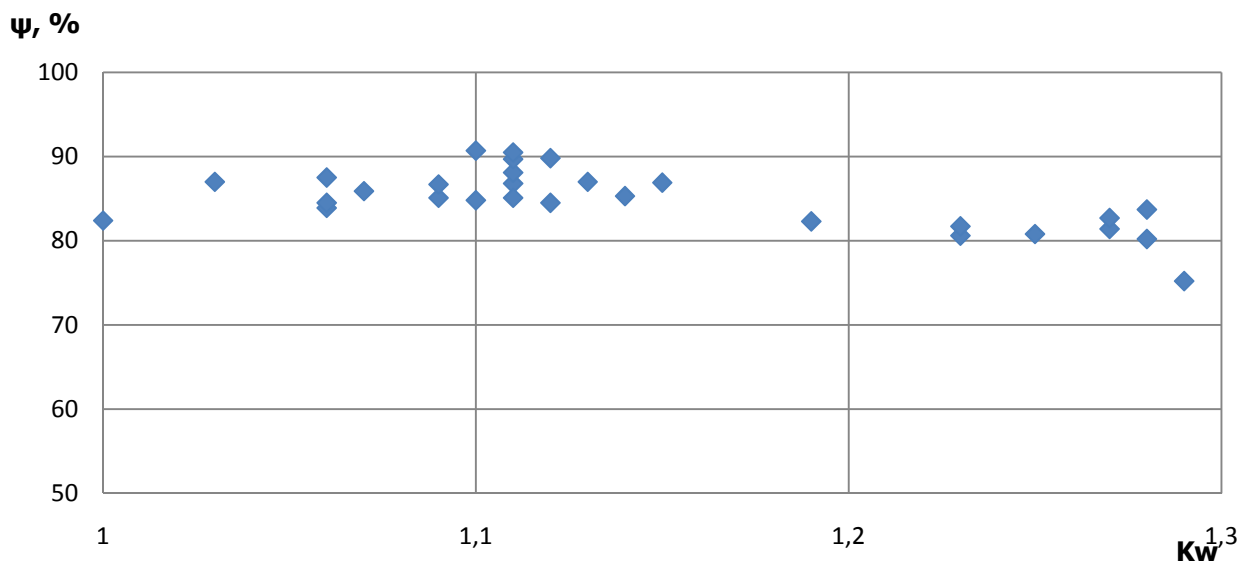


Рисунок 3.29 – Залежність коефіцієнта гранулоутворення від числа псевдозрідження

Узагальнена експериментальна залежність коефіцієнта

гранулоутворення ψ від приведеної поверхні шару $\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}$ та питомого навантаження поверхні шару за вологою a_f визначається як $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}, a_f\right)$, рисунок 3.30, і показує області, у яких коефіцієнт гранулоутворення досягає максимальних значень ($\psi \geq 90,5\%$) при збільшеному питомому навантаженні за вологою $a_f > 0,54 \frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$ та значенні комплексу $72 \leq \frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e} \leq 82$.

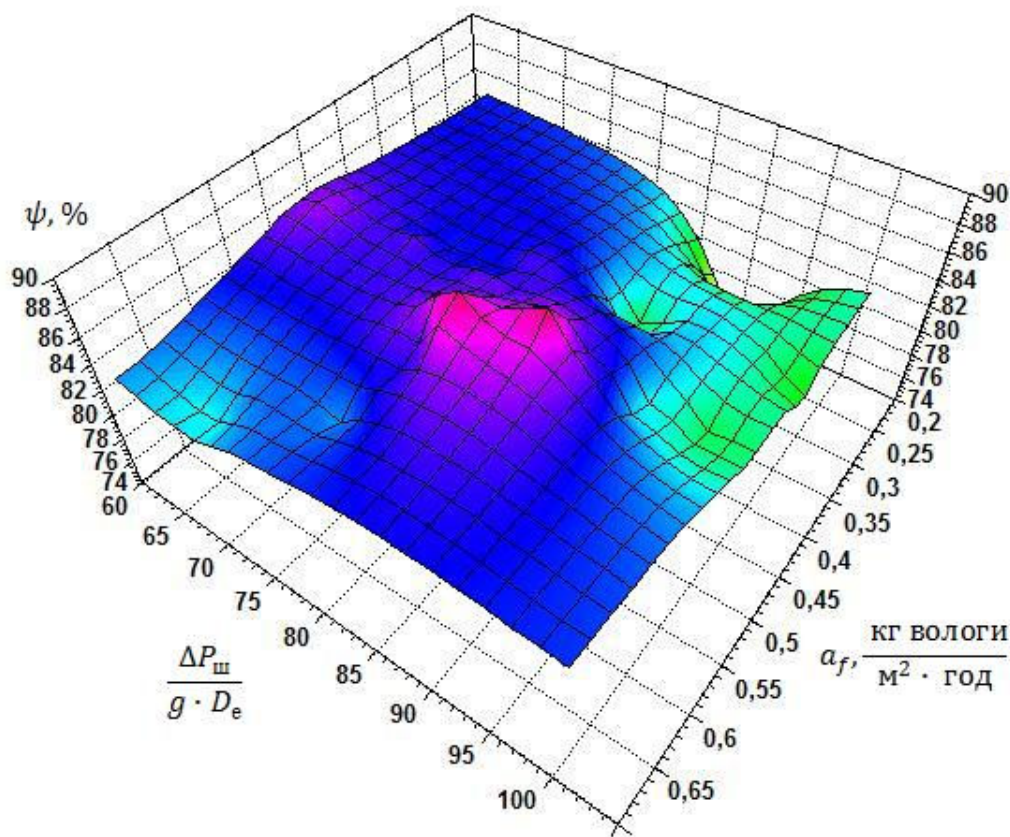


Рисунок 3.30 - Експериментальна залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}, a_f\right)$

Загальний вигляд азотно-кальцієво-гумінових композитів наведено на рисунку 3.31; зріз гранули наведений на рисунку 3.32, підтверджує пошарову структуру гранул, які мають сфероподібну форму.



Рисунок 3.31 – Загальний вигляд азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів



Рисунок 3.32 – Зріз гранули (збільшена в 20 разів)

Таким чином, застосування струменево-барботажного режиму псевдозрідження дозволяє реалізувати стійкий процес утворення азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів при підвищених навантаженнях за вологою $a_f > 0,54 \frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$.

Разом з тим, наявність суспендованих мікрочастинок карбонату кальцію в робочому розчині зумовлює проведення процесу при мінімальних значеннях числа псевдозрідження $K_W \leq 1.1$.

3.4 Кінетика процесу утворення азотно-кальцієво-гумінових композитів модифікованих бентонітом

Мета експериментальних досліджень полягала в перевірці ефективності струменево-барботажного режиму псевдозрідження при одержанні азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів складу $N:Ca:Ga:Бн=18,0:6,0:1,0:1,0$ модифікованих бентонітом, шляхом зневоднення композитних розчинів з 40 % мас сухих речовин.

В якості початкових центрів грануляції використовувались гранули

амоній сульфату з домішками кальцієвих сполук та гумінових речовин, модифікованих бентонітом. Робочий розчин мав аналогічний хімічний склад за сухими речовинами.

Як і при отриманні азотно-кальцієво-гумінових добрив, зростаюча динаміка зміни еквівалентного діаметра гранул у шарі, свідчить про стійку кінетику гранулоутворення при середній лінійній швидкості росту $\frac{dD}{dt} = 0,272$ мм/год для дослідів №1, та при $\frac{dD}{dt} = 0,346$ мм/год для дослідів №2, наведена на рисунку 3.33. Результати експериментальних досліджень наведені на рисунках 3.33 ÷ 3.44 та додатку В2, таблиця В2.3.

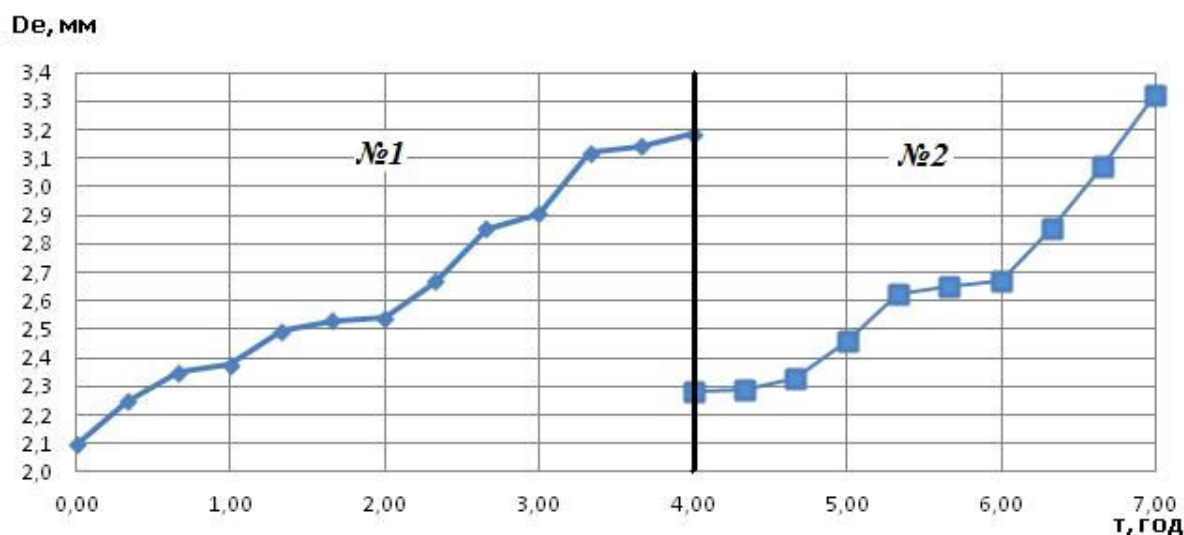


Рисунок 3.33 - Динаміка зміни еквівалентного діаметра гранул

Динаміка зміни масових відсотків окремих фракцій, рисунок 3.34, під час виконання двох дослідів, має аналогічний характер, тобто перехід частинок з фракції +1,0мм до фракції +2,0мм, а з фракції +2,0 до фракції +3,0мм, що свідчить про збільшення розмірів відповідних фракцій за рахунок пошарового механізму утворення твердих композитів

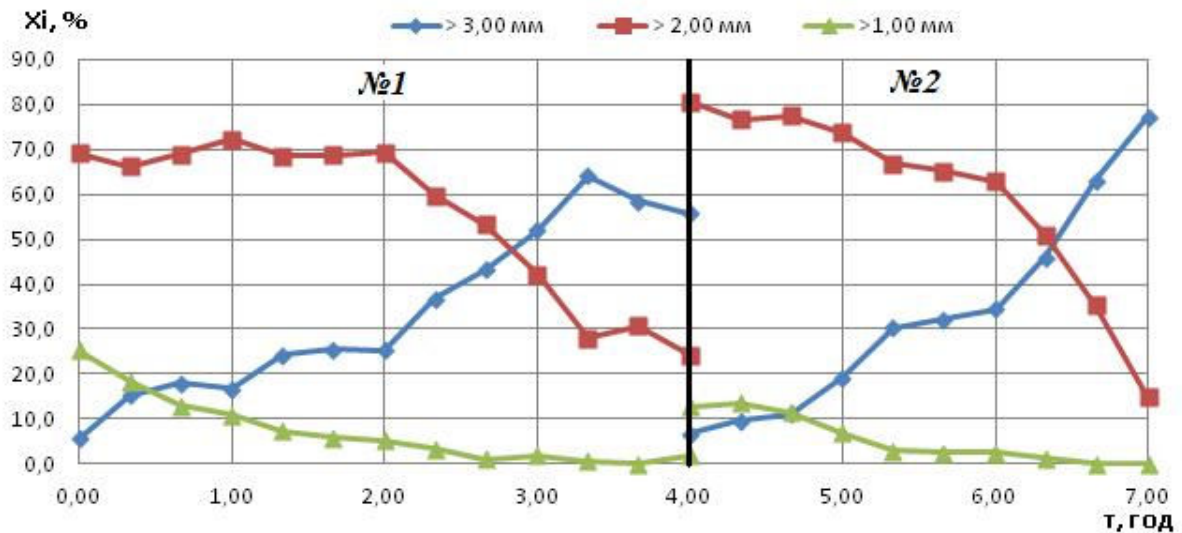


Рисунок 3.34 - Динаміка зміни масових відсотків окремих фракцій

Динаміку зміни температурного перепаду в камері гранулятора ΔT ($\Delta T = T_{\text{вх}} - T_{\text{ш}}$) та зміну температури шару $T_{\text{ш}}$ наведено на рисунку 3. 35, тобто $\frac{\Delta T}{T_{\text{ш}}} = 1,24$ підтримувалось в двох дослідах.

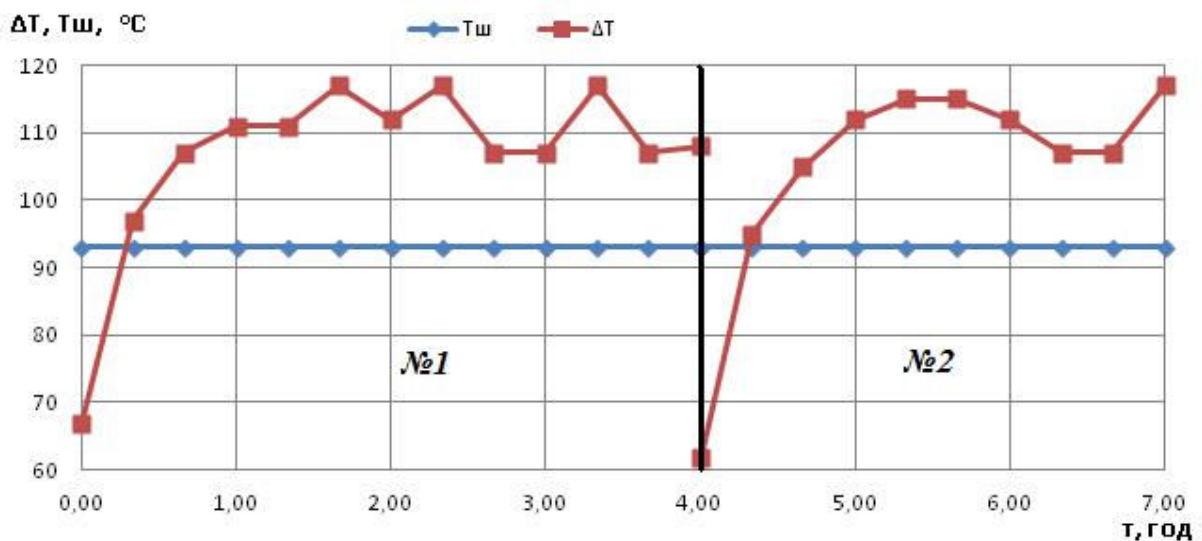


Рисунок 3.35 – Динаміка зміни температури у псевдозрідженому шарі

Маса шару підтримувалась постійною шляхом вивантаження частини гранул шару, рисунок 3.36. При збільшенні $\Delta P_{\text{ш}}$ до 2160 ± 50 Па

вивантажували гранули до $\Delta P_{ш} = 1960 \pm 50$ Па.

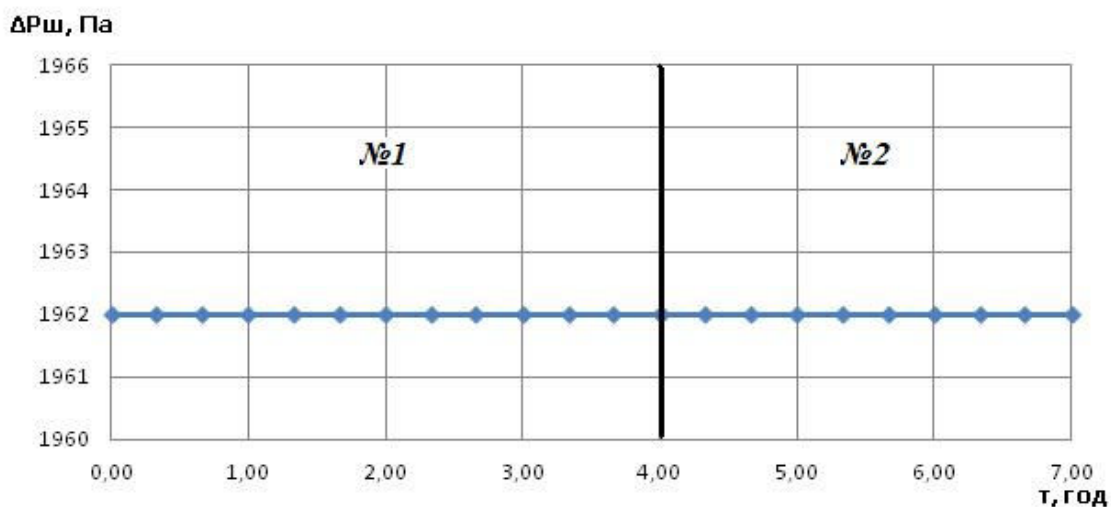


Рисунок 3.36 – Динаміка зміни гідравлічного опору шару

Такий спосіб реалізації процесу зумовлює зменшення загальної поверхні твердих частинок в псевдо зрідженому шарі у випадку монотонного зростання еквівалентного діаметру, рисунок 3.37.

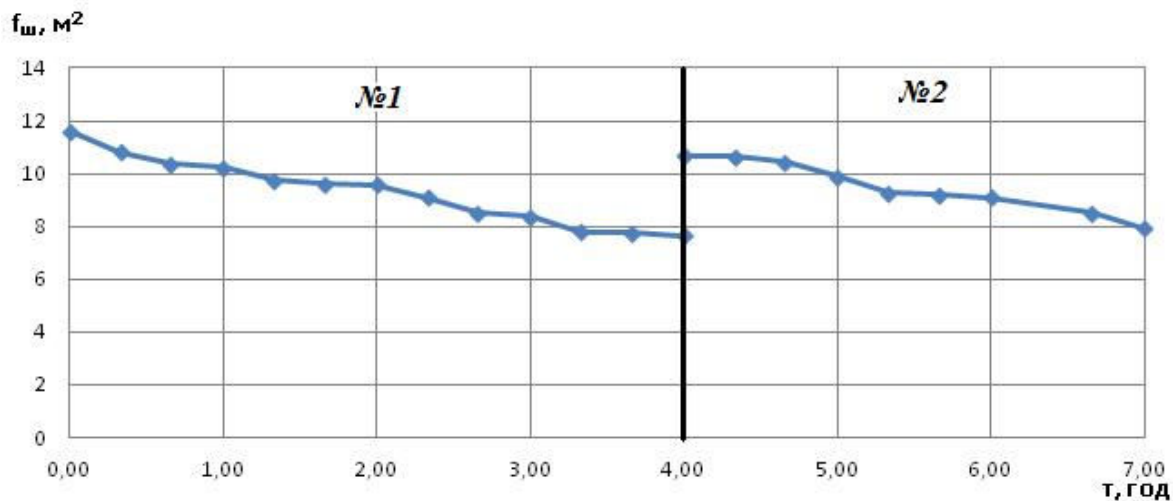


Рисунок 3.37 – Динаміка зміни загальної поверхні шару

Як дослід № 1, так і дослід №2, проходили при поступовому збільшенні питомого навантаження за вологою з поступовим переходом в стаціонарний режим, рисунок 3.38.

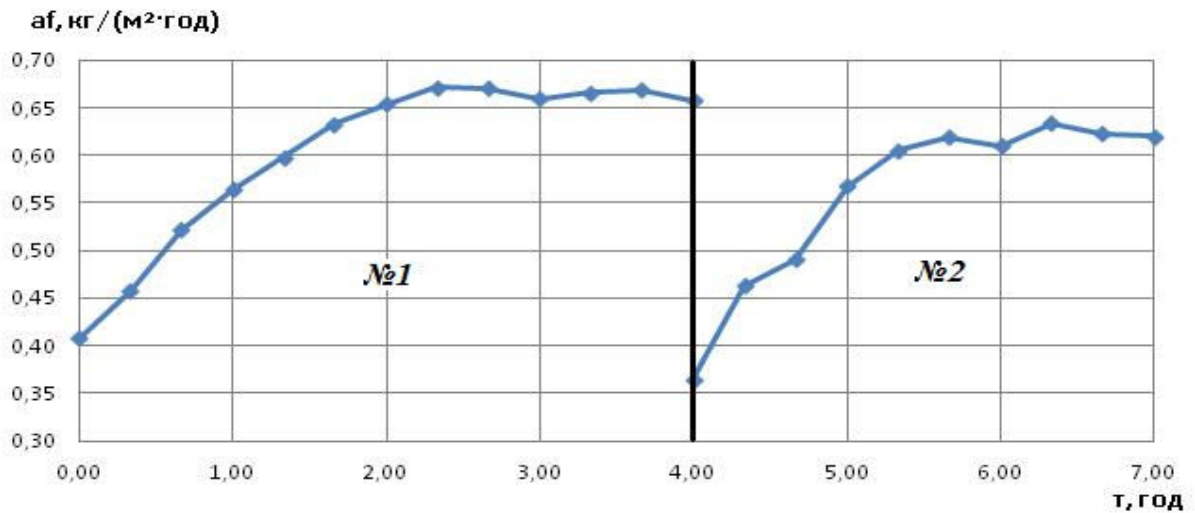


Рисунок 3.38 - Динаміка зміни питомого навантаження поверхні шару за вологою $a_f = f(\tau)$

При цьому коефіцієнт гранулоутворення, рисунок 3.39, знаходився в діапазоні $\psi = 85 \div 91\%$ для першого дослідження, та $\psi = 75 \div 80\%$ для дослідження №2. Спад в діапазоні з 3,33 год по 4,00 год пояснюється тим, що під час експерименту було досягнуто великого значення $d_e = 3,1$ мм, що призвело до стирання поверхні гранул в середині апарату.

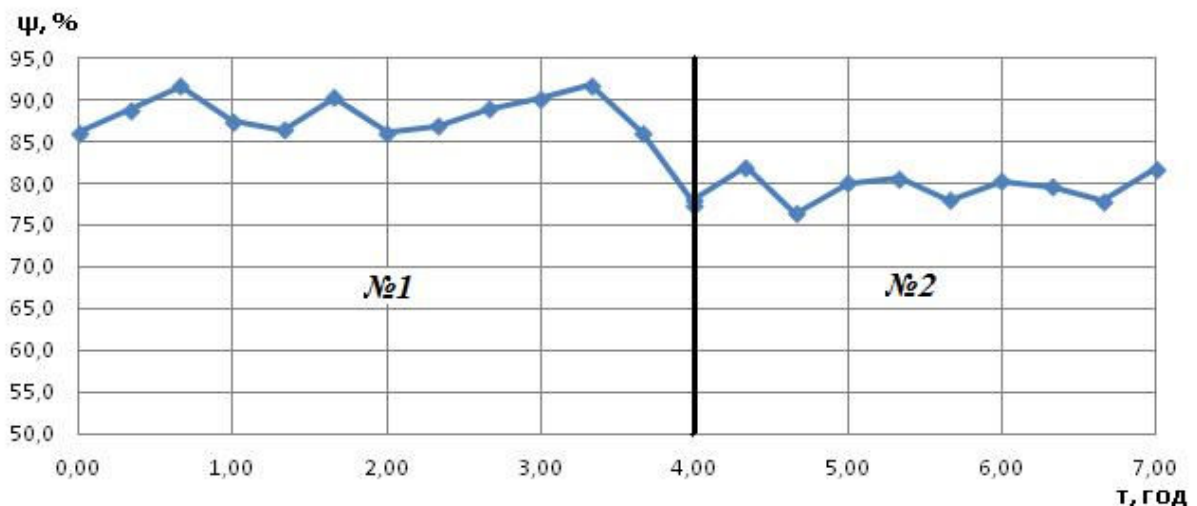


Рисунок 3.39 - Динаміка зміни коефіцієнта гранулоутворення $\psi = f(\tau)$

Важливими є залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}\right)$, рисунок 3.40, та $\psi = f(K_W)$, рисунок 3.41, з яких видно, що коефіцієнт гранулоутворення $\psi \geq 80\%$ реалізується при значеннях комплексу $60 \leq \frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e} \leq 90$, та при значенні числа псевдозрідження $K_W = 1,0 \div 1,15$. При цих значеннях спостерігається стійка кінетика процесу, що підтверджується якісним продуктом.

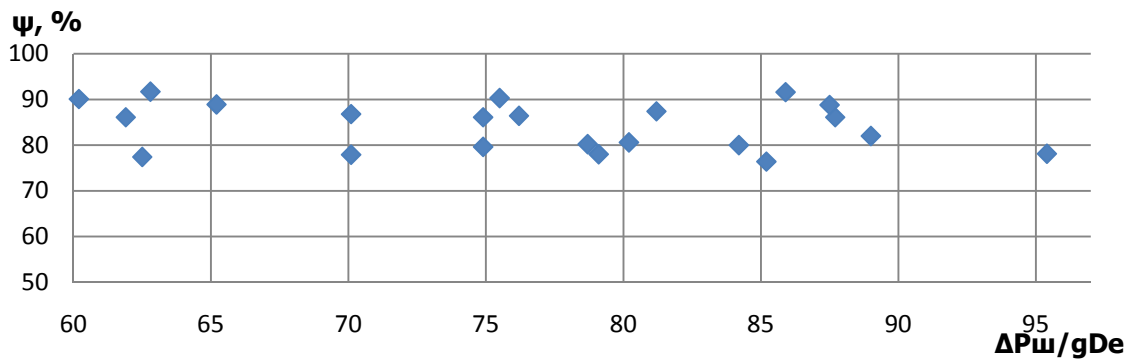


Рисунок 3.40 – Залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}\right)$

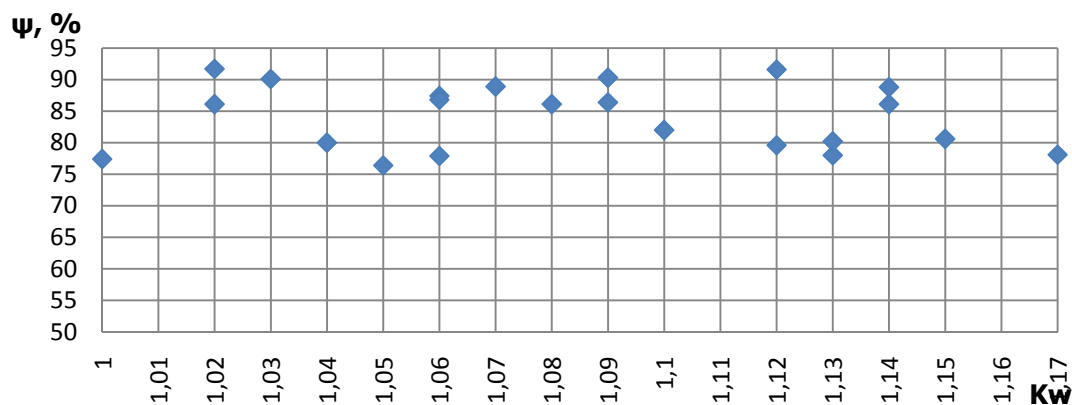


Рисунок 3.41 – Залежність коефіцієнта гранулоутворення від числа псевдозрідження

Узагальнена експериментальна залежність коефіцієнта гранулоутворення ψ від приведеної поверхні шару $\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}$, та питомого навантаження поверхні шару за вологою a_f , яка визначається як $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e}, a_f\right)$, рисунок 3.42, і показує області, у яких коефіцієнт

гранулоутворення досягає максимальних значень ($\psi \geq 91,6\%$) при збільшеному питомому навантаженні за вологою $a_f > 0,52 \frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$ і значеннях комплексу $75 \leq \frac{\Delta P_{\text{ш}}}{g \cdot D_e} \leq 87$.

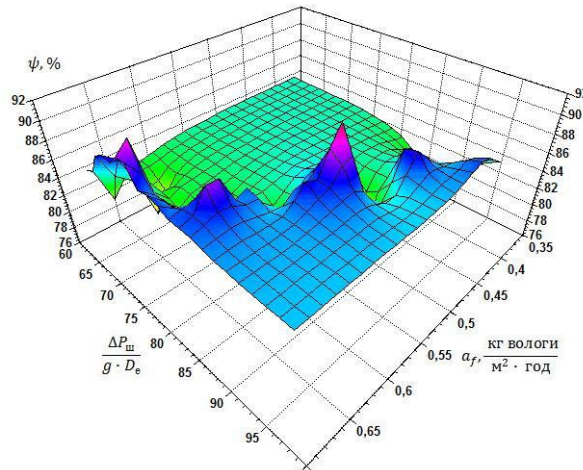


Рисунок 3.42 - Експериментальна залежність $\psi = f\left(\frac{\Delta P_{\text{ш}}}{g \cdot D_e}, a_f\right)$

Загальний вигляд азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів модифікованих бентонітом наведено на рисунку 3.43, зріз гранули наведено на рисунку 3.44, що підтверджує пошаровий механізм гранулоутворення.



Рисунок 3.43 – Загальний вигляд азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів модифікованих бентонітом



Рисунок 3.44 – Зріз гранули (збільшена в 20 разів)

Таким чином, додавання бетоніту до композитної рідкої фази дещо змінює фізико-механічні властивості колоїдної мінерально-глинисто-гумінової системи, яка утворюється у вигляді мікрошару на поверхні гранули.

Експериментальні досліди підтвердили можливість реалізації такого процесу. Проте, необхідно провести додаткові дослідження щодо визначення технологічних параметрів для підвищення значень коефіцієнту гранулоутворення.

3.5 Перевірка адекватності математичної моделі

При розрахунку вважали переміщення окремої гранули як загальний виділений елемент в даній точці.

Час за який частинка проходить весь шлях вертикального каналу, зона II, розраховується за формулою:

$$\tau_B = \frac{H_B}{W_B} = \frac{0,3}{9} = 0,033 \text{ с} \quad (3.1)$$

де H_B - висота висхідного каналу; W_B - швидкість частинок в висхідному каналі.

Швидкість частинок в низхідній зоні (зона III та IV):

$$W_H = 0,5W_{кр} \quad (3.2)$$

Тоді усереднений час перебування у зоні низхідного руху (зона III та IV) розраховується, як:

$$\tau_H = \frac{H_H}{W_H} = \frac{H_H}{0,5W_{кр}} = \frac{0,3}{0,5} = 0,6 \text{ с} \quad (3.3)$$

В цьому випадку не враховують уповільнений рух частинки при

русі через зону зрошення IV великих газових бульбашок.

В зоні I, де відбувається рух частинок зі швидкістю виносу $W_r = 10$ м/с, час перебування розраховується за формулою:

$$\tau_{\text{гор}} = \frac{L}{W_r} = \frac{0,12}{10} = 0,012 \text{ с} \quad (3.4)$$

Таким чином час циклу визначається за виразом:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{гор}} = 0,033 + 0,6 + 0,012 = 0,645 \text{ с} \quad (3.5)$$

Зміна маси частинки за кількістю циклів:

$$\Delta m_i = \tau_{\text{ц}} \cdot m_{\text{ц}} \cdot N, \quad (3.6)$$

де $m_{\text{ц}} = 0,024$ г – маса на яку зростає діаметр гранули після кожного циклу;

$N = 152$ – кількість циклів.

Зміна маси частинки початкового діаметра $d_{\text{п}} = 1,5$ мм по досягненні розміру кінцевого продукту $d_{\text{к}} = 2,3$ мм:

$$\Delta m = m_{\text{к}} - m_{\text{п}} = 6,82 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \quad (3.7)$$

де $m_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{к}}^3}{6} \rho = 9,424 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ – маса кінцевого готового

продукту, а

$m_{\text{п}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{п}}^3}{6} \rho = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ – маса початкового продукту.

Звідси визначаємо час перебування:

$$\tau_{\text{п}} = \tau_{\text{ц}} \cdot N = 0,645 \cdot 152 = 98,04 \text{ с} \quad (3.8)$$

Отже, при стовідсотковому потраплянні крапель робочого розчину

на частинки, час зростання від $d_e = 1,5 \text{ мм}$ до $d_e = 2,3 \text{ мм}$ становив би 1,5 хвилини. Проте, враховуючи детермінований хаос при якому утворюються гранули [32], а також і те, що вірогідність зрошення окремої гранули становить лише 5%, то вона повинна знаходитись в апараті не менше $\tau = 1,634$ год. Експериментально визначений час перебування частинок в апараті $\tau_n = \frac{M_{ш}}{M_{с.р.}} = \frac{7,3}{3,6} = 2,02$ год.

Другий етап перевірки адекватності математичної моделі полягав у розрахунку значень еквівалентного діаметра часинок шарі при утворенні мінерально-гумінових композитів з пошаровою структурою.

Порівняння динаміки зміни еквівалентного діаметра азотно-гумінових композитів в діапазоні зміни еквівалентного діаметра $2,1 \leq d_e \leq 3,3$ мм, рисунок 3.45, має високу збіжність коефіцієнт кореляції $K_p = 0,974$.

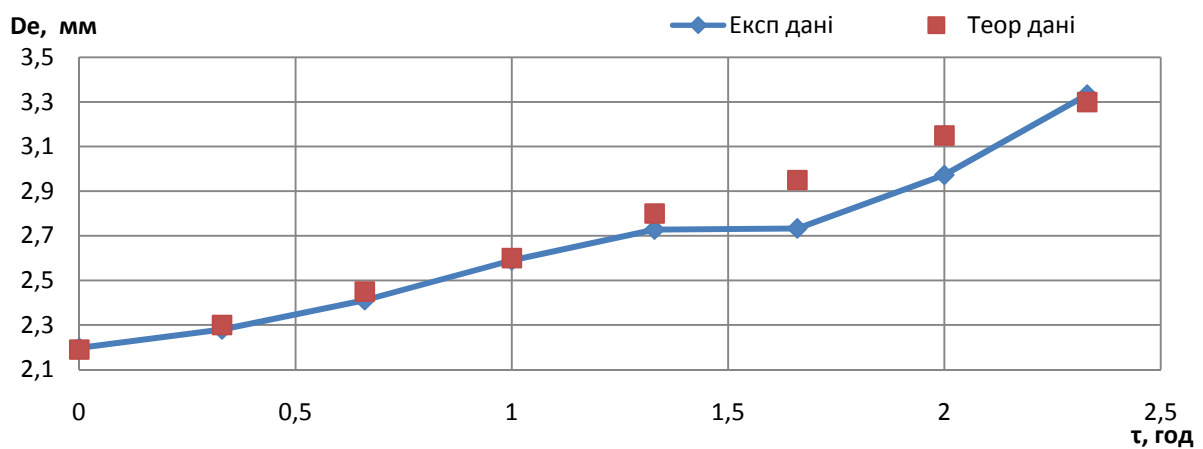


Рисунок 3.45 – Динаміка зміни еквівалентного діаметра азотно-гумінових композитів

У випадку одержання азотно-кальцієво-гумінових композитів в діапазоні зміни $1,9 \leq d_e \leq 2,9$ мм коефіцієнт кореляції становить $K_p = 0,9774$, рисунок 3.46.

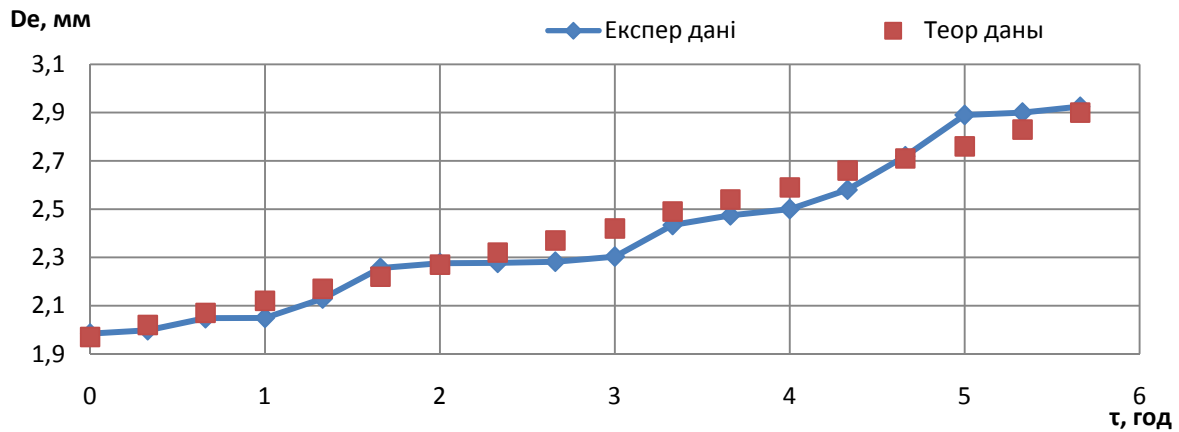


Рисунок 3.46 – Динаміка зміни еквівалентного діаметра азотно-кальцієво-гумінових композитів

У випадку одержання азотно-кальцієво-гумінових композитів модифікованих бентонітом в діапазоні зміни еквівалентного діаметра гранул $2,1 \leq d_e \leq 3,2$ мм, коефіцієнт кореляції становить $K_p = 0,984$, рисунок 3.47.

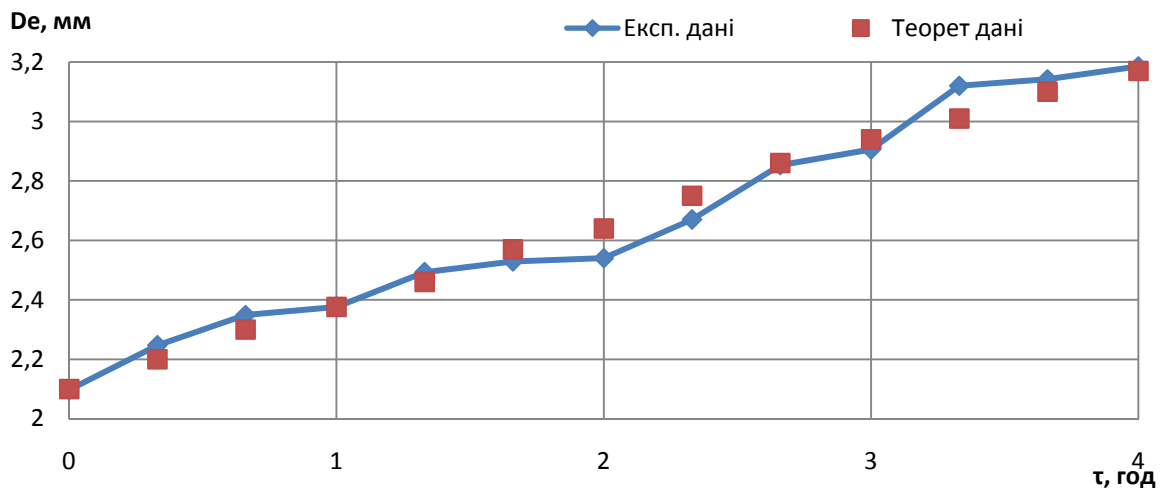


Рисунок 3.47 – Динаміка зміни еквівалентного діаметра азотно-кальцієво-гумінових композитів модифікованих бентонітом

Таким чином, запропонована математична модель адекватно описує процес гранулоутворення мінерально-гумінових твердих композитів.

Динаміка зміни еквівалентного діаметра, при струменево-барботажному режимі псевдозрідження, майже в два рази перевищує показник для звичайного режиму псевдозрідження.

3.6 Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження підтвердили можливість одержання азотно-гумінових, азотно-кальцієво-гумінових та азотно-кальцієво-гумінових композитів модифікованих бентонітом композитів шляхом зневоднення водяних розчинів сульфату амонію із використанням гуміновмісної сполуки в апараті із струменево-барботажем режимом псевдозрідження.

Гранульований продукт має сфероподібну форму та пошарову структуру, яка утворена з шарів мікрокристалів та колоїдних частинок з концентричним розташуванням. Тобто застосування апарата з струменево-барботажем режимом гідродинаміки при $H/D = 2,4$ дозволяє реалізувати пошаровий механізм утворення твердих композитів, при зневодненні рідких гетерогенних систем, із заданими фізико-механічними властивостями: сфероподібна форма гранул з діаметром $1,5 \div 4,5$ мм міцністю більше $10 \frac{H}{\text{гранулу}}$.

2. Експериментальні дослідження підтвердили положення фізичної моделі і визначили умови реалізації процесу твердих композитів з рідких гетерогенних систем із застосуванням механічного розпилювача конічної форми.

3. Застосування нової конструкції з застосуванням струменево-барботажного режиму дозволила збільшити питоме навантаження за вологою загальної поверхні шару в два рази, при коефіцієнті

гранулоутворення не менше 95%. При цьому відношення гідравлічного опору шару $\Delta P_{ш}$ до гідравлічного опору ГРП ΔP_p становило $\frac{\Delta P_{ш}}{\Delta P_p} = 6,67$, $\frac{\Delta P_{ш}}{Ag} = 1$.

4. Запропонована схема організації руху зернистого матеріалу в апараті, з інтенсивним трьохмірним перемішуванням в зоні диспергування, дозволила одержати стабільну кінетику гранулоутворення композитів з різним хімічним складом без утворення агломератів та оплавлення матеріалу на ГРП.

5. Проведена перевірка адекватності математичної моделі утворення органо-мінеральних композитів з пошаровою структурою для різних хімічних складів. Розрахункова кінетика збільшення еквівалентного діаметра описує експериментальні дані з коефіцієнтом кореляції = $0,97 \div 0,98$.

Результати експериментальних досліджень будуть покладені в створення конструктивно-технологічної концепції камери гранулятора нового покоління та методики розрахунку промислового апарата.

4 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Опис технологічного процесу

Установка для грануляції має забезпечувати стійке протікання процесу грануляції розчинів, отримання готового продукту заданого фракційного складу та розміру, оперативне керування процесом, зміни необхідних експериментальних величин і технологічних параметрів процесу, тому впровадження систем автоматизації є дуже доцільним.

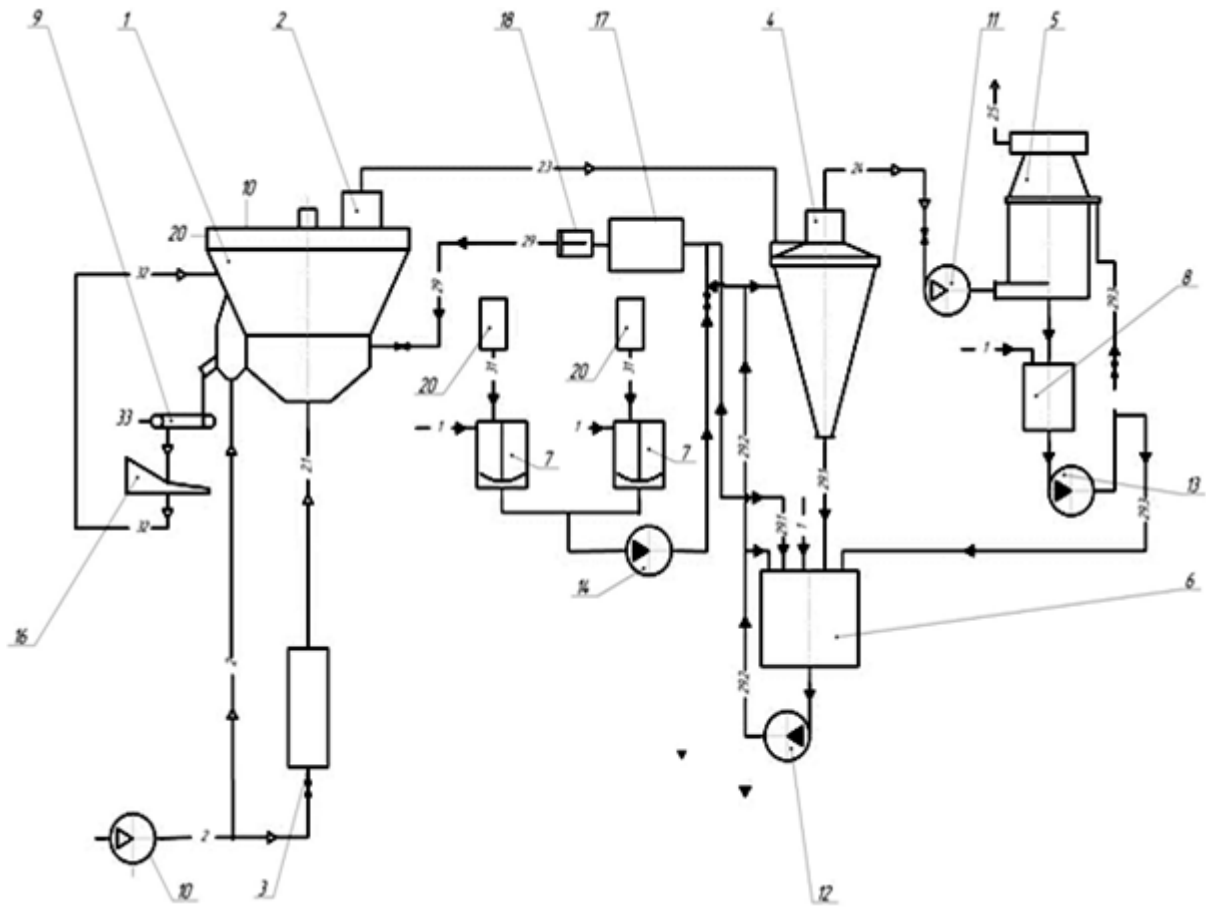
Технологічна схема установки для одержання мінеральних добрив зображена на рисунку 4.1.

Технологічна схема, працює наступним чином. Робочий розчин із ємності 20 подається в ємність з мішалкою 7, в цю ж ємність подається вода. Отримується розчин із необхідними концентраціями вихідних речовин. Насосом 14 робочий розчин із ємності 20 перекачується в акумуляційну ємність 17. Із ємності 17 робочий розчин дозуючим насосом 18 подається в гранулятор 1, де із робочого розчину видаляють вологу, і таким чином отримують гранули. Грануляція відбувається безперервно в псевдозрідженому шарі.

Необхідною умовою протікання процесу є забезпечення установки грануляції високопотенційним теплоносієм. В електричний теплогенератор 3 нагнітається повітря газодовквою 10. Температуру отриманого теплоносія можна змінювати в діапазоні 150-400°C (423-673 K).

Готові гранули безперервно вивантажуються із гранулятора і конвеєром 9 транспортуються в бункер 16. В бункері 16 гранули і частки менші мінімально допустимого розміру відділяються і повертаються в

гранулятор як центри гранулоутворення.



1–гранулятор; 2–циклон; 3–теплогенератор; 4– «мокрый» циклон; 5–скрубер (СИОТ); 6, 7, 8–ємності; 9–конвеєр для готової продукції; 10–вентилятор; 11–вентилятор витяжний; 12, 13 – циркуляційні насоси; 14–дозуючий насос рідких компонентів; 16–бункер готової продукції; 16, 17 – ємності; 18–дозуючий насос робочого розчину; 19–теплообмінник; 20–ємність

Рисунок 4.1 - Технологічна схема одержання мінеральних гумінових добрив

Відпрацьований теплоносій після гранулятора направляєється в циклон 2, де проходить першу стадію очистки. Пил та інші частки повертаються в гранулятор 1, як центри гранулоутворення. Після першої

стадії очистки газ подається в мокрий циклон 4 на другу стадію очистки. Очищений в мокрому циклоні 4 газ вентилятором подається на третю стадію очистки в скруббер 5. Після повної очистки в скруббері 5 газ виводиться в атмосферу.

В ємність 6 подається розчин сульфату амонію з лінії виробництва капролактаму та з «мокрих» циклонів. З ємності 6 насосом 12 рідина подається на зрошення в «мокрій» циклон 4, частина рідини відводиться в ємність із розчином сировини 7.

В ємність 8 на початку процесу подається чиста вода і відпрацьована рідина із скрубера. З ємності 8 розчин відкачується насосом 13. Частина яка досягла 20% за сухими речовинами подається в скруббер, а інша частина відводиться в ємність 6.

4.2 Конструктивно-технологічні засади гранулятора

Конструктивно-технологічні особливості апарата псевдозрідження для здійснення процесу утворення багат шарових гуміново-мінеральних твердих композитів із заданим співвідношенням $70 \leq \frac{\Delta P_{ш}}{g \cdot D_e} \leq 100$, повинні забезпечити:

- активний гідродинамічний режим при мінімальних значеннях інерційного винесення частинок;
- інтенсивну направлену циркуляцію зернистого матеріалу в зонах тепломасообміну і трьохвимірне перемішування в зоні зрошення;
- відсутність застійних зон.

Експериментально встановлено, що утворення багат шарових гуміново-мінеральних композитів визначається заданим часом перебування гранул в кожній зоні. Так, при перевищенні заданого часу

перебування зернистого матеріалу в зоні зрошення, відбувається перезволоження гранул. В результаті, надмірна кількість рідини на поверхні гранул призведе до утворення агломератів з одночасним зменшенням їх механічної міцності, що спрямує кінетику процесу в область пилоутворення.

Збільшення часу перебування гранул в зоні контакту з високотемпературним теплоносієм призведе до їх перегріву та можливого оплавлення на робочих поверхнях газорозподільного пристрою.

Разом з тим, зменшення часу перебування гранул в зонах перерозподілення вологи та релаксації, після зони інтенсивного тепло-масообміну, призведе до зниження ефективності процесу гранулоутворення внаслідок недостатнього часу для зміцнення новоутвореного шару на поверхні гранул.

Отже, час перебування зернистого матеріалу в зонах релаксації та перерозподілення вологи і визначає мінімальну висоту псевдозрідженого шару i , з урахуванням маси зернистого матеріалу у шарі, загальну його поверхню.

Виходячи з цього, можна сформулювати основні принципи організації процесу гранулоутворення багатошарових гуміново-мінеральних твердих композитів в динамічних дисперсних системах:

- спрямований безперервний рух зернистого матеріалу в псевдозрідженому шарі при максимальних швидкостях газу у висхідних потоках і мінімальних значеннях швидкості газу в зонах релаксації в яких газ рухається через шар зернистого матеріалу в режимі фільтрації;

- інтенсивний рух зернистого матеріалу в зоні контакту з високотемпературним теплоносієм безпосередньо біля газорозподільного пристрою;

- інтенсивний імпульсний рух зернистого матеріалу через зону

зрошення при наявності трьохмірного перемішування;

- зменшення швидкості зріджувального агента у верхній частині псевдозрідженого шару для запобігання динамічного виносу частини з відпрацьованим теплоносієм.

За результатами експериментальних досліджень процесу гранулоутворення сформульовані конструктивні пропозиції щодо одержання гуміново-мінеральних багат шарових твердих композитів з гетерогенних рідких систем.

Застосування конічних перфорованих диспергаторів, при роботі з гетерогенними робочими розчинами, дозволяє забезпечити рівномірний розподіл рідкої фази по всьому об'єму псевдозрідженого шару, та запобігти осадженню колоїдних частинок на поверхні диспергатора.

Для запобігання агломерації в зоні зрошення необхідно забезпечити трьохмірне перемішування зернистого матеріалу. Це досягається завдяки спеціальній конструкції ГРП, рисунок 4.2.

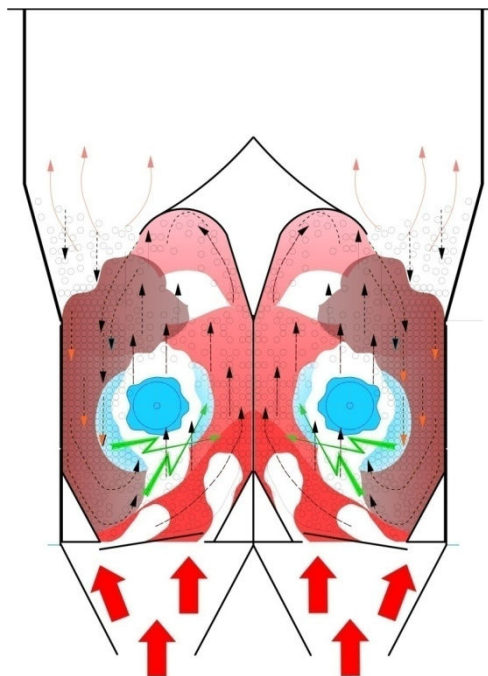
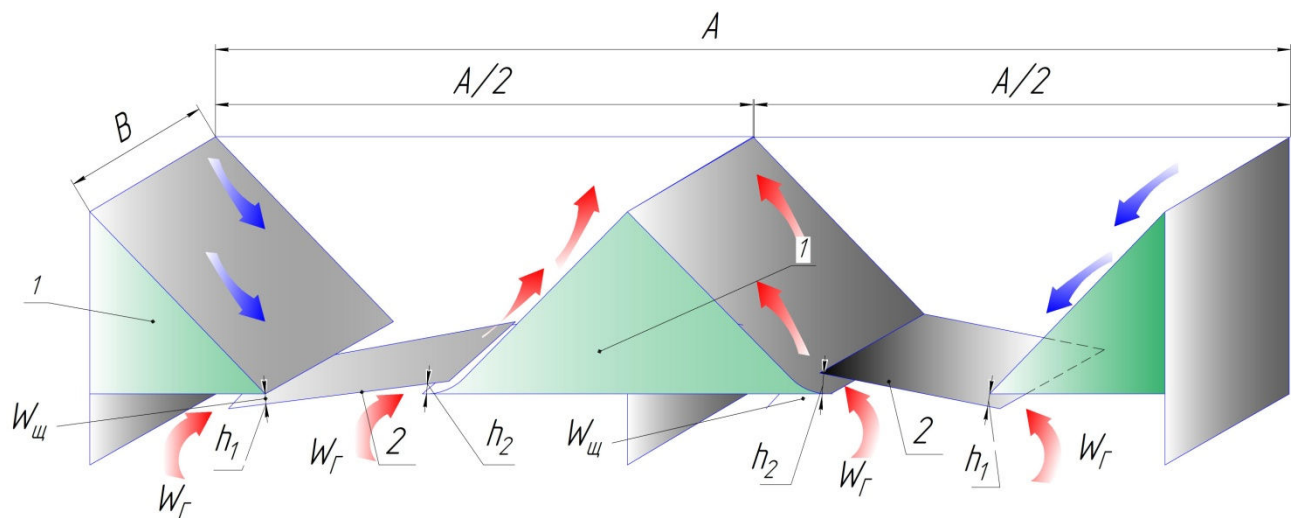


Рисунок 4.2 – Організація руху повітряних потоків в шарі зернистого матеріалу

Газорозподільний пристрій спрямовує повітря нагрітого теплоносія в праву частину апарату завдяки пластині 2. Для усунення впливу на гідродинаміку запропоновано підводити до кожної секції теплоносії через окремий дифузор.

Конструктивна схема ГРП наведена на рисунок 4.3. Основним елементом решітки є плоска рухома пластина. Це дозволяє змінювати розміри щілин безпосередньо при гідродинамічній продувці і при проведенні процесу грануляції.



1 – призматичні елементи; 2 – направляюча пластина;

Рисунок 4.3 – Конструкція газорозподільного пристрою для апаратів з псевдозрідженим шаром

Схема газорозподільного пристрою наведено рисунок 4.4. Вертикальні направляючі вставки розташовані в секції, яка утворена відповідними елементами ГРП.

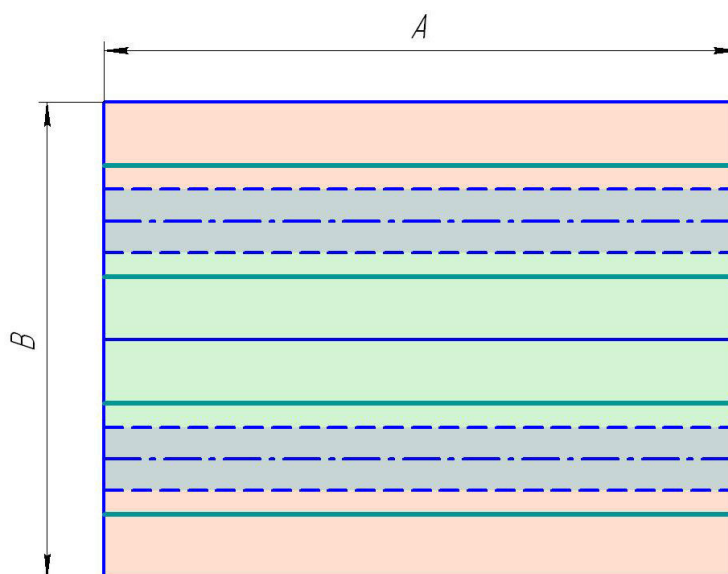


Рисунок 4.4 – Схема газорозподільного пристрою

Висота псевдозрідженого шару для різних складів рідкої фази визначається за результатами експериментальних досліджень у вигляді співвідношення $\Delta P_{ш} / gD_e$.

4.3 Методика розрахунку апарату для одержання багат шарових гуміново-мінеральних твердих композитів

Метою розрахунку є визначення технологічних параметрів процесу та основних розмірів апарату.

Процес гранулоутворення багат шарових гуміново-мінеральних композитів передбачається проводити згідно результатів проведених експериментальних досліджень в апараті з псевдозрідженим шаром, шляхом зневоднення і кристалізації рідкої фази на поверхні зернистого матеріалу.

Однорідність отриманих гранул знаходиться в залежності від хімічного складу рідкої фази, яка подається до апарату. Крім того, в

залежності від хімічного складу рідини, яка подається до гранулятора визначається, до яких систем вона відноситься. Властивості рідини є визначальними для конструкції диспергатора.

Методика для розрахунку використовувалась: [20], [33], [34].

4.3.1 Вихідні дані

Продуктивність по грануляційному продукту, кг/год	G_2 ;
Еквівалентний діаметр часток у псевдозрідженому шарі, м	D ;
Масова доля часток заданого розміру в готовому продукті, %	S_i ;
Кінцева волога гранульованого продукту, %	u_2 ;
Концентрація початкового розчину, %	x_p ;
Температура теплоносія на вході в шар матеріалу, °C	t_1 ;
Температура в шарі матеріалу, °C	t_2 ;
Температура теплоносія на виході із шару матеріалу, °C	t_{12} ;
Температура гранул після апарата, °C	t_{22} ;
Густина матеріалу, кг/м ³	ρ_0 ;
Насипна густина матеріалу, кг/м ³	ρ_1 ;
Густина повітря, кг/м ³	ρ ;
Кінематична в'язкість повітря при температурі t_2 , м ³ /с	ν ;
Температура повітря на вході в калорифер, °C	t_0 ;
Вологовміст повітря на вході в калорифер, кг/кг	x_0 ;
Вологовміст повітря після гранулятора, кг/кг	x_2 ;
Склад природного газу, %	

CH_4 ; C_2H_6 ; C_3H_8 ;

Питома теплоємність сухого гранульованого матеріалу, кДж/кг · К C_M ;

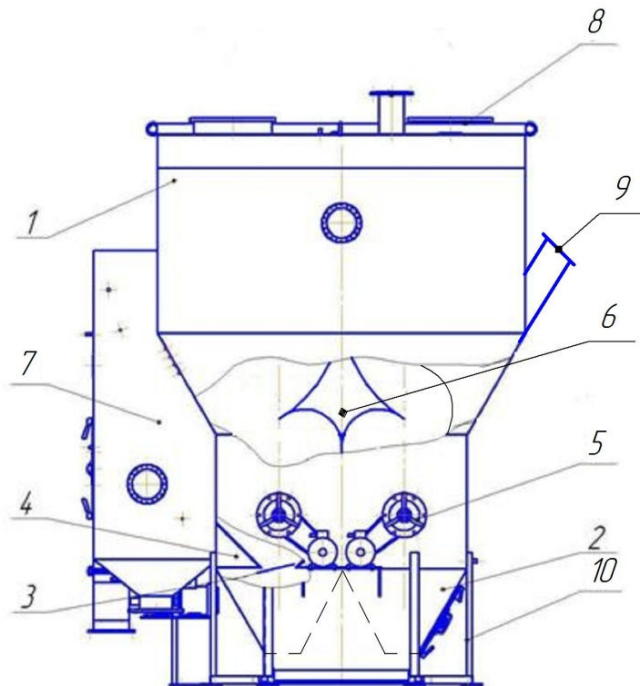
Питома теплоємність повітря, кДж/кг · К C_B ;

Абсолютний тиск у грануляторі, Па П;

Тиск насичення, Па $P_{нас}$;

Коефіцієнт кінематичної в'язкості газу, m^2/s ν_2 .

Принципова схема апарата наведена на рисунку 4.5.



1 – корпус; 2 – вхідний дифузор; 3 – газорозподільний пристрій; 4 – направляюча відбійна призма; 5 – пристрій розподілення вхідної суміші (диспергатор); 6 – направляючий розподільник; 7 – сепаратор; 8 – вихідні патрубки відпрацьованого теплоносія; 9 – патрубков для введення зернистого шару; 10 – опори.

Рисунок 4.5 – Розрахункова схема гранулятора псевдозрідженого шару

4.3.2 Матеріальний баланс гранулятора

Витрата вихідного розчину з урахуванням заданої продуктивності G_2 :

$$G_2 = G_2/3600, \text{ кг/с}, \quad (4.1)$$

$$G_1 = \frac{G_2(1 + \alpha)(100 - u_2)}{(100 - (100 - x_p))}, \text{ кг/с}, \quad (4.2)$$

де $\alpha = 0,03$ – коефіцієнт, що враховує втрати розчину в магістралі.

Отже обираємо насос для дозування плунжерний серії. Насос призначений для роботи в хімічно агресивних середовищах, або шлангові насоси.

Тоді кількість випареної вологи:

$$W = G_1 - G_2, \text{ кг/с}. \quad (4.3)$$

4.3.3 Тепловий баланс гранулятора

Припустимо, що теплоносієм є природний газ, який має CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , CO_2 , N_2 . Тоді теплотворна здатність газу визначається:

$$Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 358,2\text{CH}_4 + 637,5\text{C}_2\text{H}_6 + 912,5\text{C}_3\text{H}_8, \text{ кДж/м}^3. \quad (4.4)$$

Ентальпія повітря, що виходить з камери згорання:

$$i_1 = (1 + 1,96x_0)t_1 + 2480x_0, \text{ кДж/кг}. \quad (4.5)$$

Ентальпія повітря, що надходить до камери згорання:

$$i_0 = (1 + 1,96x_0)t_0 + 2480x_0, \text{ кДж/кг}. \quad (4.6)$$

Витрати природного газу на 1 кг повітря, яке нагрівається:

$$g_{\text{Г}} = \frac{i_1 - i_0}{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (4.7)$$

Вологовміст димових газів після камери згорання:

$$x'_0 = g_\Gamma \sum \frac{0,09}{12m+n} C_m H_n + x_0, \text{кг/кг.} \quad (4.8)$$

4.3.4 Теплові витрати

Втрати теплоти з висушенням матеріалом:

$$q_m = \frac{G_2 C_m (t_2 - t_0)}{W}, \text{кДж/кг.} \quad (4.9)$$

Витрати в оточуюче середовище приймаємо 5% від загальних:

$$q_n = 0,05(2480 + 1,69t_2 + q_m - 4,19t_0), \text{кДж/кг.} \quad (4.10)$$

Теплові втрати віднесені до 1 кг випареної вологи:

$$\Delta = q_m + q_n - C_b (t_{12} - t_0), \text{кДж/кг.} \quad (4.11)$$

Абсолютна вологоємність теплоносія на виході з гранулятора:

$$x_2 = \frac{i_1 + x_0 \Delta - t_2}{\Delta + 1,96t_2 + 2480}, \text{кг/кг.} \quad (4.12)$$

Ентальпія теплоносія на виході з гранулятора:

$$i_2 = (1 + 1,96x_2)t_2 + 2480x_2, \text{кДж/кг.} \quad (4.13)$$

Питомі витрати теплоти:

$$q = \frac{i_1 - i_0}{x_2 - x_0}, \text{кДж/кг.} \quad (4.14)$$

Тепловий ККД гранулятора:

$$\eta_T = \frac{r}{q} \cdot 100\%, \%. \quad (4.15)$$

Загальна витрата теплоти:

$$Q = qW, \text{кДж/с.} \quad (4.16)$$

Витрата природного газу:

$$V_{\Gamma} = \frac{Q}{Q_{\text{н}}^{\text{п}} \beta}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.17)$$

де β – ККД теплогенератора, $\beta = 0,96$.

Питомі витрати абсолютно сухого повітря:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0}, \text{ кг/кг}. \quad (4.18)$$

Загальна витрата теплоносія:

$$L = lW, \text{ кг/с}. \quad (4.19)$$

Відносна вологість відпрацьованого теплоносія:

$$\varphi_2 = \frac{x_2 \cdot \Pi \cdot 100}{P_{\text{нас}} (x_2 + 0,622)}, \%. \quad (4.20)$$

Тоді об'ємні витрати теплоносія після гранулятора з температурою t_2 і відносною вологістю φ_2 при $P \approx 10^5 \text{ Ї}$ à розраховується:

$$V_{\text{вТ}} = \frac{LR_r (T_0 + t_2) 100}{P_{\text{нас}} (100 - \varphi_2)}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.21)$$

Об'ємна продуктивність нагнітаючого вентилятора:

$$V_{\text{в}} = \frac{L}{\rho}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.22)$$

Отже обираємо вентилятор. (<http://www.spicom.ru/vgd.htm>).

4.3.5 Розрахунок гранулометричного складу шару

Константа вивантаження становить:

$$K = 0,005 \cdot t_1. \quad (4.23)$$

Визначення параметрів γ -розподілення:

$$z = \gamma + a \cdot K, \quad (4.24)$$

$$n = (p + q \cdot K)b + c, \quad (4.25)$$

де $a = 2,695; b = 2,873; c = 6,809; p = 0,1995; q = 2,409; \gamma = 3,506$ – коефіцієнти визначені дослідним шляхом.

Приведений діаметр часток:

$$D^* = D - D_y, \text{ мм}, \quad (4.26)$$

де $D = 2,5$ – поточне значення діаметра частинок у шарі;
 $D_y = 0,25$ – максимальне значення діаметру часток, що теплоносієм будуть винесені із шару.

Розподілення маси гранул по їх розміру в апараті псевдозрідженого шару в стаціонарному процесі з вірогідністю 0,99 по критерію Фішера, що описується статистичним γ -розподіленням:

$$g(D) = \frac{z^n}{(n-1)!} D^{*(n-1)} e^{-zD^*}. \quad (4.27)$$

Середній розмір часток в шарі:

$$\bar{D} = \frac{n}{z}, \text{ мм}. \quad (4.28)$$

4.3.6 Розрахунок гранулометричного складу готового продукту

З урахуванням масової долі часток з мінімальним розміром, поріг гранулометричного продукту:

$$S = \frac{\bar{D}^5}{\bar{D}^5 + D_0^5}, \text{ мм}, \quad (4.29)$$

де D_0 – поріг сепарації, середній розмір часток готового продукту:

$$D_0 = \sqrt[5]{\frac{D^5 (1 - S_i)}{S_i}}, \text{ мм}. \quad (4.30)$$

4.3.7 Розрахунок кінетики процесу грануляції

Коефіцієнт гранулоутворення:

$$\psi = \frac{G_2}{G_1} 100\%, \quad (4.31)$$

де G_1 - кількість сухих речовин, що надходить до апарату з робочим розчином, кг/год;

G_2 - продуктивність по гранульованому продукту, кг/год.

Лінійна швидкість росту гранул:

$$\Lambda = \frac{K}{6} \psi D, \frac{\text{мм}}{\text{год}}. \quad (4.32)$$

Функція потужності внутрішнього джерела центрів грануляції, який реалізується за рахунок подрібнення гранул, розраховується за виразом:

$$\varphi(D) = \frac{Z^n}{(n-1)!} D^{*(n-1)} e^{-zD} \left[\frac{2\Lambda}{D^*} [(n-1) - zD^*] + K\psi S - \frac{6\Lambda}{D^*} \right]. \quad (4.33)$$

Функція потужності джерела нових центрів грануляції має синусоїдальну форму. Область, в якій $\varphi(D)$ набуває значень більше нуля, свідчить про утворення нових центрів грануляції з розподіленням маси за розміром частинок в інтервалі $0 \leq d \leq d_{\text{ст}}$.

Область, де функція $\varphi(D)$ набуває з

начень менше нуля, характеризується розподіленням маси частинок за розміром в інтервалі $d_{\text{ст}} \leq d \leq d_{\text{макс}}$, в якому відбувається вивантаження великих гранул з апарату та їх подрібнення.

Значення середнього діаметру частинок в апараті, при якому функція $\varphi(D) = 0$, називається діаметром динамічної стабілізації дисперсного складу і позначається $d_{\text{ст}}$. Звідки, середній час перебування частинки в робочому циклі:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{K}, \text{ год.} \quad (4.34)$$

4.3.8 Розрахунок робочої швидкості теплоносія

Критерій Архімеда:

$$Ar = \frac{g \cdot \bar{D}^3 \cdot (\rho_{\tau} - \rho_{t_2})}{v_2^2 \cdot \rho_{t_2}}, \quad (4.35)$$

де ρ_{t_2} – густина теплоносія при температурі шару t_2 , що визначається:

$$\rho_{t_2} = \frac{\rho \cdot 273}{273 + t_2}, \text{ кг/м}^3. \quad (4.36)$$

Критерій Рейнольдса початку псевдозрідження ($\varepsilon_0 = 0,4$):

$$Re = \frac{Ar \cdot \varepsilon_0^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon_0^{4,75}}}. \quad (4.37)$$

Отже критична швидкість початку псевдозрідження:

$$W_{кр} = \frac{Re \cdot v_{t_2}}{D}, \text{ м/с.} \quad (4.38)$$

Критерій Рейнольдса для робочого режиму псевдозрідження ($\varepsilon_{\delta} = 0,65$):

$$Re_p = \frac{Ar \cdot \varepsilon_p^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon_p^{4,75}}}. \quad (4.39)$$

Отже робоча швидкість псевдозрідження:

$$W_p = \frac{Re_p \cdot v_{t_2}}{D}, \text{ м/с.} \quad (4.40)$$

Критерій Рейнольдса для умови виносу часток ($\varepsilon = 1$):

$$Re_B = \frac{Ar}{18 + 0,61 \sqrt{Ar}}. \quad (4.41)$$

Отже швидкість виносу часток:

$$W_B = \frac{Re_B \cdot v_{t2}}{D}, \text{ м/с.} \quad (4.42)$$

4.3.9 Розрахунок площі газорозподільного пристрою

Розрахунок проводиться згідно схеми на рисунку 4.6.

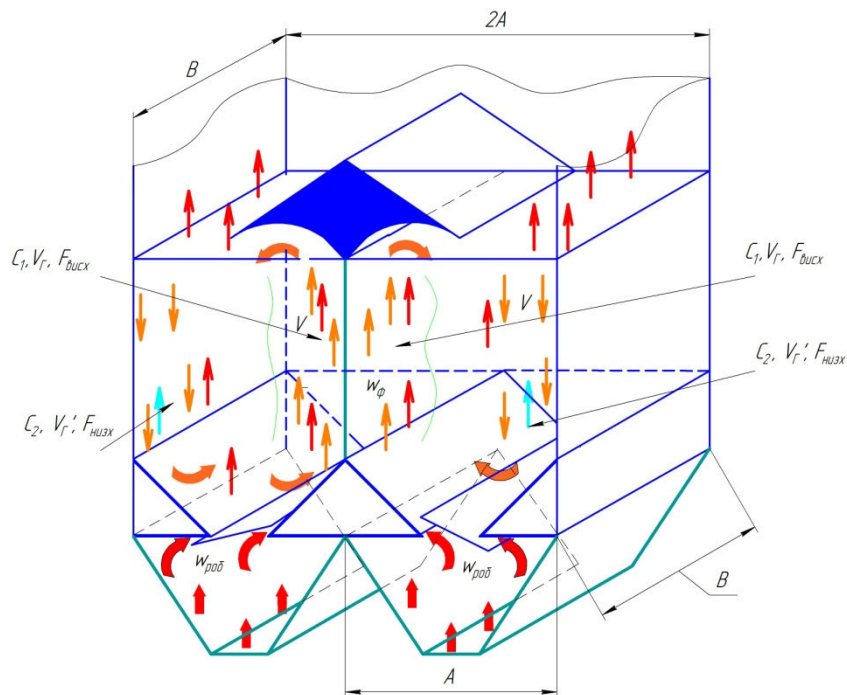


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема газорозподільного пристрою

Секундна витрата:

$$V_{\text{сек}} = F_a \cdot W_p, \text{ м}^3/\text{с.} \quad (4.43)$$

де F_a – площа живого перетину ГРП

$$F = A \times B = 0,093 \times 0,1 = 0,0964 \text{ м}^2;$$

W_p – робоча швидкість в ГРП, м/с.

Враховуючи розподілення швидкостей по живому перетину ГРП з умови, що $V_G = 0,5W_{кр}$ – швидкість теплоносія у низхідній зоні, м/с, а $V = W_{\text{вин}}$. Тоді рівняння (4.43) набуває вигляду:

$$F_{\text{висх}} V_{\Gamma} C_1 = F_{\text{низх}} V_{\Gamma}' C_2 \quad (4.44)$$

де $F_{\text{висх}}$ та $F_{\text{низх}}$ – відповідно площа поперечного перетину висхідного та низхідного потоку, м²;

V_{Γ} та V_{Γ}' - швидкість руху гранул в окремих ділянках апарату;

C_1 та C_2 - концентрації в окремих ділянках апарату.

Тоді, площа ГРП:

$$F_a = 2F_{\text{висх}} + 2F_{\text{низх}} \quad (4.45)$$

Тоді, питома продуктивність по волозі A_f повинна бути не менше, ніж $A_f = 700$ кг/м²Г:

$$A_f = \frac{W}{F}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ГОД} \quad (4.46)$$

Дійсна швидкість газів безпосередньо над газорозподільною решіткою:

$$\overline{W}_p = W_p' \frac{273 + t_1}{273 + t_2}, \text{ м/с.} \quad (4.47)$$

Критерій Архімеда для умов виносу $d_{\text{min}} = 0,25$ мм:

$$Ar_{\text{віт}} = \frac{g \cdot d_{\text{min}}^3 \cdot (\rho_{\Gamma} - \rho_{\Gamma 2})}{v_2^2 \cdot \rho_{\Gamma 2}}. \quad (4.48)$$

Критерій Рейнольдса для умов виносу часток ($\varepsilon = 1$):

$$Re_{\text{віт}} = \frac{Ar_{\text{віт}}}{18 + 0,61\sqrt{Ar_{\text{віт}}}}. \quad (4.49)$$

Швидкість виносу часток з мінімальним розміром:

$$W_{\text{віт}} = \frac{Re_{\text{віт}} \cdot v_{\Gamma 2}}{d_{\text{min}}}, \text{ м/с.} \quad (4.50)$$

Площа апарату в зоні сепараційного простору:

$$F_c' = \frac{V_{\text{ВТ}}}{W_{\text{віт}}}, \text{ м}^2. \quad (4.51)$$

Тоді швидкість в щілинах газорозподільної решітки, при заданому

коефіцієнті живого перетину φ ($\varphi = 5 \div 10\%$), розраховується:

$$W_{\text{ш}} = \frac{\overline{W_p}}{\varphi}, \text{ м/с.} \quad (4.52)$$

4.3.10 Гідравлічний розрахунок апарата

Гідравлічний опір вхідного штуцера визначається за формулою:

$$\Delta P_{\text{вх}} = \xi_1 \frac{W_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_{t_1}}{2}, \text{ Па,} \quad (4.53)$$

де $\xi_1 = 0,5$ – коефіцієнт гідравлічного опору штуцера, вибирається із довідника; ρ_{t_1} – густина теплоносія при температурі на вході в апарат:

$$\rho_{t_1} = \frac{\rho \cdot 273}{273 + t_1}, \text{ кг/м}^3, \quad (4.54)$$

$W_{\text{ào}}$ – швидкість теплоносія у вхідному штуцері, м/с:

$$W_{\text{вх}} = \frac{L}{\rho_{t_1} \cdot F_{\text{өх}}}, \text{ м/с,} \quad (4.55)$$

де $F_{\text{ào}}$ – поперечний перетин вхідного штуцера.

Гідравлічний опір газорозподільного пристрою (ГРП):

$$\Delta P_2 = \xi_2 \frac{W_{\text{ш}}^2 \cdot \rho_{t_1}}{2}, \text{ Па,} \quad (4.56)$$

де ξ_2 – коефіцієнт гідравлічного опору ГРП для заданої конструкції становить $\xi = 0,733\varphi$, при $\varphi = 3,4\%$.

Для даної конструкції ГРП (рисунок 4.3) коефіцієнт живого перерізу у відсотках визначається за співвідношенням:

$$\varphi = \frac{(h_1 + h_2)B}{L \cdot B} 100\% = \frac{(h_1 + h_2)}{L} 100\%, \quad (2.57)$$

де h_1, h_2 – висота щілин для проходу повітря, м;

L, B – відповідно довжина та ширина ГРП, м.

Конструкція ГРП, рисунок 4.3, жалюзійного типу, зі змінним коефіцієнтом живого перерізу від 3,4% до 10,2%, що досягається шляхом повороту двох робочих пластин навколо осі без зупинки апарату. Кут вершини центральної призми збільшено до 120^0 . Зміна розміру щілин забезпечує інтенсивний, направлений, висхідний рух матеріалу в зоні зрошення, що призводить до усунення застійних зон та пульсуючого режиму.

Гідравлічний опір псевдозрідженого шару:

$$\Delta P_{\text{ш}} = g \cdot \rho_{\text{н}} \cdot (1 - \varepsilon_p) \cdot H_{\text{ш}}, \text{ Па}, \quad (4.58)$$

де $H_{\text{ш}}$ – висота псевдозрідженого шару:

$$H_{\text{ш}} = \frac{\tau \cdot G_1 \cdot x_p \cdot \eta}{F \cdot (1 - \varepsilon_p) \cdot \rho_{\text{н}}}, \text{ м}. \quad (4.59)$$

Висота сепараційної зони:

$$H_{\text{с}} = 2H_{\text{ш}}, \text{ м}. \quad (4.60)$$

Висота камери гранулятора:

$$H_{\text{а}} = H_{\text{ш}} + H_{\text{с}}, \text{ м}. \quad (4.61)$$

Гідравлічний опір вихідних штуцерів:

$$\Delta P_{\text{вих}} = 2 \cdot \xi_1 \frac{W_{\text{вих}}^2 \cdot \rho_{t2}}{2}, \text{ Па}, \quad (4.62)$$

де $W_{\text{вих}}$ – швидкість теплоносія у вихідних штуцерах.

$$W_{\text{вих}} = \frac{L}{\rho_{t2} \cdot F_{\text{вих}}}, \text{ м/с}. \quad (4.63)$$

Тоді сумарний гідравлічний опір гранулятора (без циклонів) буде:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\text{вх}} + \Delta P_2 + \Delta P_{\text{ш}} + \Delta P_{\text{вих}}, \text{ Па}. \quad (4.64)$$

Витрати потужності:

$$N = \frac{\sum \Delta P \cdot V_{\text{в}}}{1000}, \text{ кВт}. \quad (4.65)$$

4.3.11 Розрахунок числа диспергаторів кінчного типу

На підставі експериментальних досліджень при реалізації пошарового механізму гранулоутворення лінійна швидкість диспергатора $\omega_{\text{л}} = 12 \div 15$ м/с, при приведеній товщині плівки $\bar{h} = 6 \div 8 \cdot 10^{-6}$ м.

Приймаємо геометричні розміри окремого диспергатора D_1, D_2 , (рисунок 4.7).

Об'ємні витрати робочого розчину, що доцільно надавати на один диспергатор визначаються:

$$V_p = \pi D_2 \omega \bar{h}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.66)$$

Загальні об'ємні витрати робочого розчину:

$$V_p = \frac{G'_1}{3600 \rho_p}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.67)$$

Тоді кількість диспергаторів:

$$N = \frac{V_1}{V_p}. \quad (4.68)$$

Проводимо перерахунок об'ємних витрат робочого розчину, що доцільно надавати на один диспергатор з врахуванням кількості диспергаторів:

$$V_p = \frac{V_1}{N}. \quad (4.69)$$

Звідки визначаємо приведену товщину плівки рідини:

$$\bar{h} = \frac{V_p}{\pi D_2 \omega}. \quad (4.70)$$

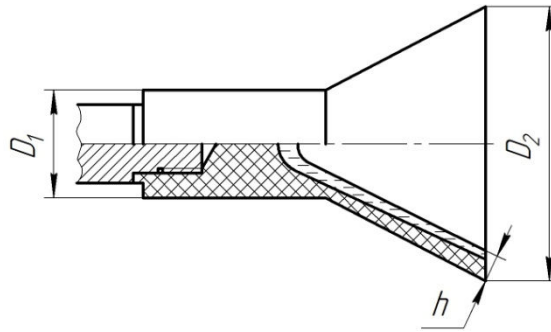


Рисунок 4.7 – Диспергатор конічного типу

4.3.12 Розрахунок зони зрошення диспергатора

На основі проведених експериментальних досліджень безперервного безрециклового процесу зневоднення і грануляції гетерогенних систем встановлено залежність:

$$\psi = f\left(\frac{\Delta P_{\text{ш}}}{gD_e}; K_W\right) \quad (4.71)$$

на підставі чого відношення гідравлічного опору псевдозрідженого шару, Па, до еквівалентного діаметра $1,5 \leq D_e \leq 2,5$, мм і прискорення сили тяжіння g приймаємо в межах:

$$80 \leq \frac{\Delta P_{\text{ш}}}{gD_e} \leq 100 \quad (4.72)$$

Середнє питоме навантаження зони зрошення, яка безпосередньо прилягає до диспергатора, на підставі експериментальних досліджень зневоднення і грануляції водяних розчинів сульфату амонію приймаємо $A_f = 2,4 \frac{\text{кг вологи}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$.

Визначаємо розрахункову загальну поверхню зони зрошення:

$$f_{\text{з.зр}} = \frac{W}{A_f}, \text{ м}^2 \quad (4.73)$$

де W – продуктивність за випарованою вологою, кг/с;

Визначаємо загальний об'єм зони зрошення:

$$V_{\text{з.зр}} = \frac{f_{\text{з.зр}}}{\sigma}, \text{ м}^3 \quad (4.74)$$

де σ – середня питома поверхня частинок у псевдозрідженому шарі, $\text{м}^2/\text{м}^3$, для стаціонарного процесу визначається $\sigma = 1190 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Визначаємо загальний об'єм псевдозрідженого шару, з метою запобігання утворенню нескінчених агрегованих кластерів:

$$H_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{F}, \text{ звідки } V_{\text{ш}} = \frac{F}{H_{\text{ш}}}, \text{ м}^3 \quad (4.75)$$

Перевіряємо співвідношення:

$$\frac{\Delta P_{\text{ш}}}{g D_e}. \quad (4.76)$$

Таким чином розраховане співвідношення задовольняє умову заданого: $80 \leq \frac{\Delta P_{\text{ш}}}{g D_e} \leq 100$, тобто підтверджено експериментальні дослідження аналітичним розрахунком.

Розраховуємо масу шару в апараті у стаціонарному процесі:

$$G_{\text{ш}} = \frac{\Delta P_{\text{ш}} F}{g}, \text{ кг} \quad (4.77)$$

Результати розрахунку наведено в додатку Г.

4.4 Виведення

До даної методики складена програма параметричного розрахунку гранулятора (Додаток Г).

Результати деяких розрахунків:

Витрата вихідного розчину з урахуванням заданої продуктивності g_2 ,
 $g_1 = 5000 \text{ кг/год}$

Температура теплоносія на вході в апарат $T = 375 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура шару в апараті $T = 95 \text{ }^\circ\text{C}$

Тепловий ККД гранулятора, $\eta_{\text{at}} = 63.85717 \%$

Загальна витрата теплоносія, $I_t = 11.45 \text{ кг/с}$

Об'ємна продуктивність нагнітаючого вентилятора, $v_v = 10 \text{ м}^3/\text{с}$

Константа вивантаження, $k = .8899999 \text{ 1/год}$

Вихід гранульованого продукту, $\eta_{\text{ag}} = 90.63305 \%$

Середній час перебування часток в шари, $\tau = 1.856364 \text{ год}$

Критична швидкість початку псевдозрідження, $w_{\text{kr}} = .6938456 \text{ м/с}$

Прийнята площа апарату, $f_1 = 3$

Реальна швидкість псевдозрідження, $w_{\text{p1}} = 2.92292 \text{ м/с}$

Питома продуктивність по волозі, $a_f = 757.7334 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$

Гідравлічний опір газорозподільного пристрою (ГРП), $\text{dp}_2 = 1840.888 \text{ Па}$

Висота псевдозрідженого шару, $sh_s = .52 \text{ м}$

Гідравлічний опір псевдозрідженого шару, $\text{dp}_{\text{sh}} = 1962.47 \text{ Па}$

Сумарний гідравлічний опір гранулятора (без циклонів), $\text{sdp} = 4886.78 \text{ Па}$

Витрати потужності, $n_v = 30.94797 \text{ кВт}$

За результатами роботи програми побудовані графіки залежності витрати природного газу та часу перебування в залежності від значень температури теплоносія на вході в апарат, рисунок 4.8.

Як бачимо з графіків зона вибору оптимального апарата в залежності від температури теплоносія на вході знаходиться в межах $300 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$, бо при менших температурах значно зростає час перебування та витрати природного газу, обираємо оптимальний варіант $350 \text{ }^\circ\text{C}$.

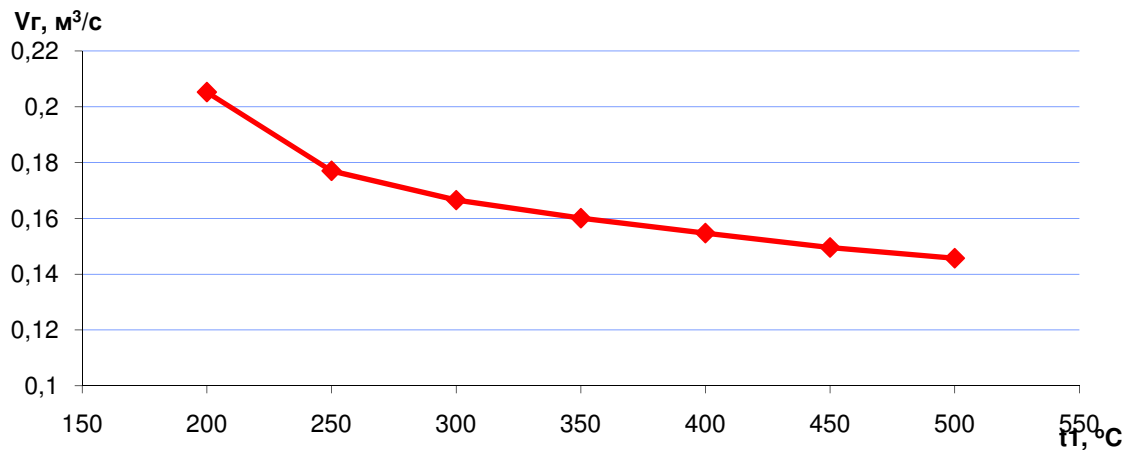


Рисунок 4.8 – Графік залежності витрати природного газу ($\text{м}^3/\text{с}$) від температури теплоносія на вході в апарат ($^{\circ}\text{C}$)

Таким чином, остаточно:

1. Запропоновано технологічну схему для одержання азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів з пошаровою структурою.
2. Обґрунтовано конструктивні та технологічні засади гранулятора псевдозрідженого шару.
3. Запропоновано нову конструкцію камери гранулятора та газорозподільного пристрою, захищених патентами України на корисну модель.
4. На підставі розробленої методики вибрано апарат продуктивністю $G_2 = 2$ т/ГОД з площею $F = 2,88 \text{ м}^2$, з шириною 1,2 м та довжиною 2,4 м, площею апарату в зоні сепараційного простору $F_c = 7 \text{ м}^2$, висотою псевдозрідженого шару $H_{ш} = 0,5$ м.

ВИСНОВКИ

1. За результатами огляду джерел літератури та попередніх експериментальних досліджень сформульовано мету та задачі досліджень гідродинаміки в псевдозрідженому шарі при одержанні мінерально-гумінових твердих композитів з пошаровою структурою;

2. Сформульовано фізичну модель струменево-барботажного режиму гідродинаміки;

3. Розвинуто математичну модель з урахуванням гідродинаміки процесу утворення твердих композитів з пошаровою структурою при зневодненні гетерогенних систем у псевдозрідженому шарі;

4. Розроблена методика експериментальних досліджень гідродинаміки багатофазної системи в процесах зневоднення і грануляції;

5. За результатами експериментальних досліджень розроблено конструкцію камери гранулятора, яка дозволила збільшити продуктивність апарату за вологою при одержанні азотно-гумінових, азотно-калієвих-гумінових, азотно-калієвих-гумінових;

6. Удосконалено розрахунок гідродинамічного режиму методики розрахунку промислового апарату для безперервного виробництва мінерально-гумінових добрив з пошаровою структурою;

Результати роботи можуть бути використанні для розробки промислового апарату для одержання багатокомпонентних твердих композитів із заданими властивостями

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Органо-мінеральні відклади Чорного моря як сировина для біоактивних добрив / Е.Г. Дегодюк, С.Е. Дегодюк, О.І. Вітвіцька / ННЦ «Інститут землеробства НААН», Київ 2011
2. Створення гуміново-мінеральни добрив д забезпечення екологічної рівноваги / Корнієнко Я. М., Степанюк А. Р., / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
3. М.З.Згуровський. Сталий розвиток регіонів України – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – ХХХ с.: іл. – Бібліогр.: с. ХХХ7ХХХ. – ХХХ екз.
http://activity.wdc.org.ua/ukraine/Isd_ukr-2400dpi-10.pdf
4. Енергозберігаюча технологія виробництва гранульованих органо-мінеральних добрив / Якушко С.І., к.т.н., доцент СумДУ, Юхименко М.П., к.т.н., доцент/
<http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/24155>
5. Агроекологія: Навч. посібник / О.Ф. Смаглій, А.Т. Кардашов, П.В. Литвак та ін. - К.: Вища освіта. 2006. - 671 с: іл.
6. Глазовская М.А. Способность окружающей среды к самоочищению // Природа. - М.: Высшая школа. - 1979. - №3. - С.71-79.
7. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів: Монографія / В.П. Патики, Н.А. Макаренко, Л.І. Моклячук та ін.; За ред. В.П. Патики. - К.: Основа, 2005. - 300 с.
8. Енерготехнологія одержання органо-мінеральних добрив із осадів стічних вод , курячого посліду / О.Р. Очеренюк, М.Д. Волошин, А.В. Іванченко, Н.П. Макаренко
9. Пат. 2458028 Российская Федерация, МПК C05F11/08. Способ получения органоминерального удобрения со сйствами иммуномодулятора и обладающего лечашим эффектом при

- поражении растений бактериальными болезнями. / Харченко А. Г. / № 2010132576/13; заявл. 03.08.2010; опубл. 10.08.2012
10. Пат. 2457909 Российская Федерация, МПК B09B3/00 (2006.01). Способ переработки осадков сточных вод. / Демин Д. В., Севостьянов С. М., Татаркин И. В. / Учреждение Российской академии наук Институт фундаментальных проблем биологии РАН; № 2010132695/13; заявл. 04.08.2010; опубл. 10.08.2012
11. Пат. 2454386 Российская Федерация, МПК C05G1/00 .Способ производства удобрений из лигнозелюлозного материала. / Костин В. В., Погорельская О. И., Симоненко В. И./; № 2010149540/13; заявл. 03.12.2010; опубл. 27.06.2012
12. Пат. 2443664 Российская Федерация, МПК C05C1/00 .Способ получения рганоминерального удобрения. / Потеряню И. Ф., Терпелец В. И., Кильдюшкин В. М., Козлова И. И., Огарков А. А. /; № 2010130319/13; заявл. 20.07.2010; опубл. 27.02.2012
13. Гранулирование. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. – М.: Химия, 1991. – 238 с.
14. Кочетков В.Н. Гранулирование минеральных удобрений / Кочетков В.Н. –М.: Химия, 1975. – 224 с.
15. Гранулирование. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/1143.html>
16. Технологии сушки и грануляции для мировой химической промышленности
[http://www.gea-
pe.ru/gpru/cmsresources.nsf/filenames/Chemical%20brochure_GB-2-
2.pdf/\\$file/Chemical%20brochure_GB-2-2.pdf](http://www.gea-
pe.ru/gpru/cmsresources.nsf/filenames/Chemical%20brochure_GB-2-
2.pdf/$file/Chemical%20brochure_GB-2-2.pdf)
17. Вихревой псевдооживенный слой и его применение 7МПК B01 J2/16 / Маренок В.М. Склабинский В.И. – 2004.
http://phys.onu.edu.ua/files/journals/fas/articles/41/fas41_marenok.pdf

18. Пат. 2334183 Российская Федерация, МПК F26B3/12. Гранулятор кипящего слоя. / Кочетов О. С., Кочетова М. О., Кочетов С. С., Костылева А. В. /; № 2007100054/06; заявл. 09.01.2007; опубл. 27.02.2012
19. Овчинников Л.Н. Грануляция минеральных удобрений во взвешенном слое: монография / ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол.ун-т.Иваново,2010. 168 с. ISBN 978-5-9616-0349-1
20. Корнієнко Я.М. Технічні способи грануляції / Корнієнко Я.М. – Київ.: ІЗМН, 1997. – 128 с.
21. Тодес О. М., Цитович О. Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы. – Л.: Химия, 1981. – 296 с.
22. Газораспределительная решетка "CONIDUR®-Feinlochbleche"
<http://www.heinlehmenn.de/>
23. Буевич Ю.А. Струйное псевдооживление / Буевич Ю.А., Минаев Г.А. – М.:Химия, 1984. – 136 с.
24. Пат. 9723284 Германия МКИ В 01j8/44. Аппарат с псевдооживленным слоем, тарелка для слоя и способ изготовления тарелки / Christensen, Niro; опубл. 18.12.96.
25. Принципиальные схемы опорно-распределительных устройств аппаратов с кипящим слоем. <http://geyz.ru/news/2010-05-26-224>
26. VEREINIGTE FÜLLKÖRPER-FABRIKEN
<http://www.vff.com/deutsch/s0108.htm>
27. Моделювання гідродинаміки в дисперсних системах / Корнієнко Я.М., Гатілов К.О., Науменко Д.О. VII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» , (Київ, 20 жовтня 2010р.): зб. тез доп. – К.: НТУУ«КПІ»,

2010, Частина 1. – С. 8 –9

28. Кинетика и технология сушки распылением / А.А. Долинский, К.Д. Малецкая, В.В. Шморгун. – К.: Наукова думка, 1987. – 229 с.
29. Механизм и математическое описание гранулообразования сипучих материалов в псевдооживленном слое, Рустамов Я.И., Карамедов Г.А., Казымов Ф.В. - Химическая промышленность, 2000г. №12 [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - www.tup.utwente.nl/uk/catalogue/technical/granulation
30. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5 <http://www.gosthelp.ru/gost/gost746.html>
31. Алгоритм расчета гранулятора с псевдооживленным слоем: Методические указания к применению вычислительной техники по курсу «Машины и аппараты химических производств», сост. Я. Н. Корниенко, В.Г. Воронин. – Киев: КПИ, 1987. - 20 с.
32. Корнієнко Б.Я. Гранулювання у псевдо зрідженому шарі. Дослідження детермінованого хаосу процесу / Корнієнко Б.Я., Ладієва Л.Р., Снігур О.В. // Хімічна промисловість України №2. – Київ, – 2013. – с. 20-23.
33. Псевдооживление / В. Г. Айнштейн, А. П. Басков, Б.В. Берг и др. – М. Химия, 1991 (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии.) – 400 с.; ил. ISBN 5-7245-0677-7.
34. Алгоритм расчета гранулятора с псевдооживленным слоем: Методические указания к применению вычислительной техники по курсу «Машины и аппараты химических производств», сост. Я. Н. Корниенко, Л.Г. Воронин. – Киев: КПИ, 1987. - 20 с.

ДОДАТОК А

РОЗРАХУНОК КАМЕРНОЇ ДІАФРАГМИ

А.1 – Розрахунок камерної діафрагми апарата з інтенсивним трьохмірним перемішуванням

1. Об'ємні витрати середовища при робочих умовах розраховуються за формулою, рис. Б.1, м³/с:

$$q_v = 0,25 \cdot \pi \cdot d_{20}^2 \cdot K_{cy}^2 \cdot C \cdot E \cdot K_{\theta} \cdot \xi \cdot \hat{E}_i \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta D}{\rho}},$$

$d_{20} = 35,5$ мм – діаметр отвору звужуючого пристрою при температурі 20°C

$K_{cy} = 1$ – коефіцієнт, що враховує зміну діаметра отвору звужуючого пристрою викликаного відхиленням температурного середовища від 20°C. (t=20°C)

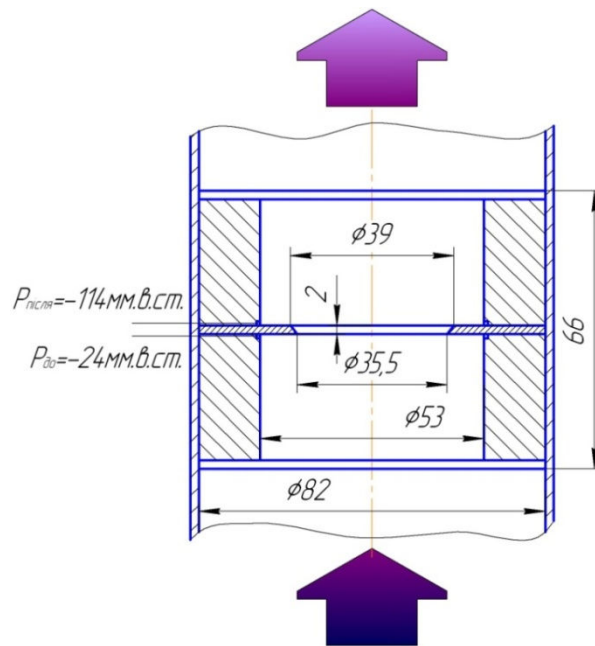


Рисунок А.1 – Схема до розрахунку витрати через діафрагму

$$K_{cy} = 1 + \alpha_{tcy} \cdot (t - 20)$$

C – коефіцієнт витікання:

$$C = 0,5961 + 0,0261 \cdot \beta^2 - 0,216 \cdot \beta^8 + 0,000521 \cdot \left(\frac{10^6 \cdot \beta}{Re}\right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063 \cdot A) \cdot \beta^{3,5} \left(\frac{10^6}{Re}\right) + (0,043 + 0,08e^{-10L_1} - 0,123e^{-7L_1})(1 - 0,11A) \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0,031(M_1 - 0,8M_1^{1,1}) \cdot \beta^{1,3} + M_2$$

де β – відносний діаметр отвору діафрагми:

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{0,0355}{0,082} = 0,4329.$$

$D = 0,082$ м – внутрішній діаметр вимірюваного трубопроводу.

$$Re = \frac{4 \cdot q_v \cdot \rho}{\pi \cdot \mu \cdot D}$$

приймаємо $Re = 25000$;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості середовища, $\mu = 0,018 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

$$\rho = \frac{\rho_c \cdot P \cdot T_c}{p_c \cdot T \cdot K} = \frac{1,293 \cdot 100265 \cdot 273}{100500 \cdot 293 \cdot 1} = 1,202 \text{ кг/м}^3.$$

$K = 1$ – коефіцієнт стиснення газу;

$\rho_c = 1,293 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря при стандартних умовах;

$P = -24$ мм. в. ст. = 100265 Па – абсолютний тиск перед діафрагмою;

$T_c = 273$ К – абсолютна температура при стандартних умовах;

$P = 100500$ Па – тиск при стандартних умовах;

$T = 293$ К – температура повітря робоча при 20°C .

$$A = \left(\frac{19000 \cdot \beta}{Re}\right)^{0,8} = \left(\frac{19000 \cdot 0,4329}{25000}\right)^{0,8} = 0,4109.$$

$$L_1 = L_2 = \frac{0,0254}{D} = \frac{0,0254}{0,082} = 0,3098, \text{ – при фланцевому способі відбору}$$

тиску;

$$\dot{I}_1 = \frac{2 \cdot L_2}{1 - \beta} = \frac{2 \cdot 0,3098}{1 - 0,4329} = 1,0926.$$

$$M_2 = 0$$

$$1) = 0,011 \cdot (0,75 - \beta) \cdot \left(2,8 - \frac{D}{0,0254}\right) \text{ і } \delta \text{è } D < 0,07112 \text{ì} ;$$

$$2) = 0 \text{ і } \delta \text{è } D \geq 0,07112 \text{ì} .$$

Отже коефіцієнт витрати:

$$\begin{aligned} C = & 0,5961 + 0,0261 \cdot 0,4329^2 - 0,216 \cdot 0,4329^8 + 0,000521 \cdot \left(\frac{10^6 \cdot 0,4329}{25000}\right)^{0,7} + \\ & + (0,0188 + 0,0063 \cdot 0,4109) \cdot 0,4329^{3,5} \left(\frac{10^6}{25000}\right) + (0,043 + 0,08e^{-10 \cdot 0,3098} - \\ & - 0,123e^{-7 \cdot 0,3098})(1 - 0,11 \cdot 0,4109) \frac{0,4329^4}{1 - 0,4329^4} - 0,031(1,0926 - 0,8 \cdot 1,0926^{1,1}) \times \\ & \times 0,4329^{1,3} + 0 = 0,6492. \end{aligned}$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,4329^4}} = 1,018 - \text{коефіцієнт швидкості входу.}$$

$K_{ш}=1$ – поправний коефіцієнт, що враховує шорсткість внутрішньої поверхні вимірюваного трубопроводу.

$\xi=1$ – коефіцієнт розширення потоку.

$K_{п}=1$ – поправний коефіцієнт, що враховує притуплення вхідної кромки діафрагми.

$\Delta P = 89 \text{ мм. в. ст.} = 871,4 \text{ Па}$ – перепад тиску на діафрагмі.

Остаточна витрата визначається:

$$q_v = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,0355^2 \cdot 1^2 \cdot 0,6492 \cdot 1,018 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{871,4}{1,202}} = 0,0249 \text{ м}^3/\text{с} = 89,62 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$Re' = \frac{4 \cdot q_v \cdot \rho}{\pi \cdot \mu \cdot D} = \frac{4 \cdot 0,0249 \cdot 1,202}{3,14 \cdot 0,018 \cdot 10^{-3} \cdot 0,082} = 25831.$$

$$\varepsilon = \frac{|Re - Re'|}{Re} \cdot 100\% = \frac{|25000 - 25831|}{25000} \cdot 100\% = 3,326\%.$$

Похибка задовільна, отже діафрагму розраховано вірно.

Тоді витрата діафрагми визначається за залежністю, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$q_v = 4,927 \cdot 10^{-5} \sqrt{\Delta P_a (273 + t)}.$$

де ΔP_d – перепад тиску на діаграмі, Па;

t – температура середовища, °С.

Таблиця А.1 – Визначення витрати теплоносія

Тиск на дифманометрі, діафрагма	Тиск	Секундна витрата	Годинна витрата	Коефіцієнт гідрравлічного опору
P_d , мм	P , Па	V , м ³ /с	V , м ³ /год	ξ
0	0	0	0	0
119	1167,033	0,029	103,720	2,39
129	1265,103	0,030	107,990	2,33
137	1343,559	0,031	111,288	2,31
145	1422,015	0,032	114,491	2,36
159	1559,313	0,033	119,891	2,32
170	1667,190	0,034	123,969	2,30
179	1755,453	0,035	127,208	2,30
185	1814,295	0,036	129,322	2,37
195	1912,365	0,037	132,771	2,38
218	2137,926	0,039	140,383	2,30
232	2275,224	0,040	144,821	2,34
247	2422,329	0,042	149,429	2,31
272	2667,504	0,044	156,809	2,33
280	2745,960	0,044	159,098	2,34
292	2863,644	0,045	162,472	2,26
310	3040,170	0,047	167,405	1,99
320	3138,240	0,047	170,083	2,03

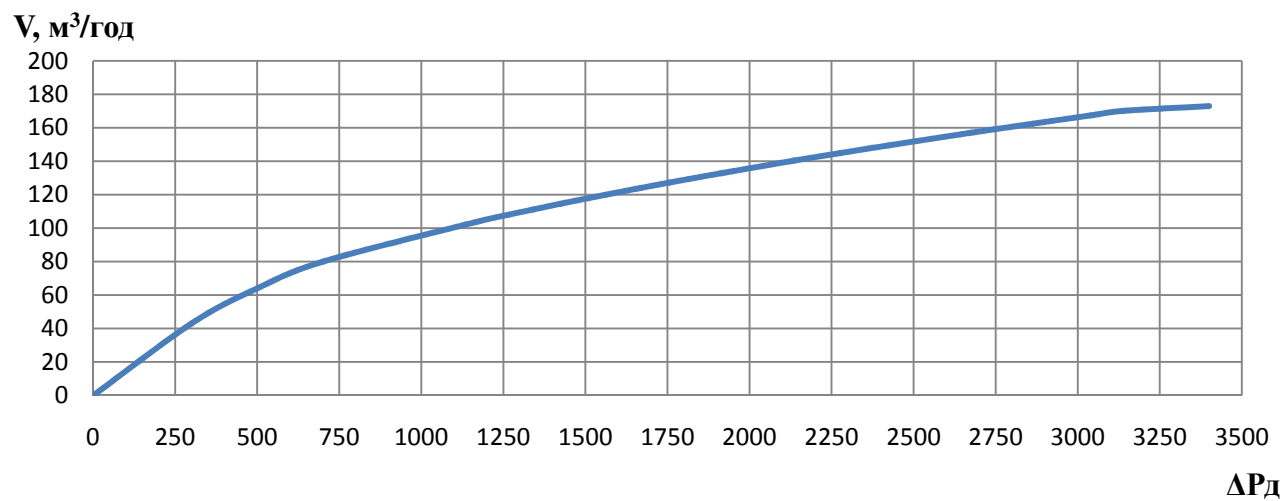


Рисунок А.2 – Тарувальна діаграма визначення витрати

ДОДАТОК Б

РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ

Б.1 РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Б.1.1 Розрахунок похибки вимірювання теплоносія на вході до гранулятора

Гранична похибка $\Delta T_{\text{вх}}$ включає систематичну похибку приладу σ_{Σ} і похибку термопари Δ_T , визначену при її таруванні в діапазоні температур 150 – 210 °С [1]:

$$\Delta T_{\text{вх}} = |\sigma_{\Sigma}| + |\Delta_T| \quad (\text{Б.1})$$

Сумарна систематична похибка приладу визначається за формулою [15]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{прил}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2}, \quad (\text{Б.2})$$

де – $\sigma_{\text{прил}}$ – похибка приладу А-565-002-01, класу точності $r=0,15/0,05$, визначається за виразом [1]:

$$\sigma_{\text{прил}} = \frac{\Delta}{3},$$

- гранична абсолютна паспортна похибка [1]:

$$\text{де } \Delta = \pm \left(\frac{0,15 - 0,05}{100} \cdot |T_{\text{вх}}| + \frac{0,05}{100} \cdot |T_{\text{к}}| \right) \quad (\text{Б.3})$$

де $T_{\text{вх}}$ – значення найбільшої температури теплоносія, °С,
 $T_{\text{вх}}=210^{\circ}\text{C}$,

$T_{\text{к}}=800^{\circ}\text{C}$ -більша по абсолютній величині, гранична температура виміру приладом.

Тоді похибка приладу розраховується [1]:

$$\sigma_{\text{прил}} = \pm \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{0,15 - 0,05}{100} \cdot 210 + \frac{0,05}{100} \cdot 800 \right) = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$$

Похибка зчитування розраховується за формулою [1]:

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{\delta}{\sqrt{12}},$$

де $\delta=0,1^{\circ}\text{C}$ - значення одиниці найменшого розряду цифрового табло приладу А565-002-01 [15]:

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}} = 0,029^{\circ}\text{C}$$

Тоді числове значення систематичної похибки приладу дорівнює [1]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{прил}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} = \sqrt{0,20^2 + 0,029^2} = 0,202^{\circ}\text{C}$$

Величина похибки показань термомпери $\Delta T_{\text{вх}}=0,2^{\circ}\text{C}$, тоді

$$\Delta T_{\text{вх}}=0,2+0,2=0,4^{\circ}\text{C}$$

Таким чином похибка вимірювань температури на вході до апарату буде становити – $T_{\text{вх}} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$.

Б.1.2 Розрахунок похибки вимірювання температури псевдозрідженого шару

Температура $T_{\text{ш}}$ визначається приладом А 565-003-01 класу точності $r=0,15/0,05$. Гранична похибка $\Delta T_{\text{ш}}$ аналогічно п. 1.1, складається з σ_{Σ} і ΔT , що визначалась при значенні температур 80-110 $^{\circ}\text{C}$ [1]:

$$\Delta T_{\text{ш}} = \sigma_{\Sigma} + \Delta T,$$

де відповідно $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{прил}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2}$, а $\sigma'_{\text{прил}}$ при $T'_{\text{ш}}=110^{\circ}\text{C}$ розраховується по формулі (Б.3) [1]:

$$\sigma_{\text{прил}} = \frac{1}{3} \left(\frac{0,15 - 0,05}{100} \cdot T_{\text{ш}} + \frac{0,05}{100} \cdot T_{\text{к}} \right) =$$

$$= \pm \frac{1}{3} \left(\frac{0,15 - 0,05}{100} \cdot 110 + \frac{0,05}{100} \cdot 800 \right) = 0,167^{\circ} \text{C} \approx 0,2^{\circ} \text{C}$$

і похибка зчитування $\sigma_{\text{окр}}$ розраховується за виразом [1]:

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{\delta}{\sqrt{12}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}} = 0,029^{\circ} \text{C},$$

де $\delta=0,1^{\circ}\text{C}$;

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{0,2^2 + 0,029^2} = 0,2^{\circ} \text{C}$$

$\Delta T=0,1^{\circ}\text{C}$ - гранична похибка термомпари (визначена при таруванні).

Тоді, гранична похибка виміру температури і псевдозрідженому шарі [1]:

$$\Delta T_{\text{ш}}=0,2+0,1=0,3^{\circ}\text{C},$$

а похибка вимірювання температури псевдозрідженого шару дорівнює – $T_{\text{ш}} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$

Б.1.3 Розрахунок похибки вимірювання гідравлічного опору псевдозрідженого шару

Б.1.3.1 Перепад тиску на псевдозрідженому шарі $\Delta P_{\text{ш}}$, вимірювали за допомогою U-подібного водяного дифманометра

Гранична похибка вимірювання складається з похибок вимірювань Δh і похибок приладу $\sigma_{\text{прил}}$ [1]:

$$\Delta P = h \cdot g; \quad (\text{Б.4})$$

де h – різниця рівнів рідини в трубках дифманометра, мм. воИ. ст., яка визначається [1]:

$$h = H_1 - H_2 \quad (\text{Б.5})$$

Тоді похибка вимірювання різниці рівнів [1]:

$$\Delta h = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (\text{Б.6})$$

де ΔH_1 , ΔH_2 – похибка вимірювань висоти стовпчика рідини в трубках дифманометра, в мм.вод.ст. і визначається за виразом [1]:

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 = \frac{1}{2} \cdot \delta = \frac{1}{2} \cdot 1 = 0,5 \text{ мм}$$

де $\delta = 1 \text{ мм}$ – ціна поділки шкали дифманометра.

Виконавши підстановку значень ΔH_1 і ΔH_2 у формулу (Б.6) одержуємо числове значення Δh [1]:

$$\Delta h = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ мм}$$

Б.1.3.2 На граничну похибку приладу може впливати і зміна густини води в трубках манометру при зміні температури навколишнього середовища

Так, при максимальній температурі довкілля $t = 30^\circ\text{C}$ густина води $\rho = 996 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Для різниці рівнів в трубках дифманометра $h = 220 \text{ мм}$ похибка розраховується за виразом [1]:

$$\sigma_{\text{прил}} = h \frac{\rho_0 - \rho_t}{\rho_0} = 220 \cdot \frac{1000 - 996}{1000} = 0,9 \text{ мм}$$

Тоді, гранична похибка вимірювань приладу тиску на псевдозрідженому шарі становить [1]:

$$\Delta(\Delta P_{\text{ш}}) = \sqrt{\sigma_{\text{прил}}^2 + \Delta h^2} \cdot g = \sqrt{0,9^2 + 1^2} \cdot 9,81 = 13,2 = 13 \text{ Па},$$

де $g=9,81 \frac{M}{c^2}$ прискорення сили тяжіння.

Таким чином, вимірювання гідравлічного опору псевдозрідженого шару в Па дорівнює $\Delta P_{ш}=13\text{Па}$.

Б.1.4 Розрахунок похибки вимірювання маси гранульованого продукту, який вивантажується з гранулятора

Гранична похибка визначення маси гранул складається з похибки терезів – $\sigma_{\text{прил}}$ і похибки зчитування показань – $\sigma_{\text{окр}}$ [1]:

$$\Delta G_{\text{гр}} = \sqrt{\sigma_{\text{прил}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2}, \quad (\text{Б.7})$$

де похибка терезів розраховується за формулою [15]:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{прил}} &= \frac{\Delta}{3} \\ \Delta &= \frac{1}{2} \delta \\ \sigma_{\text{прил}} &= \frac{\delta}{2 \cdot 3} = \frac{0,005}{6} = 0,0008\text{кг} \end{aligned} \quad (\text{Б.8})$$

де $\delta=0,005\text{кг}$ – ціна поділок шкали терезів;

а похибка зчитувань дорівнює [1]:

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{\delta}{\sqrt{12}} = \frac{0,005}{\sqrt{12}} = 0,0014\text{кг} \quad (\text{Б.9})$$

де $\delta=0,005\text{кг}$ – ціна поділки шкали терезів.

Виконавши підстановку значень одержаних у виразах (Б.8) і (Б.9) до формули (Б.7) одержимо числове значення граничної похибки терезів [1]:

$$\Delta G_{\text{гр}} = \sqrt{0,0008^2 + 0,0014^2} = 0,0016 \text{ кг}$$

тобто значення граничної похибки дорівнює [1]:

$$\Delta G_{\text{гр}} = \pm 0,002 \text{ кг}$$

Якщо прийняти, що середня величина маси гранул при вивантаженні складає 0,5 кг, то гранична відносна похибка визначиться [1]:

$$\delta_G = \frac{\Delta G_{\text{гр}}}{|G_{\text{гр}}|} \cdot 100\% = \frac{0,002}{0,5} \cdot 100 = 0,4\%$$

Б.1.5 Розрахунок похибки визначення дисперсного складу частинок у псевдозрідженому шарі

Б.1.5.1 Масові відсотки окремих фракцій X_i визначається за виразом [1]:

$$X_i = \frac{M_i \cdot 100}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad (\text{Б.10})$$

де M_i – маса окремої фракції яка має розміри частинок $d_{j-1} < d_i < d_j$;

а d_{j-1}, d_j – розміри отворів сит, що визначають інтервал розмірів частин i -тої фракції.

Б.1.5.2 Маса окремої фракції M_i визначається на терезах з точністю $\delta = \pm 0,001$ кг, тоді гранична похибка визначення маси зразка окремої фракції розраховується за формулою [1]:

$$\Delta M_i = \frac{\delta}{2} = \frac{0,001}{2} = 0,0005 \text{ кг} \quad (\text{Б.11})$$

Б.1.5.3 Число сит згідно методики дорівнює 7 з відповідними розмірами їх отворів (d_j) мм: 5,0; 3,5; 3,0; 2,0; 1,2; 1,0; 0,5 мм. Приймаємо відхилення розмірів сит від номінального рівним допуску на отвори по 8 квалітету точності в системі отворів. Тоді гранична похибка розмірів

отворів цих сит для діаметрів 5 і 3,5мм становить $\Delta d_1 = \Delta d_2 = 0,018\text{мм}$, а для інших сит: $\Delta d_3 = \Delta d_4 \dots = \Delta d_7 = 0,014\text{мм}$.

Б.1.5.4 Згідно методики маса зразка, для ситового аналізу дорівнює 0,1кг, тобто:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0,1 \text{ кг} \quad (\text{Б.12})$$

Виконавши підстановку (Б.12) до виразу (Б.10) одержимо вираз для розрахунку масового відсотка і-тої фракції і X_i [1]:

$$X_i = \frac{M_i \cdot 100}{0,1} = M_i \cdot 1000$$

Із досліду маємо, що до 1% від маси окремої фракції становлять частинки, які застряли в отворах сит, і не пройшли отвори сита по випадковій причині.

Таким чином гранична похибка визначення масового відсотка і-тої фракції розраховується за виразом [1]:

$$\Delta X_i = \Delta M_i \cdot 1000 + 0,01 X_i = 0,5 + 0,01 X_i$$

$$\Delta X_i = 0,5 + 0,01 X_i (\%)$$

Звідси випливає, що гранична абсолютна похибка визначення процентного вмісту буде для найбільшої фракції, тобто коли вміст фракції становить 80% [1]:

$$\Delta X_i = 0,5 + 0,01 \cdot 80 = 1,3\%$$

Б.1.6 Визначення похибки об'ємних витрат робочого розчину

Б.1.6.1 Гранична похибка різниці рівнів в ємності робочого розчину

ΔL дорівнює: [1]

$$\Delta L = \Delta L_i + \Delta L_{i+1} \quad (\text{Б.13})$$

де ΔL_i – похибка одного вимірювання об'єму робочого розчину в ємності, яка визначається за виразом [1]:

$$\Delta L_i = \frac{\delta}{2} = \frac{0,05}{2} = 0,025 \text{ л} \quad (\text{Б.14})$$

де $\delta=0,05$ л – ціна поділки шкали вимірювання рівня в ємності робочого розчину.

Приймаємо $\Delta L_i = \Delta L_{i-1}$,

Виконавши підстановку (Б.14) до (Б.13) одержимо числове значення граничної похибки при визначенні двох рівнів робочого розчину в ємності в заданому інтервалі часу [1]:

$$\Delta L = 0,025 + 0,025 = 0,05 \text{ л}$$

Тоді гранична відносна похибка, при мінімальній витраті $L_i=1,5$ л становить [1]:

$$\delta(L_3) = \frac{\Delta L \cdot 100}{L_i} = \frac{0,05 \cdot 100}{1,5} = 3,3\%$$

Б.2 Розрахунок похибок похідних величин

Б.2.1 Розрахунок похибки визначення маси зернистого матеріалу у псевдозрідженому шарі

Маса зернистого матеріалу визначалась за формулою [1]:

$$M_{\text{ш}} = \frac{\Delta P_{\text{ш}} \cdot F_a}{g}, \quad (\text{Б.15})$$

де $\Delta P_{\text{ш}}$ – перепад тиску на шарі має граничну похибку $\Delta(\Delta P_{\text{ш}}) = 13$

Па; $F_a = a \times b$ – площа перерізу апарату в зоні газорозподільного пристрою, m^2

де : $a = 290 \pm 1$ мм – довжина апарату; $b = 110 \pm 1$ мм – ширина апарату; $g = 9.81 \frac{M}{c^2}$ – прискорення сили земного тяжіння.

Відносна гранична похибка маси гранул у псевдозрідженому шарі визначається за виразом [1]:

$$\delta(M_{ш}) = \delta(\Delta P_{ш}) + \delta(F_a) + \delta(g), \quad (B.16)$$

де $\delta(\Delta P_{ш})$ - відносна гранична похибка гідравлічного опору псевдозрідженого шару при $\Delta(\Delta P_{ш})=13$ Па (п 1.3.2) і найменшому значенні $\Delta P_{ш}=2000$ Па, при якому проводились досліді [1]:

$$\delta(\Delta P_{ш}) = \frac{\Delta(\Delta P_{ш})}{|\Delta P_{ш}|} = \frac{13}{2000} \cdot 100 = 0,65 \%$$

відносна гранична похибка площі перерізу апарата визначається за виразом [1]:

$$\delta(F_a) = \delta(a) + \delta(b), \quad (B.17)$$

де $\delta(a) = \frac{\Delta a}{a} = \frac{1}{290} \cdot 100 = 0,3 \%$ – відносна похибка довжини перерізу апарату; $\delta(b) = \frac{\Delta b}{b} = \frac{1}{110} \cdot 100 = 0,9 \%$ – відносна похибка ширини перерізу апарату.

Тоді відносна похибка площі перерізу апарату дорівнює [1]:

$$\delta(F_a) = 0,3 + 0,9 = 1,2 \%$$

Відносна гранична похибка величини прискорення сили земного тяжіння $\delta(g)$ визначається за формулою [1]:

$$\delta(g) = \frac{\Delta g}{g} = \frac{0,005}{9,81} \cdot 100 = 0,05 \%$$

де $\Delta g = 0,005 \text{ м/с}^2$ – абсолютна гранична похибка прискорення, що визначається як половина одиниці десяткового розряду, що відповідає останній достовірній цифрі значення прискорення – $g = 9.81 \text{ м/с}^2$.

Виконавши підстановку одержаних значень відносних похибок у виразі Б.16, одержимо числове значення відносної граничної похибки визначення маси гранул у апараті:

$$\delta(M_{\text{ш}}) = 0,65 + 1,2 + 0,05 = 1,9 \%$$

Гранична похибка маси гранул в шарі при масі $M_{\text{ш}} = 10 \text{ кг}$, буде розраховуватись за виразом [1]:

$$\Delta M_{\text{ш}} = \frac{\delta(M_{\text{ш}})}{100} \cdot |M_{\text{ш}}| = \frac{1,9}{100} \cdot 10 = 0,19 \text{ кг.}$$

Б.2.2 Розрахунок похибки визначення еквівалентного діаметра частинок у псевдозрідженому шарі

Еквівалентний діаметр гранул визначають за формулою [1]:

$$D_e = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}, \quad (\text{Б.18})$$

де $n = 6$ – кількість стандартних сит при проведенні ситового аналізу; x_i – масовий відсоток i -тої фракції; d_i – середньо-геометричний розмір гранул фракції [1]:

$$d_i = \sqrt{d_{j-1} \cdot d_j}$$

де d_{j-1} , d_j – діаметр сусідніх сит, які визначають діапазон розмірів i -ої фракцію, мм. Розміри отворів сит і допуски на них наведені в п.1.5.3.

Похибка середнього діаметра гранул фракції Δd_i визначається за виразом [1]:

$$\begin{aligned} \Delta d_i &= \Delta \sqrt{d_{j-1} \cdot d_j} = \delta(\sqrt{d_{j-1} \cdot d_j}) \cdot d_i = \\ &= \frac{\delta(d_{j-1}) + \delta(d_j)}{2} \cdot d_i = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta d_{j-1}}{d_{j-1}} + \frac{\Delta d_j}{d_j} \right) \cdot d_i. \end{aligned} \quad (\text{Б.19})$$

Для зменшення об'ємів обчислень приймемо, що граничні похибки розмірів отворів всіх сит рівні. Тоді допуск для сита з максимальними отворами ($d_1=5$ мм) – $\Delta d_1=\Delta d_2=\dots=\Delta d_7 = Td_1 = 0.018$ мм. Тоді, гранична похибка розраховується за виразом [1]:

$$\begin{aligned} \Delta d_i &= \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta d_{j-1}}{d_{j-1}} + \frac{\Delta d_j}{d_j} \right) \cdot d_i = \frac{1}{2} \left(\frac{Td_1}{d_{j-1}} + \frac{Td_1}{d_j} \right) \cdot d_i = \frac{Td_1}{2} \left(\frac{1}{d_{j-1}} + \frac{1}{d_j} \right) \cdot d_i = \\ &= \frac{0,018}{2} \left(\frac{1}{d_{j-1}} + \frac{1}{d_j} \right) \cdot d_i = 0,009 \cdot \left(\frac{1}{d_{j-1}} + \frac{1}{d_j} \right) \cdot d_i \end{aligned} \quad (\text{Б.20})$$

де X_i – масовий відсоток i – тої фракції, який має граничну похибку розраховану в п.1.5.4 [1]:

$$\Delta x_i = 0.5 + 0.01X_i$$

Гранична похибка еквівалентного діаметра гранул D_e розраховується за виразом [1]:

$$\begin{aligned} \Delta D_e &= \Delta \left(\frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \right) = \delta \cdot \left(\frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \right) \left(\frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \right) = \\ &= \delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \right) \left(\frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \right) = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \right) \frac{D_e^2}{100} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta x_i}{x_i} + \frac{\Delta d_i}{d_i} \right) \frac{x_i}{d_i} \frac{D_e^2}{100}. \end{aligned} \quad (\text{Б.21})$$

Після підстановки величин ΔX_i і Δd_i отримаємо [1]:

$$\Delta D_e = \sum_{i=1}^n \left(\frac{0,5 + 0,01x_i}{x_i} + \frac{0,009}{d_{j-1}} + \frac{0,009}{d_j} \right) \frac{x_i}{d_i} \frac{D_e^2}{100}. \quad (\text{Б.22})$$

Відносна гранична похибка еквівалентного діаметру гранул [1]:

$$\delta(D_e) = \frac{\Delta D_e}{D_e} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{0,5 + 0,01x_i}{x_i} + \frac{0,009}{d_{j-1}} + \frac{0,009}{d_j} \right) \frac{x_i}{d_i} \frac{D_e}{100}. \quad (\text{Б.23})$$

Розрахунки в різних дослідах показали, що ця похибка не перевищує 6% [1]:

$$(\delta(D_e) < 6\%).$$

Б.2.3 Розрахунок похибки визначення загальної площі поверхні частинок у псевдозрідженому шарі

Загальна площа поверхні частинок у псевдозрідженому шарі визначається за формулою [1]:

$$f_{\text{ш}} = \frac{6 \cdot M_{\text{ш}}}{D_e \rho_0}, \quad (\text{Б.24})$$

де $M_{\text{ш}}$ – маса гранул в апараті, кг; D_e – еквівалентний діаметр частинок у апараті, м; ρ_0 – густина частинок, кг/м³.

Гранична похибка визначення загальної поверхні частинок у псевдозрідженому шарі визначиться за виразом [1]:

$$\Delta f_{\text{ш}} = \delta(f_{\text{ш}}) \cdot |f_{\text{ш}}|;$$

де $d(f_a)$ – гранична відносна похибка, яка визначається [1]:

$$\Delta f_{\text{ш}} = \delta(M_{\text{ш}}) + \delta(D_e) + \delta(\rho_0) = \frac{\Delta M_{\text{ш}}}{|M_{\text{ш}}|} + \frac{\Delta D_e}{|D_e|} + \frac{\Delta \rho_0}{|\rho_0|} \quad (\text{Б.25})$$

Величина абсолютної граничної похибки густини гранул

визначається половиною одиниці десяткового розряду, що відповідає останній вірній цифрі значення густини гранул – $\rho_0 = 1286 \text{ кг/м}^3$ [1]:

$$\Delta(\rho_0) = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ кг/м}^3$$

Відносна гранична похибка [1]:

$$\delta(\rho_0) = \frac{0,5}{\rho_0} = \frac{0,5}{1286} \cdot 100 = 0,04 \%$$

Відносні граничні похибки, визначені за формулами (Б.16 і Б.23) становлять [1]:

$$\delta(M_{\text{ш}}) = 1,8\%, \text{ а } \delta(D_e) = 6 \%$$

$$\delta(f_{\text{ш}}) = 1,8 + 6 + 0,04 = 7,8\%$$

Чисельне значення граничної похибки визначення загальної поверхні частинок у псевдозрідженому шарі при найбільшому значенні $f_{\text{ш}} = 30 \text{ м}^2$ становить [1]:

$$\Delta f_{\text{ш}} = \delta(f_{\text{ш}}) \cdot f_{\text{ш}} = 7,8/100 \cdot 30 = 2,4 \text{ м}^2$$

Б.2.4 Розрахунок похибки маси солі , що надходить до гранулятора з робочим розчином

Маса солі в розчині, що надходить до апарату, визначається формулою [1]:

$$G_M = L_3 \cdot \rho \cdot c, \quad (\text{Б.26})$$

де L_3 – об'єм розчину, має відносну граничну похибку $\delta(L_3) = 3,3\%$ розраховану в п. 1.6; $\rho = 1228 \text{ кг/м}^3$ - густина розчину.

Граничні похибки густини розчину визначаємо аналогічно п. 2.3

для густини гранул, тоді [1]: абсолютна похибка – $\Delta\rho=0,5 \text{ кг/м}^3$, а

$$\text{відносна похибка} - \delta(\rho) = \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{0,5}{1228} \cdot 100 = 0,04\%$$

де c – масова концентрація сульфату амонію в розчині розраховується за виразом [1]:

$$c = \frac{M_c}{M_c + M_B}, \quad (\text{Б.27})$$

де M_c , M_B – відповідно маса солі і маса води, які знаходяться в робочому розчині, кг.

Наприклад, при приготуванні розчину $M_c = 16 \text{ кг}$, гранична похибка зважування солі $\Delta M_c = 0,01 \text{ кг}$, тоді відносна гранична похибка дорівнює [1]:

$$\delta(M_c) = \frac{\Delta M_c}{M_c} \cdot 100 = \frac{0,01}{16} = 0,06\%$$

В цьому прикладі маса води – $M_B = 24 \text{ кг}$, гранична похибка зважування води $\Delta M_B = 0,05 \text{ кг}$, а відносна гранична похибка зважування води [1]:

$$\delta(M_B) = \Delta M_B / M_B \cdot 100 = 0,05 / 24 \cdot 100 = 0,21\%$$

Тоді, числове значення відносної граничної похибки концентрації робочого розчину розраховується [1]:

$$\delta(c) = \delta(M_c) + \delta(M_B) = 0,06 + 0,06 + 0,21 = 0,33\%,$$

а чисельне значення відносної граничної похибки маси солі, що надходить до апарату згідно (Б.26) дорівнює [1]:

$$\delta(G_M) = \delta(L_3) + \delta(\rho) + \delta(c) = 3,3 + 0,04 + 0,33 = 3,67\%.$$

(Б.28)

Тоді, гранична похибка визначення маси солі для найбільшої подачі розчину $G_M=3$ кг/год становить [1]:

$$\Delta G_M = \delta(G_M) / 100 \cdot G_M = 3,67 / 100 \cdot 3 = 0,1 \text{ кг/год.}$$

Б.2.5 Розрахунок похибки визначення константи вивантаження

Коефіцієнт вивантаження розраховується за виразом [1]:

$$K = \frac{G_M}{M_{ш}}, \quad (\text{Б.29})$$

де G_M – маса солі яка подається в апарат, кг/год; $M_{ш}$ – маса шару, кг.

Гранична похибка коефіцієнта вивантаження розраховується за виразом [1]:

$$\begin{aligned} \Delta K &= \delta(K) \cdot K = \delta\left(\frac{G_M}{M_{ш}}\right) \cdot K = [\delta(\sigma_M) / 100 + (\delta M_{ш}) / 100] \cdot K = \\ &= [3,67 / 100 + 1,9 / 100] \cdot K = 0,0557 \cdot K \end{aligned}$$

де $\delta(G_M)=3,67\%$ з виразу (Б,28), а $\delta(M_{ш})=1,9\%$ із (И.16).

Б.2.6 Розрахунок похибки визначення коефіцієнта ефективності гранулоутворення

Коефіцієнт гранулоутворення розраховується за виразом [1]:

$$\Psi = \frac{G_{гр}}{G_M}, \quad (\text{Б.30})$$

де $G_{гр}$ – продуктивність апарату по гранульованому продукту, кг/год; G_M – маса солі, що надходить до гранулятора з робочим розчином, кг/год.

Гранична похибка коефіцієнта гранулоутворення визначається за виразом [1]:

$$\begin{aligned}\Delta\psi &= \delta(\psi) \cdot |\psi| = [\delta(G_{гр})/100 + \delta(\sigma_m)/100] \cdot \psi = \\ &= \left(\frac{4}{100} + \frac{3,7}{100} \right) \cdot \psi = 0,08\psi\end{aligned}\quad (\text{Б.31})$$

де $\delta(G_{гр})=4\%$ – відносна гранична похибка визначення продуктивності п. 1.4; $\delta(G_m)=3,67\%$ визначається за виразом (Б.28).

Тоді, для найбільшого $\psi =98\%$ абсолютна гранична похибка коефіцієнта гранулоутворення становить [1]:

$$\Delta\psi = \delta(\psi) \cdot \psi = 0,08 \cdot 98 = 7,8\%.$$

Б.2.7 Розрахунок похибки питомого зрошення поверхні частинок у псевдозрідженому шарі за вологою

Питоме зрошення загальної поверхні шару за вологою визначалось за формулою [1]:

$$a_f = \frac{W}{f_{ш}} = \frac{L_3 \cdot \rho(1 - c/100)}{f_{ш}}, \quad (\text{Б.32})$$

де W – кількість води, що поступає в апарат разом з розчином, кг/год;

L_3 – об'єм розчину, м³/год; ρ – густина розчину, кг/м³; c – концентрація розчину, %; $f_{ш}$ – поверхня гранул шару, м².

Тоді, абсолютну граничну похибку параметра a_f визначають [1]:

$$\Delta a_f = \delta(a_f) \cdot |a_f|,$$

де $\delta(a_f) = \delta(L_3) + \delta(\rho) + \delta(f_{ш}) + \delta(c) = 3,3 + 0,04 + 7,8 + 0,3 = 11,4\%$ – відносна гранична похибка визначення параметра a_f ; $\delta(L_3)$, $\delta(\rho)$, $\delta(f_{ш})$, $\delta(c)$ – відносні граничні похибки взяті відповідно з виразів.

Чисельне значення абсолютної граничної похибки визначення a_f при максимальному зрошенні $a_f=0,35 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$ становить [1]:

$$\Delta a_f = \delta(a_f) \cdot |a_f| = \frac{11,4}{100} \cdot 0,35 = 0,04 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}.$$

ДОДАТОК В1

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ
ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ**

Таблиця В.1 – Розрахунок коефіцієнта гідравлічного опору ГРП

ΔP_d , мм.вод.ст.	ΔP_d , Па	ΔP_p , мм.вод.ст.	ΔP_p , Па	сек	год	A	ξ
0	0	0	0	0	0	0	0
119	1167,03	54	529,20	0,029	103,72	261,35	2,025
129	1265,10	57	558,60	0,030	107,99	269,95	2,069
137	1343,56	60	588,00	0,031	111,29	289,83	2,029
145	1422,02	65	637,00	0,032	114,49	315,72	2,018
159	1559,31	70	686,00	0,033	119,89	340,76	2,013
170	1667,19	74	725,20	0,034	123,97	360,22	2,013
179	1755,45	78	764,40	0,035	127,21	376,96	2,028
185	1814,30	83	813,40	0,036	129,32	405,12	2,008
195	1912,37	88	862,40	0,037	132,77	425,72	2,026
218	2137,93	95	931,00	0,039	140,38	465,50	2,000
232	2275,22	103	1009,40	0,040	144,82	501,55	2,013
247	2422,33	108	1058,40	0,042	149,43	525,45	2,014
272	2667,50	120	1176,00	0,044	156,81	585,95	2,007
280	2745,96	124	1215,20	0,044	159,10	599,83	2,026
292	2863,64	125	1225,00	0,045	162,47	610,15	2,008
310	3040,17	127	1244,60	0,047	167,41	616,63	2,018
320	3138,24	130	1274,00	0,047	170,08	630,23	2,021

ДОДАТОК В2

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ АЗОТНО-
ГУМІНОВИХ БАГАТОШАРОВИХ ТВЕРДИХ КОМПЗИТИВ**

Таблиця В2.1 – Результати експериментальних досліджень динаміки процесів гранулоутворення азотно-гумінових багат шарових твердих композитів

Час												Розч.	Розч.	Розч.	Сухі реч.	Виванг	Ситовий аналіз (маса фракції):d _i - діаметр отворів сита							
t	T _{вх}	T _ш	ΔT	ΔРш.поч.	ΔРш.кінц.	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	Лпоч.	Лкінц.	ΔL	G	Gгран	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	
год	°C	°C	°C	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	Па	Па	Па	кг	кг	кг	кг/20хв	кг/20хв	г	г	г	г	г	г	г	
0,00	170	99	71	200	200	200,0	80	100	1962	785	981	14,30	12,27	2,03	0,812	0,513	0,0	0,0	1,4	97,2	13,6	0,6	112,8	
0,33	210	96	114	200	205	202,5	82	92	1987	804	903	12,27	9,27	3,00	1,2	0,925	0,0	0,0	4,8	112,0	13,0	0,2	130,0	
0,66	240	96	144	200	200	200,0	76	93	1962	746	912	9,27	5,44	3,83	1,532	1,305	0,0	0,0	8,4	89,6	5,6	0,0	103,6	
1,00	240	97	143	200	205	202,5	60	106	1987	589	1040	5,44	1,90	3,54	1,416	1,300	0,0	0,0	26,2	72,0	2,6	0,0	100,8	
1,33	240	97	143	200	205	202,5	54	107	1987	530	1050	15,18	11,13	4,05	1,62	1,500	0,0	0,0	38,4	60,2	1,4	0,0	100,0	
1,66	235	96	139	200	210	205,0	61	133	2011	598	1305	12,20	8,10	4,10	1,64	1,638	0,0	0,5	38,1	61,2	1,2	0,0	101,0	
2,00	245	94	151	200	210	205,0	58	125	2011	569	1226	8,10	5,50	2,60	1,04	1,019	0,0	1,0	59,2	40,8	0,0	0,0	101,0	
2,33	240	97	143	200	205	202,5	60	140	1987	589	1373	5,50	3,63	1,88	0,75	0,677	0,0	13,6	77,2	17,6	0,0	0,0	108,4	
2,33	140	94	46	190	205	197,5	62	120	1937	608	1177	15,28	13,70	1,58	0,632	0,120	0,0	0,0	48,8	46,6	6,0	0,0	101,4	
2,66	180	120	86	190	210	200,0	70	130	1962	687	1275	13,70	10,82	2,88	1,152	0,937	0,0	1,4	42,6	49,6	5,8	0,0	99,4	
3,00	180	94	86	190	220	205,0	70	136	2011	687	1334	10,82	7,00	3,82	1,528	1,458	0,0	3,8	38,8	49,6	9,0	0,0	101,2	
3,33	204	110	108	190	225	207,5	60	110	2036	589	1079	7,00	2,95	4,05	1,62	1,549	0,0	6,2	45,2	41,4	7,0	0,0	99,8	
3,66	220	120	122	190	220	205,0	60	110	2011	589	1079	14,30	10,85	3,45	1,38	1,291	0,0	2,4	25,4	57,4	19,2	0,0	104,4	
4,00	190	96	94	190	220	205,0	60	120	2011	589	1177	10,85	7,70	3,15	1,26	1,183	0,0	4,8	28,2	50,2	17,8	0,0	101,0	
4,33	205	97	108	190	210	200,0	58	125	1962	569	1226	9,00	5,37	3,63	1,452	1,382	0,0	3,6	22,2	52,6	22,6	0,0	101,0	

Продовження таблиці В2.1

Ситовий аналіз, %: Хі - доля фракції ді							Серед діам і-ої фрак							Шар	тепл.	вязк.				Крит.	Витр. пов.	Роб.	I-I	II-II	III-III
5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	D5	D4	D3	D2	D1	D0,5	De	Мш	ρтепл	ν	Аг	Аг*φ	Рекр	Wкр	V	Wр	Wр(I-I)	Wр(II-II)	Wр(III-III)
%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг	кг/м3	м2/с				м/с	мм3/с	м/с	м/с	м/с	м/с
0,0	0,0	1,2	86,2	12,1	0,5	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,20	7,70	0,949	2,311E-05	303701	261183	64,04	0,674	0,0264	1,169	2,51	1,79	1,381
0,0	0,0	3,6	86,2	10,0	0,2	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	22,28	7,80	0,957	2,279E-05	345816	297402	69,85	0,698	0,0253	1,112	2,39	1,71	1,314
0,0	0,0	8,1	86,5	5,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,41	7,70	0,957	2,279E-05	409310	352007	78,07	0,738	0,0254	1,118	2,40	1,72	1,321
0,0	0,0	26,0	71,0	3,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,59	7,80	0,954	2,290E-05	503740	433216	89,36	0,790	0,0272	1,197	2,57	1,84	1,414
0,0	0,0	38,4	60,2	1,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,72	7,80	0,954	2,290E-05	588993	506534	98,78	0,829	0,0273	1,202	2,59	1,85	1,420
0,0	0,5	37,7	60,6	1,2	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,73	7,89	0,957	2,279E-05	596228	512756	99,55	0,830	0,0304	1,337	2,87	2,05	1,579
0,0	1,0	58,6	40,4	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,97	7,89	0,962	2,258E-05	777570	668710	117,68	0,894	0,0295	1,289	2,77	1,98	1,523
0,0	12,5	71,2	16,3	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	3,33	7,80	0,954	2,290E-05	1073710	923391	143,58	0,987	0,0312	1,375	2,96	2,11	1,625
0,0	0,0	48,1	46,0	5,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,73	7,60	0,962	2,258E-05	591744	508900	99,07	0,824	0,02894	1,263	2,72	1,94	1,492
0,0	0,0	42,9	49,9	5,8	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,86	7,70	0,962	2,258E-05	590277	507638	98,92	0,824	0,03012	1,315	2,83	2,02	1,553
0,0	0,0	38,3	49,0	8,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,35	7,89	0,962	2,258E-05	567073	487683	96,42	0,814	0,03080	1,345	2,89	2,06	1,588
0,0	0,0	45,3	41,5	7,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,44	7,99	0,957	2,279E-05	682651	587080	108,46	0,865	0,02770	1,216	2,61	1,87	1,436
0,0	0,0	24,3	55,0	18,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,29	7,89	0,952	2,296E-05	376985	324207	73,96	0,721	0,02770	1,221	2,63	1,87	1,443
0,0	0,5	27,9	49,7	17,6	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	1,84	7,89	0,957	2,279E-05	425889	366265	80,13	0,747	0,02894	1,270	2,73	1,95	1,500
0,0	1,0	22,0	52,1	22,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,29	7,70	0,954	2,290E-05	348631	299823	70,22	0,702	0,02953	1,300	2,79	1,99	1,535
0,0	12,5	7,8	50,9	40,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	1,81	7,60	0,962	2,258E-05	184278	158479	45,44	0,558	0,03125	1,364	2,93	2,09	1,612

Продовження таблиці В2.1

Фонт.	апар.	Фонт.			внес. т.ф.	Δ маси ш.							аналіт.	фактичне	середнє						
WpФ	Kw	KwФ	fш	ΔPш/(De*g)	Mтв	ΔMш	ψ	ψсер	ψпил	af	K	Kсер	ла	ле.ф	ле.сер	β	Ω	V задіяне	f задіяне	Aff	Re
м/с			м2	Па/(мм*g)	кг/20хв	кг/20хв	%	%	%	кг/(м2*год)	(кг/год)/кг	(кг/год)/кг	мм/год	мм/год	мм/год	м2/м2		м3/с	м2/с	кг/м2	
2,181	1,74	3,24	11,07	70,1	0,812	0,812	91,0	70,1	36,8	0,32	0,3164	0,3891	0,0999	0,2962	0,2097	993,409	1145,979	0,033267	0,01816	5,58706	207,4
2,076	1,54	2,97	10,66	75,1	1,200	1,39212	88,8	75,1	22,9	0,46	0,4618	0,4583	0,1309	0,1233	0,2056	969,565	677,790	0,031651	0,016661	9,00280	207,6
2,087	1,51	2,83	10,08	84,7	1,532	1,532	82,9	84,7	14,8	0,59	0,5969	0,5345	0,1819	0,1976	0,1962	905,272	440,370	0,031823	0,015836	12,0923	220,8
2,234	1,51	2,83	9,39	89,9	1,416	1,60812	78,2	89,9	8,2	0,6	0,5449	0,5884	0,2282	0,2677	0,2243	853,428	423,370	0,034066	0,015784	11,2133	252,6
2,244	1,45	2,71	8,91	94,8	1,620	1,81212	74,2	94,8	7,4	0,62	0,6234	0,5972	0,2573	0,2078	0,1610	810,088	319,288	0,034226	0,015053	13,4518	267,4
2,495	1,61	3,01	8,90	95,8	1,640	2,02423	75,0	96,8	0,1	0,63	0,6234	0,5474	0,2414	0,0077	0,1917	818,559	357,572	0,038056	0,016706	12,2705	299,3
2,406	1,44	2,69	8,18	96,0	1,040	1,42423	68,9	98,9	2,0	0,59	0,3953	0,4358	0,2136	0,3596	0,3022	752,55	426,816	0,03669	0,014809	8,77806	316,8
2,567	1,39	2,60	7,29	93,7	0,750	0,94212	60,8	93,7	9,7	0,57	0,2886	0,3829	0,1992	0,5396	0,0068	663,142	444,234	0,039150	0,014095	6,65093	373,6
2,358	1,53	2,86	8,91	90,8	0,632	1,20835	72,8	50,2	81,0	0,56	0,2494	0,3491	0,0792	1,0718	0,5323	794,117	831,006	0,035952	0,015893	4,97063	283,4
2,454	1,60	2,98	8,50	94,9	1,152	1,92046	73,7	65,3	18,7	0,61	0,4488	0,4263	0,1258	-0,0034	0,3314	804,835	487,777	0,037420	0,01655	8,69774	294,7
2,510	1,65	3,09	10,33	94,4	1,528	2,68069	76,6	90,8	4,6	0,52	0,5808	0,5460	0,2211	-0,0540	0,0755	836,058	410,879	0,038274	0,017161	11,1294	297,5
2,269	1,41	2,63	9,95	94,2	1,620	2,96481	72,6	94,9	4,4	0,47	0,6084	0,5712	0,2583	0,2751	0,7194	791,988	295,920	0,034609	0,014523	13,9431	284,7
2,279	1,69	3,16	10,61	94,5	1,380	2,53269	87,1	94,4	6,4	0,56	0,5245	0,5373	0,1989	-0,7579	0,1163	950,353	602,067	0,034759	0,017716	9,7367	233,7
2,370	1,70	3,17	13,21	85,5	1,260	2,41269	83,9	94,2	6,1	0,47	0,4789	0,5231	0,2007	0,1336	0,2841	915,704	614,416	0,036148	0,017752	8,8719	254,1
2,426	1,85	3,46	13,41	84,6	1,452	2,22046	87,3	94,5	4,8	0,40	0,5657	0,5097	0,1840	-0,2290	0,2722	952,910	629,163	0,03699	0,019378	9,36605	242,7

Продовження таблиці В2.1

Час												Розч.	Розч.	Розч.	Сухі реч.	Вивант	Ситовий аналіз (маса фракції):dі - діаметр отворів сита							
t	Tвх	Tш	ΔT	ΔРш.поч.	ΔРш.кінц.	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	Лпоч.	Лкінц.	ΔL	G	Gгран	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	
год	°С	°С	°С	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	Па	Па	Па	кг	кг	кг	кг/20хв	кг/20хв	г	г	г	г	г	г	г	
4,33	220	97	123	200	210	205,0	62	110	2011	608	1079	9,03	5,15	3,88	1,552	1,775	0,0	0,0	4,4	77,4	35,8	0,0	117,6	
4,66	235	94	141	190	200	195,0	62	112	1913	608	1099	5,15	1,12	4,04	1,614	1,835	0,0	0,0	4,4	81,4	25,8	0,0	111,6	
5,00	225	93	132	180	220	200,0	60	112	1962	589	1099	15,37	11,90	3,47	1,388	1,254	0,0	0,0	8,6	76,2	16,2	0,0	101,0	
5,33	205	95	110	180	200	190,0	59	112	1864	579	1099	11,90	8,60	3,30	1,32	1,282	0,0	0,0	14,8	132,2	3,2	0,0	150,2	
5,66	200	115	105	180	190	185,0	59	115	1815	579	1128	8,60	5,37	3,23	1,292	1,203	0,0	0,0	8,2	77,8	21,4	0,0	107,4	
6,00	220	115	126	180	200	190,0	60	115	1864	589	1128	5,37	1,90	3,47	1,388	1,266	0,0	0,0	13,0	55,6	38,8	0,0	107,4	
6,33	220	94	126	180	190	185,0	60	115	1815	589	1128	16,40	13,12	3,28	1,312	1,239	0,0	0,0	12,4	82,2	17,6	0,0	112,2	
6,66	220	94	126	180	190	185,0	60	115	1815	589	1128	13,12	9,18	3,95	1,578	1,538	0,0	0,0	13,0	67,8	13,2	0,0	94,0	
7,00	240	96	144	180	190	185,0	60	115	1815	589	1128	9,18	4,87	4,31	1,722	1,665	0,0	0,0	8,6	77,2	14,0	0,0	99,8	
7,33	235	102	133	180	190	185,0	70	120	1815	687	1177	4,87	1,75	3,12	1,248	1,228	0,0	0,0	2,8	77,6	19,0	0,0	99,4	
7,66	190	91	99	180	190	185,0	70	120	1815	687	1177	15,52	12,80	2,72	1,088	1,335	0,0	0,0	5,6	84,4	14,4	0,0	104,4	
8,00	190	91	99	170	180	175,0	84	130	1717	824	1275	12,80	10,20	2,60	1,04	1,02	0,0	0,0	4,6	75,6	18,2	0,0	98,4	
8,33	190	92	98	170	180	175,0	80	130	1717	785	1275	10,20	7,62	2,59	1,034	0,965	0,0	0,0	4,2	85,8	12,2	0,0	102,2	
8,66	190	92	98	170	180	175,0	80	130	1717	785	1275	7,62	4,98	2,64	1,056	1,04	0,0	0,0	7,2	87,2	7,4	0,0	101,8	
9,00	190	92	98	170	180	175,0	80	130	1717	785	1275	6,05	3,43	2,62	1,048	0,931	0,0	0,0	8,2	85,0	5,8	0,0	99,0	
9,33	190	92	98	170	180	175,0	80	130	1717	785	1275	3,43	1,68	1,76	0,702	0,689	0,0	0,0	12,4	82,8	4,0	0,0	99,2	
9,66	129	91	38	170		85,0	80	130	834	785	1275	1,68		1,68	0,672		0,0	0,0	17,0	80,2	3,0	0,0	100,2	

Продовження таблиці В2.1

Ситовий аналіз, %: X _i - доля фракції ді							Серед діам і-ої фрак							Шар	тепл.	вязк.				Крит.	Витр. пов.	Роб.	I-I	II-II	III-III
5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	D5	D4	D3	D2	D1	D0,5	De	Мш	ρтепл	ν	Ag	Ag*φ	Рекр	Wкр	V	Wр	Wр(I-I)	Wр(II-II)	Wр(III-III)
%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг	кг/м3	м2/с				м/с	нм3/с	м/с	м/с	м/с	м/с
0,0	0,0	3,7	65,8	30,4	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,021	7,89	0,954	2,290E-05	239455	205931	54,49	0,617	0,027	1,219	2,62	1,876	1,440
0,0	0,0	3,9	72,9	23,1	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,116	7,51	0,962	2,258E-05	280217	240986	60,65	0,647	0,027	1,220	2,62	1,877	1,442
0,0	0,0	8,5	75,4	16,0	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,242	7,70	0,964	2,248E-05	335698	288700	68,48	0,686	0,027	1,217	2,62	1,872	1,438
0,0	0,0	9,9	88,0	2,1	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,482	7,32	0,959	2,269E-05	449539	386604	83,01	0,759	0,027	1,223	2,63	1,882	1,445
0,0	0,0	7,6	72,4	19,9	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,180	7,12	0,959	2,269E-05	304543	261907	64,16	0,668	0,028	1,240	2,67	1,907	1,465
0,0	0,0	12,1	51,8	36,1	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	1,993	7,32	0,962	2,258E-05	234208	201419	53,67	0,608	0,028	1,236	2,66	1,902	1,461
0,0	0,0	11,1	73,3	15,7	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,263	7,12	0,962	2,258E-05	342794	294803	69,44	0,693	0,028	1,236	2,66	1,902	1,461
0,0	0,0	13,8	72,1	14,0	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,306	7,12	0,962	2,258E-05	362693	311916	72,09	0,706	0,028	1,236	2,66	1,902	1,461
0,0	0,0	8,6	77,4	14,0	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,273	7,12	0,957	2,279E-05	342997	294977	69,47	0,697	0,028	1,243	2,67	1,912	1,469
0,0	0,0	2,8	78,1	19,1	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,164	7,12	0,941	2,343E-05	284665	244812	61,30	0,664	0,028	1,291	2,78	1,985	1,525
0,0	0,0	5,4	80,8	13,8	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,257	7,12	0,970	2,226E-05	347109	298514	70,02	0,691	0,028	1,253	2,69	1,927	1,480
0,0	0,0	4,7	76,8	18,5	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,184	6,74	0,970	2,226E-05	314362	270352	65,54	0,668	0,030	1,304	2,80	2,006	1,540
0,0	0,0	4,1	84,0	11,9	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,278	6,74	0,967	2,237E-05	354380	304767	70,99	0,697	0,030	1,307	2,81	2,011	1,545
0,0	0,0	7,1	85,7	7,3	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,372	6,74	0,967	2,237E-05	400361	344310	76,95	0,726	0,030	1,307	2,81	2,011	1,545
0,0	0,0	8,3	85,9	5,9	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,405	6,74	0,967	2,237E-05	416940	358568	79,02	0,735	0,030	1,307	2,81	2,011	1,545
0,0	0,0	12,5	83,5	4,0	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,467	6,74	0,967	2,237E-05	450189	387163	83,08	0,753	0,030	1,307	2,81	2,011	1,545
0,0	0,0	17,0	80,0	3,0	0,0	100,0	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,519	3,27	0,970	2,226E-05	482801	415209	86,94	0,768	0,030	1,304	2,80	2,006	1,540

Продовження таблиці В2.1

Фонт.	апар.	Фонт.			внес. т.ф.	Δ маси ш.							аналіт.	фактичне	середнє						
WpФ	Kw	KwФ	fш	ΔPш/(De*g)	Mтв	ΔMш	ψ	ψсер	ψпил	af	K	Kсер	ла	ле.ф	ле.сер	β	Ω	V задіяне	f задіяне	Aff	Re
м/с			м2	Па/(мм*г)	кг/20хв	кг/20хв	%	%	%	кг/(м2*год)	(кг/год)/кг	(кг/год)/кг	мм/год	мм/год	мм/год	м2/м2		м3/с	м2/с	кг/м2	
2,276	1,97	3,69	12,04	101,4	1,552	1,9362	76,0		14,4	0,60	0,5899	#####	#####	#####	#####	1107,023	847,370	0,03470	0,0206036	9,4158	200,8
2,278	1,88	3,52	11,50	92,2	1,614	1,9982	85,4	106,1	13,7	0,63	0,6450	0,5919	0,2215	0,1420	#####	1005,924	642,240	0,03473	0,0196991	10,241	213,4
2,271	1,77	3,31	10,85	89,2	1,388	2,9249	89,7	100,4	9,7	0,53	0,5408	0,5757	0,2160	0,1894	0,230604	973,602	657,930	0,03463	0,0185389	9,3587	226,6
2,284	1,61	3,01	9,80	76,5	1,320	2,0884	93,7	93,7	2,9	0,52	0,5414	0,5421	0,2102	0,3604	0,032192	835,397	463,400	0,03482	0,0168359	9,8004	249,9
2,314	1,86	3,47	11,16	84,9	1,292	1,6762	93,8	93,8	6,9	0,45	0,5442	0,5516	0,1880	-0,4533	-0,12454	926,156	670,016	0,03529	0,0194245	8,3142	222,4
2,308	2,03	3,80	12,20	95,3	1,388	2,1564	92,9	92,9	8,8	0,46	0,5692	0,5553	0,1714	-0,2808	-0,10976	1040,517	861,959	0,03519	0,021191	8,1874	203,7
2,308	1,78	3,33	12,16	81,8	1,312	1,6962	94,4	94,4	5,6	0,51	0,5526	0,5955	0,2119	0,4047	0,062813	892,324	588,491	0,03519	0,0186641	8,7869	231,3
2,308	1,75	3,27	11,08	80,2	1,578	1,9622	96,2	96,2	2,5	0,61	0,6647	0,6475	0,2394	0,0644	0,140176	875,697	462,51	0,03519	0,0183163	10,769	235,7
2,320	1,78	3,33	10,95	81,4	1,722	2,1062	97,5	97,5	3,3	0,66	0,7253	0,6385	0,2359	-0,0487	-0,04921	888,195	444,36	0,03538	0,018679	11,523	231,4
2,409	1,94	3,63	10,88	85,5	1,248	1,6322	95,1	105,9	1,6	0,48	0,5257	0,5697	0,2177	-0,1634	-0,0244	932,896	736,956	0,03673	0,0203669	7,6594	222,5
2,338	1,81	3,39	10,78	82,0	1,088	1,4722	93,5	106,4	22,7	0,42	0,4583	0,4823	0,1930	0,1389	-0,04485	894,632	465,91	0,03565	0,0189586	7,1735	237,1
2,434	1,95	3,64	10,59	80,1	1,040	1,4242	95,0	104,7	1,9	0,4	0,4631	0,4606	0,1755	-0,1100	0,056688	874,694	469,994	0,03711	0,0203954	6,3739	238,7
2,440	1,88	3,50	10,40	768	1,034	1,4182	96,6	96,6	6,7	0,39	0,4604	0,4646	0,1704	0,1412	0,05767	838,545	693,090	0,03721	0,0196062	6,5922	248,5
2,440	1,80	3,36	10,25	73,8	1,056	1,4402	93,5	93,5	1,5	0,41	0,4702	0,4658	0,1723	0,1418	0,11049	805,130	601,164	0,03721	0,0188249	7,0119	258,8
2,440	1,78	3,32	10,11	72,8	1,048	1,4322	95,2	95,2	11,2	0,41	0,4666	0,4165	0,1588	0,0485	0,094569	794,314	581,917	0,03721	0,0185721	7,0536	262,4
2,440	1,74	3,24	9,86	70,9	0,702	1,0862	84,6	62,3	1,9	0,39	0,3126	0,4651	0,1192	0,0934	0,073538	774,256	805,419	0,03721	0,0181031	4,8472	269,1
2,434	1,70	3,17	9,66	70,6	0,672	1,8599	85,3	49,1	100,0	0,38	0,6160	0,4633	#ДЕЛ/0!	0,0787	#ДЕЛ/0!	368,234	186,112	0,03711	0,0176775	4,7518	275,4

Продовження таблиці В2.1

Час												Розч.	Розч.	Розч.	Сухі реч.	Вивант	Ситовий аналіз (маса фракції):d _i - діаметр отворів сита							
t	T _{вх}	T _ш	ΔT	ΔРш.поч.	ΔРш.кінц.	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	Лпоч.	Лкінц.	ΔL	G	Gгран	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	
год	°C	°C	°C	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	Па	Па	Па	кг	кг	кг	кг/20хв	кг/20хв	г	г	г	г	г	г	г	
9,66	130	93	37	200	200	200,0	41	100	1962	402	981	15,26	12,91	2,36	0,942	0,852	0,0	0,0	2,4	67,2	30,4	0,4	100,4	
10,00	160	94	66	200	200	200,0	48	100	1962	471	981	12,91	9,25	3,67	1,466	1,340	0,0	0,0	7,6	76,6	17,0	0,2	101,4	
10,33	190	96	94	200	200	200,0	45	100	1962	441	981	9,25	5,80	3,45	1,38	1,248	0,0	0,0	18,0	72,0	10,8	0,0	100,8	
10,66	188	95	93	200	200	200,0	43	100	1962	422	981	5,80	1,88	3,92	1,568	1,399	0,0	0,0	16,0	75,2	9,0	0,0	100,2	
11,00	180	95	85	200	200	200,0	48	110	1962	471	1079	15,60	11,80	3,80	1,52	1,260	0,0	0,0	29,8	68,4	4,2	0,0	102,4	
11,33	188	94	94	200	200	200,0	55	110	1962	540	1079	11,80	8,15	3,65	1,46	1,256	0,0	0,0	37,4	63,4	2,4	0,0	103,2	
11,66	184	94	90	200	200	200,0	55	110	1962	540	1079	8,15	4,73	3,42	1,368	1,132	0,0	0,0	36,6	64,2	1,4	0,0	102,2	
12,00	190	97	93	200	200	200,0	65	130	1962	638	1275	4,73	1,65	3,08	1,232	1,084	0,0	0,0	39,2	59,0	2,4	0,0	100,6	
12,33	175	93	82	200	200	200,0	50	110	1962	491	1079	15,80	12,80	3,00	1,2	1,025	0,0	0,6	47,0	48,2	4,2	0,0	100,0	
12,66	190	94	96	200	200	200,0	55	110	1962	540	1079	12,80	9,10	3,70	1,48	1,291	0,0	2,6	48,6	53,6	3,2	0,0	108,0	
13,00	204	95	109	200	200	200,0	55	110	1962	540	1079	9,10	5,50	3,60	1,44	1,264	0,0	3,6	45,8	56,6	3,0	0,0	109,0	
13,33	190	95	95	200	200	200,0	55	110	1962	540	1079	5,50	2,48	3,02	1,208	1,097	0,0	5,6	41,8	55,4	2,0	0,0	104,8	
13,66	185	95	90	200	200	200,0	55	110	1962	540	1079	17,10	15,20	1,90	0,76	0,565	0,0	1,0	13,4	59,0	38,2	1,0	112,6	
14,00	180	94	86	200	200	200,0	55	100	1962	540	981	15,20	11,10	4,10	1,64	1,495	0,0	0,5	8,0	63,1	32,4	0,0	104,0	

Продовження таблиці В2.1

Ситовий аналіз, %: Хі - доля фракції ді							Серед діам і-ої фракції							Шар	тепл.	вязк.				Крит.	Витр. пов.	Роб.	I-I	II-II	III-III
5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	D5	D4	D3	D2	D1	D0,5	De	Мш	ρтепл	ν	Аг	Аг*φ	Рекр	Wкр	V	Wр	Wр(I-I)	Wр(II-II)	Wр(III-III)
%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг	кг/м3	м2/с				м/с	нм3/с	м/с	м/с	м/с	м/с
0,0	0,0	2,4	66,9	30,3	0,4	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	1,98	7,70	0,964	2,248E-05	230535	198260	59,02	0,671	0,0264	0,881	2,476	1,769	1,358
0,0	0,0	7,5	75,5	16,8	0,2	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,39	7,70	0,962	2,258E-05	315795	271584	72,87	0,747	0,0264	0,881	2,483	1,774	1,362
0,0	0,0	17,9	71,4	10,7	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,40	7,70	0,957	2,279E-05	397079	341488	84,68	0,809	0,0264	0,881	2,497	1,783	1,370
0,0	0,0	16,0	75,0	9,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,59	7,70	0,959	2,269E-05	408196	351048	86,21	0,814	0,0264	0,881	2,490	1,779	1,366
0,0	0,0	29,1	66,8	4,1	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,60	7,70	0,959	2,269E-05	512113	440417	99,72	0,873	0,0277	0,923	2,612	1,865	1,432
0,0	0,0	36,2	61,4	2,3	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,62	7,70	0,962	2,258E-05	575292	494751	107,35	0,901	0,0277	0,923	2,604	1,860	1,429
0,0	0,0	35,8	62,8	1,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,64	7,70	0,962	2,258E-05	586311	504228	108,64	0,907	0,0277	0,923	2,604	1,860	1,429
0,0	0,0	39,0	58,6	2,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,70	7,70	0,954	2,290E-05	578189	497243	107,69	0,909	0,0301	1,004	2,854	2,039	1,566
0,0	0,0	47,0	48,2	4,2	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,79	7,70	0,964	2,248E-05	627032	539247	113,32	0,922	0,0277	0,923	2,597	1,855	1,425
0,0	0,0	45,0	49,6	3,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,78	7,70	0,962	2,258E-05	669879	576096	118,10	0,943	0,0277	0,923	2,604	1,860	1,429
0,0	0,0	42,0	51,9	2,8	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,81	7,70	0,959	2,269E-05	669501	575771	118,05	0,945	0,0277	0,923	2,612	1,865	1,432
0,0	0,0	39,9	52,9	1,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	1,94	7,70	0,959	2,269E-05	719094	618420	123,42	0,964	0,0277	0,923	2,612	1,865	1,432
0,0	0,0	11,9	52,4	33,9	0,9	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,04	7,70	0,959	2,269E-05	182053	341488	50,19	0,584	0,0277	0,923	2,612	1,860	1,432
0,0	0,0	7,7	60,7	31,2	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,26	7,70	0,962	2,258E-05	397079	351048	72,35	0,909	0,0264	0,881	2,483	1,860	1,429

Продовження таблиці В2.1

	Фонтан.	апар.	Фонт.			внес. т.ф.	Δ маси ш.						аналіт.	факт	серед				V задіяне	f задіяне	Aff	Re
W2 виносу	Ревинос	Kw	KwФ	fш	ΔРш/(Deg)	Мтв	ΔМш	ψ	ψсер	af	К	Ксер	ла	ле.ф	ле.сер	β	Ω	Wроб				
м/с	м/с			м2	Па/(ммг)	кг/20хв	кг/20хв	%	%	кг/(м ² год)	(кг/год)/кг	(кг/гд)/кг	мм/год	мм/год	мм/год	м2/м2			м3/с	м2/с	кг/м2	
8,425	741,5	1,31	12,57	12,29	101,1	0,942	0,942	91,4	90,9	0,3557	0,3670	0,4691	0,1406	0,0002	0,167	1287,66	3571,42	0,93	0,028	0,016	6,9323	82,1
8,977	875,2	1,18	12,01	10,19	90,8	1,466	1,466	90,4	90,8	0,6162	0,5712	0,5544	0,1847	0,3355	0,204	1156,84	1770,5	0,93	0,028	0,015	12,0085	91,0
9,423	986,8	1,09	11,65	10,11	83,8	1,380	1,38	94,1	90,4	0,6288	0,5377	0,5743	0,2064	0,2779	0,212	1067,06	1552,69	0,93	0,028	0,014	12,2552	97,7
9,449	1001,1	1,08	11,61	9,38	83,2	1,568	1,568	82,9	87,5	0,7195	0,6109	0,6016	0,2109	0,0251	0,195	1059,63	1342,86	1,1	0,033	0,016	11,8978	116,5
9,860	1126,6	1,06	11,30	9,35	77,1	1,520	1,52	86,0	86,0	0,7523	0,5922	0,5805	0,2158	0,2832	0,151	982,477	1158,62	1,1	0,033	0,015	12,4393	125,7
10,050	1196,8	1,02	11,15	9,28	74,4	1,460	1,46	82,7	83,9	0,7495	0,5688	0,5509	0,2071	0,1448	0,151	947,215	1106,40	1,1	0,033	0,014	12,3931	131,0
10,086	1208,6	1,02	11,13	9,22	73,9	1,368	1,368	88,0	84,4	0,7067	0,5330	0,5065	0,1928	0,0256	0,059	941,243	1163,50	1,1	0,033	0,017	11,6859	131,8
10,134	1199,9	1,10	11,14	9,01	73,8	1,232	1,232	85,4	85,4	0,6377	0,4800	0,4738	0,1828	0,0081	0,036	939,370	1288,81	1,1	0,033	0,0148	10,5451	130,2
10,186	1251,4	1,00	11,04	8,72	72,4	1,200	1,2	87,2	86,9	0,6325	0,4675	0,5221	0,2087	0,0745	0,061	922,473	1264,66	1,1	0,033	0,014	10,4593	135,1
10,337	1295,0	0,98	10,97	8,75	70,7	1,480	1,48	87,8	86,8	0,7993	0,5766	0,5688	0,2328	0,1018	0,06	900,352	969,912	0,93	0,028	0,011	15,5769	116,9
10,361	1294,6	0,98	10,97	8,66	70,5	1,440	1,44	90,8	88,6	0,7793	0,5610	0,5158	0,2160	0,0087	0,070	898,519	992,85	0,93	0,028	0,011	15,1868	116,6
10,498	1343,4	0,96	10,89	12,53	68,9	1,208	1,208	85,8	84,3	0,6695	0,4706	0,3834	0,1564	0,1025	0,037	877,370	1120,07	0,93	0,028	0,011	13,0472	119,4
10,566	1451,4	1,58	13,03	11,94	102,7	1,200	0,76	85,0	85,4	0,2827	0,2961	0,4675	0,1828	0,0081	0,151	947,215	1158,62	0,93	0,028	0,014	12,3931	
10,637	1595,0	1,57	11,04	10,77	98,0	1,480	1,64	86,7	86,9	0,6387	0,6390	0,5299	0,2087	0,0745	0,151	941,243	1106,40	0,93	0,028	0,014	11,6859	

Таблиця В2.2 – Результати експериментальних досліджень динаміки процесів утворення азотно-кальцієво-гумінових багат шарових твердих композитів

Час																	Ситовий аналіз (маса фракції):d _i - діаметр отворів сита							
t	T _{вх}	T _ш	ΔT	ΔРш.поч.	ΔРш.кінц.	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	Лпоч.	Лкінц.	ΔL	G	Gгран	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	
год	°C	°C	°C	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	Па	Па	Па	кг	кг	кг	кг/20хв	кг/20хв	г	г	г	г	г	г	г	
0,00	160	93	67	200	200	200,0	40	85	1962	392	834	14,43	12,08	2,35	0,938	0,632	0,0	0,0	7,2	70,8	25,0	1,4	104,4	
0,33	190	93	97	200	200	200,0	40	85	1962	392	834	12,08	9,09	2,99	1,196	0,804	0,0	0,0	9,4	66,2	23,4	1,4	100,4	
0,66	200	93	107	200	200	200,0	50	85	1962	491	834	9,09	6,17	2,92	1,168	0,860	0,0	0,0	9,6	66,4	33,0	0,0	109,0	
1,00	200	93	107	200	200	200,0	45	85	1962	441	834	13,64	10,93	2,71	1,084	0,899	0,0	0,0	9,6	61,6	31,2	0,0	102,4	
1,33	195	93	102	200	200	200,0	45	85	1962	441	834	10,93	8,22	2,71	1,084	0,821	0,0	0,0	10,8	64,8	25,0	0,0	100,6	
1,66	205	93	112	200	200	200,0	40	85	1962	392	834	8,22	5,37	2,85	1,14	0,911	0,0	0,0	18,2	64,6	19,0	0,0	101,8	
2,00	210	93	117	200	200	200,0	40	85	1962	392	834	12,50	9,79	2,71	1,084	0,809	0,0	0,0	18,6	65,0	18,0	0,0	101,6	
2,33	205	94	111	200	200	200,0	37	85	1962	363	834	9,79	6,10	3,69	1,476	1,140	0,0	0,0	18,8	67,3	18,3	0,0	104,4	
2,66	200	93	107	200	200	200,0	35	85	1962	343	834	12,70	10,20	2,50	1	0,812	0,0	0,0	19,1	66,5	18,0	0,0	103,6	
3,00	205	93	112	200	200	200,0	45	85	1962	441	834	10,20	7,40	2,80	1,12	1,05	0,0	0,0	20,2	67,8	17,2	0,0	105,2	
3,33	200	94	106	200	200	200,0	40	85	1962	392	834	14,24	11,30	2,94	1,176	0,975	0,0	0,0	22,8	69,6	10,0	0,0	102,4	
3,66	198	94	104	200	200	200,0	40	85	1962	392	834	11,30	8,72	2,59	1,034	0,84	0,0	0,0	26,2	73,0	9,0	0,0	108,2	
4,00	190	93	97	200	200	200,0	40	85	1962	392	834	15,30	12,25	3,05	1,22	0,953	0,0	0,0	25,2	71,4	7,2	0,0	103,8	
4,33	200	94	106	200	200	200,0	46	90	1962	451	883	12,25	8,95	3,30	1,32	0,985	0,0	0,0	26,2	72,6	3,4	0,0	102,2	
4,66	208	93	115	200	200	200,0	46	85	1962	451	834	8,95	5,77	3,18	1,272	0,961	0,0	1,2	37,6	67,8	1,2	0,0	107,8	
5,00	211	94	117	200	200	200,0	45	80	1962	441	785	15,00	11,79	3,21	1,284	0,99	0,0	4,4	49,8	54,6	0,0	0,0	108,8	
5,33	214	93	121	200	200	200,0	40	80	1962	392	785	11,79	8,56	3,23	1,292	0,976	0,0	4,4	51,6	49,2	0,0	0,0	105,2	
5,66	210	93	117	200		100,0	40	80	981	392	785	8,56					0,0							

Продовження таблиці В2.2

Ситовий аналіз, %: Хі - доля фракції ді							Серед діам і-ої фра-ї							Шар	тепл.	вязк.				Крит.	Витр. пов.	Роб.	I-I	II-II	III-III
5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	D5	D4	D3	D2	D1	D0,5	De	Mш	ртепл	v	Ag	Ag*φ	Рекр	Wкр	V	Wр	Wр(I-I)	Wр(II-II)	Wр(III-III)
%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг	кг/м3	м2/с				м/с	нм3/с	м/с	м/с	м/с	м/с
0,0	0,0	6,9	67,8	23,9	1,3	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	1,98	7,70	0,964	2,248E-05	232601	200037	59,37	0,673	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	9,4	65,9	23,3	1,4	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	1,99	7,70	0,964	2,248E-05	237610	204345	60,24	0,678	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	8,8	60,9	30,3	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,04	7,70	0,964	2,248E-05	255961	220127	63,34	0,695	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	9,4	60,2	30,5	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,04	7,70	0,964	2,248E-05	256120	220263	63,37	0,695	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	10,7	64,4	24,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,12	7,70	0,964	2,248E-05	287444	247202	68,46	0,723	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	17,9	63,5	18,7	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,25	7,70	0,964	2,248E-05	343383	295310	77,01	0,766	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	18,3	64,0	17,7	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,27	7,70	0,964	2,248E-05	351286	302106	78,17	0,772	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	18,0	64,5	17,5	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,27	7,70	0,962	2,258E-05	349420	300501	77,90	0,772	0,024	0,812	2,28	1,635	1,256
0,0	0,0	18,4	64,2	17,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,28	7,70	0,964	2,248E-05	354124	304547	78,58	0,774	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	19,2	64,4	16,3	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,30	7,70	0,964	2,248E-05	363946	312994	80,00	0,781	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	22,3	68,0	9,8	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,43	7,70	0,962	2,258E-05	426698	366961	88,71	0,823	0,024	0,812	2,28	1,635	1,256
0,0	0,0	24,2	67,5	8,3	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,47	7,70	0,962	2,258E-05	448132	385393	91,56	0,836	0,024	0,812	2,28	1,635	1,256
0,0	0,0	24,3	68,8	6,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,50	7,70	0,964	2,248E-05	465529	400355	93,83	0,843	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	0,0	25,6	71,0	3,3	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,58	7,70	0,962	2,258E-05	508282	437122	99,24	0,869	0,025	0,835	2,35	1,683	1,292
0,0	1,1	34,9	62,9	1,1	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,71	7,70	0,964	2,248E-05	598519	514726	110,05	0,910	0,024	0,812	2,28	1,631	1,252
0,0	4,0	45,8	50,2	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,89	7,70	0,962	2,258E-05	713883	613939	122,86	0,960	0,023	0,788	2,22	1,586	1,218
0,0	4,2	49,0	46,8	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,90	7,70	0,964	2,248E-05	745342	640994	126,19	0,970	0,023	0,788	2,21	1,582	1,215
0,0	4,3	53,6	42,1	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,92	3,85	0,964	2,248E-05	713883	437122	125,96	0,983	0,023	0,788	2,21	1,582	1,215

Продовження таблиці В2.2

	Фонтан.	апар.	Фонт.			внес. т.ф.	Δ маси ш.						аналіт.	фактичне	середнє				V задіяне	f задіяне	Aff	Re
W2 виносу	Ревинос	Kw	KwФ	fш	ΔPш/(Deg)	Мтв	ΔМш	ψ	ψсер	af	К	Ксер	ла	ле.ф	ле.сер	β	Ω	Wроб				
м/с	м/с			м2	Па/(ммг)	кг/20хв	кг/20хв	%	%	кг/(м2*год)	(кг/год)/кг	(кг/год)/кг	мм/год	мм/год	мм/год	м2/м2			м3/с	м2/с	кг/м2	
8,440	745,05	1,28	12,55	12,26	100,8	0,938	0,938	80,2	67,3	0,3443	0,3655	0,415	0,0925	0,0001	0,0106	857,34	3674,0	0,93	0,028	0,0169	6,923	82,4
8,475	753,49	1,27	12,51	12,17	100,1	1,196	1,196	81,4	69,4	0,4421	0,4660	0,428	0,0991	0,0212	0,0321	851,27	2831,7	0,93	0,028	0,0168	8,890	83,0
8,599	783,67	1,23	12,37	11,88	97,6	1,168	1,168	80,6	74,6	0,4426	0,4551	0,447	0,1140	0,0753	0,0323	830,42	2729,3	0,93	0,028	0,0164	8,900	85,1
8,600	783,93	1,23	12,37	11,87	97,6	1,084	1,084	81,7	77,4	0,4109	0,4223	0,433	0,1146	0,0006	0,0654	830,25	2939,3	1,1	0,033	0,0193	7,010	100,3
8,794	833,06	1,19	12,17	11,42	93,9	1,084	1,084	82,3	79,5	0,4270	0,4223	0,429	0,1212	0,1205	0,1053	798,92	2677,1	1,1	0,033	0,0185	7,285	104,2
9,099	914,58	1,12	11,88	10,78	88,5	1,140	1,14	84,5	76,8	0,4764	0,4442	0,429	0,1242	0,1950	0,1137	752,94	2206,6	1,1	0,033	0,0175	8,12	110,6
9,138	925,55	1,11	11,84	10,68	87,9	1,084	1,084	86,8	77,3	0,4565	0,4223	0,480	0,1408	0,0258	0,0741	747,25	2278,8	1,1	0,033	0,0173	7,788	111,4
9,152	922,97	1,11	11,85	10,68	87,8	1,476	1,476	88,1	77,7	0,6219	0,5751	0,462	0,1363	0,0016	0,0116	746,91	1673,2	1,1	0,033	0,0173	10,61	110,9
9,152	929,45	1,11	11,83	10,65	87,6	1,000	1	89,7	84,1	0,4223	0,3896	0,467	0,1493	0,0076	0,0135	745,25	2454,4	1,1	0,033	0,0173	7,204	111,7
9,200	942,86	1,10	11,79	10,56	86,8	1,120	1,12	90,7	86,0	0,4773	0,4364	0,428	0,1412	0,0314	0,078	738,49	2144,1	1,1	0,033	0,0171	8,143	112,7
9,505	1024,57	1,11	11,55	9,99	82,2	1,176	1,176	89,8	86,0	0,5296	0,4582	0,432	0,1508	0,1963	0,0959	698,78	1791,7	1,1	0,033	0,0162	9,036	118,6
9,593	1051,08	1,09	11,48	9,83	80,8	1,034	1,034	90,5	80,8	0,4733	0,4029	0,445	0,1483	0,0601	0,0984	687,46	1960,4	1,1	0,033	0,0160	8,075	120,5
9,637	1072,15	1,06	11,43	9,72	80,0	1,220	1,22	85,1	78,0	0,5643	0,4753	0,464	0,1509	0,0390	0,0730	680,31	1619,7	1,1	0,033	0,015	9,628	122,4
9,821	1122,30	1,06	11,31	9,42	77,5	1,320	1,32	83,9	76,1	0,6301	0,5143	0,495	0,1620	0,1201	0,1222	659,20	1390,9	1,1	0,033	0,0153	10,756	125,7
10,099	1221,66	1,00	11,10	8,94	73,6	1,272	1,272	84,5	75,8	0,6398	0,4956	0,503	0,1728	0,2076	0,1947	625,65	1276,3	1,1	0,033	0,0145	10,918	133,1
10,458	1338,36	1,18	10,89	8,41	69,2	1,284	1,284	82,4	76,1	0,6864	0,5003	0,499	0,1831	0,2565	0,172	588,63	1098,3	1,1	0,033	0,0137	11,71	140,8
10,515	1368,52	1,15	10,85	9,38	68,4	1,292	1,292	83,7	76,3	0,6991	0,5034	0,501	0,1867	0,0529	0,1031	581,53	1060,6	1,1	0,033	0,0135	11,929	143,2
10,612	925,55	1,20	10,75	8,31	68,3	1,295	1,292	82,7	76,1	0,6982	0,5143	0,428	0,1620	0,0601	0,1222	570,56	1010,5	1,1	0,033	0,0133	11,864	146,8

Продовження таблиці В2.2

Час												Розч.	Розч.	Розч.	Сухі реч.	Вивант	Ситовий аналіз (маса фракції): ді - діаметр отворів сита							
t	T _{вх}	T _ш	ΔT	ΔРш.поч.	ΔРш.кінц.	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	Лпоч.	Лкінц.	ΔL	G	G _{гран}	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	
год	°C	°C	°C	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	Па	Па	Па	кг	кг	кг	кг/20хв	кг/20хв	г	г	г	г	г	г	г	
5,66	145	92	53	200	200	200,0	56	120	1962	549	1177	14,10	12,00	2,10	0,84	0,632	0,0	0,0	5,0	78,2	17,0	0,0	100,2	
6,00	170	95	75	200	200	200,0	58	120	1962	569	1177	12,00	8,52	3,49	1,394	1,126	0,0	0,0	8,6	82,8	14,2	0,0	105,6	
6,33	190	95	95	200	200	200,0	58	120	1962	569	1177	8,52	4,71	3,81	1,524	1,325	0,0	0,0	20,6	81,4	6,4	0,0	108,4	
6,66	198	96	102	200	200	200,0	58	120	1962	569	1177	11,30	7,36	3,94	1,576	1,085	0,0	0,0	19,8	74,6	5,4	0,0	99,8	
7,00	190	92	98	200	200	200,0	58	120	1962	569	1177	7,36	4,18	3,18	1,272	0,985	0,0	0,0	20,8	77,6	4,0	0,0	102,4	
7,33	185	93	92	200	200	200,0	65	120	1962	638	1177	12,40	8,90	3,50	1,4	1,191	0,0	0,0	27,8	77,6	2,8	0,0	108,2	
7,66	188	93	95	200	200	200,0	65	120	1962	638	1177	8,90	5,50	3,40	1,36	1,168	0,0	0,0	34,8	66,8	1,6	0,0	103,2	
8,00	198	94	104	200	200	200,0	70	120	1962	687	1177	12,69	10,18	2,51	1,004	1,163	0,0	0,0	38,6	67,2	1,2	0,0	107,0	
8,33	180	93	87	200	200	200,0	67	120	1962	657	1177	10,18	6,65	3,53	1,412	1,259	0,0	0,0	42,2	60,8	0,6	0,0	103,6	
8,66	190	93	97	200	200	200,0	65	120	1962	638	1177	12,63	8,68	3,95	1,58	1,382	0,0	2,4	71,6	30,2	0,0	0,0	104,2	
9,00	198	93	105	200	200	200,0	61	120	1962	598	1177	8,68	5,15	3,53	1,412	1,297	0,0	4,6	79,8	24,6	0,0	0,0	109,0	

Продовження таблиці В2.2

Ситовий аналіз, %: X _i - доля фракції ді							Серед діаметр і-ої фрак-ї							Шар	тепл.	вязк.				Крит.	Витр. пов.	Роб.	I-I	II-II	III-III
5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	D5	D4	D3	D2	D1	D0,5	De	Мш	ρтепл	ν	Ag	Ag*φ	Рекр	Wкр	V	Wр	Wр(I-I)	Wр(II-II)	Wр(III-III)
%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг	кг/м3	м2/с				м/с	нм3/с	м/с	м/с	м/с	м/с
0,0	0,0	5,0	78,0	17,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,21	7,70	0,967	2,237E-05	322581	277420	73,91	0,749	0,028	0,965	2,705	1,932	1,484
0,0	0,0	8,1	78,4	13,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,28	7,70	0,959	2,269E-05	348054	299327	77,70	0,773	0,028	0,965	2,728	1,948	1,496
0,0	0,0	19,0	75,1	5,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,48	7,70	0,959	2,269E-05	448414	385636	91,60	0,838	0,028	0,965	2,728	1,948	1,496
0,0	0,0	19,8	74,7	5,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,50	7,70	0,957	2,279E-05	453747	390222	92,30	0,843	0,028	0,965	2,735	1,954	1,500
0,0	0,0	20,3	75,8	3,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,53	7,70	0,967	2,237E-05	484186	416400	96,22	0,852	0,028	0,965	2,705	1,932	1,484
0,0	0,0	25,7	71,7	2,6	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,60	7,70	0,964	2,248E-05	520833	447916	100,80	0,873	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	0,0	33,7	64,7	1,6	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,68	7,70	0,964	2,248E-05	575930	495300	107,42	0,899	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	0,0	36,1	62,8	1,1	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,71	7,70	0,962	2,258E-05	591368	508576	109,23	0,909	0,028	0,965	2,720	1,943	1,492
0,0	0,0	40,7	58,7	0,6	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,77	7,70	0,964	2,248E-05	631619	543192	113,83	0,924	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	2,3	68,7	29,0	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	3,11	7,70	0,964	2,248E-05	893455	768371	141,06	1,020	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	4,2	73,2	22,6	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	3,20	7,70	0,964	2,248E-05	972030	835946	148,48	1,044	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488

Продовження таблиці В2.2

	Фонтан.	апар.	Фонт.			внес. т.ф.	Δ маси ш.						аналіт.	фактичне	середнє				V задіяне	f задіяне	Aff	Re
W2 виносу	Ревинос	Kw	KwФ	fш	ΔPш/(Deg)	Mтв	ΔMш	ψ	ψсер	af	K	Kсер	ла	ле.ф	ле.сер	β	Ω	Wроб	м3/с	м2/с	кг/м2	
м/с	м/с			м2	Па/(ммг)	кг/20хв	кг/20хв	%	%	кг/(м2*год)	(кг/год)/кг	(кг/год)/кг	мм/год	мм/год	мм/год	м2/м2			м3/с	м2/с	кг/м2	
8,969	885,100	1,29	11,98	17,28	90,6	0,840	0,84	75,2	78,0	0,2287	0,3273	0,4352	0,1249	0,0114	0,059	1208,49	4960,40	0,93	0,028	0,0152	6,898	92,1
9,168	921,080	1,25	11,85	16,74	87,7	1,394	1,394	80,8	81,0	0,3748	0,5431	0,4881	0,1502	0,1079	0,140	1170,37	2775,04	0,93	0,028	0,0147	11,821	93,8
9,618	1051,434	1,15	11,48	15,38	80,6	1,524	1,524	86,9	86,7	0,4459	0,5938	0,5836	0,2091	0,3013	0,144	1075,58	2075,88	0,93	0,028	0,0135	14,062	102,0
9,663	1057,930	1,14	11,46	15,29	80,1	1,576	1,576	85,3	89,3	0,4639	0,6140	0,5678	0,2109	0,0230	0,124	1068,98	1979,98	1,1	0,033	0,0158	12,415	120,4
9,684	1094,306	1,13	11,37	15,09	79,1	1,272	1,272	87,0	88,7	0,4751	0,4956	0,5517	0,2061	0,0479	0,057	1055,48	2373,0	1,1	0,033	0,0156	10,148	124,3
9,842	1136,621	1,11	11,28	14,70	77,1	1,400	1,4	85,1	86,5	0,4486	0,5455	0,5236	0,1960	0,1021	0,094	1027,80	2027,05	1,1	0,033	0,0152	11,470	127,0
10,027	1197,536	1,07	11,15	14,21	74,5	1,360	1,36	85,9	85,5	0,4506	0,5299	0,4888	0,1870	0,1327	0,09	993,929	1929,16	1,1	0,033	0,0147	11,522	131,4
10,102	1214,077	1,1	11,12	14,06	73,7	1,004	1,004	84,8	85,1	0,4414	0,3912	0,4904	0,1888	0,0448	0,086	983,000	2548,54	1,1	0,033	0,0145	8,6010	132,2
10,200	1256,217	1,09	11,04	13,78	72,3	1,412	1,412	86,7	85,7	0,4610	0,5501	0,5190	0,2051	0,0810	0,211	963,814	1729,57	1,1	0,033	0,0143	12,337	135,5
10,869	1502,644	1,06	10,65	12,28	64,4	1,580	1,58	87,5	88,7	0,4823	0,6156	0,5719	0,2626	0,5088	0,240	858,593	1184,07	1,1	0,033	0,0127	15,496	152,1
11,037	1569,287	1,03	10,57	11,94	62,6	1,412	1,412	87,0	89,0	0,4898	0,5501	0,5639	0,2673	0,1328	0,287	834,805	1242,68	1,1	0,033	0,0123	14,243	156,4

Таблиця В2.3 – Результати експериментальних досліджень динаміки утворення азотно-кальцієво-гумінових композитів модифікованих бентонітом

Час																	Ситовий аналіз (маса фракції):d _i - діаметр отворів сита							
t	T _{вх}	T _ш	ΔT	ΔP _{ш.поч.}	ΔP _{ш.кінц.}	ΔP _{ш.}	ΔP _{реш}	ΔP _д	ΔP _{ш.}	ΔP _{реш}	ΔP _д	Розч. Лпоч.	Розч. Лкінц.	Розч. ΔL	Сухі реч. G	Вивант Gгран	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	
год	°C	°C	°C	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	Па	Па	Па	кг	кг	кг	кг/20хв	кг/20хв	г	г	г	г	г	г	г	
0,00	160	93	67	200	200	200,0	55	90	1962	540	883	14,30	11,98	2,32	0,928	0,799	0,0	0,0	6,0	72,8	26,6	0,0	105,4	
0,33	190	93	97	200	200	200,0	65	90	1962	638	883	11,98	9,00	2,98	1,192	1,059	0,0	0,0	17,4	75,4	21,0	0,0	113,8	
0,66	200	93	107	200	200	200,0	62	90	1962	608	883	9,00	6,00	3,00	1,2	1,099	0,0	0,0	19,0	73,0	13,8	0,0	105,8	
1,00	204	93	111	200	200	200,0	67	90	1962	657	883	12,47	9,04	3,43	1,372	1,199	0,0	0,0	19,0	81,4	12,4	0,0	112,8	
1,33	204	93	111	200	200	200,0	67	90	1962	657	883	9,04	5,80	3,24	1,296	1,120	0,0	0,0	25,2	71,0	7,6	0,0	103,8	
1,66	210	93	117	200	200	200,0	65	90	1962	638	883	12,48	9,10	3,38	1,352	1,221	0,0	0,0	26,0	70,0	6,0	0,0	102,0	
2,00	205	93	112	200	200	200,0	63	90	1962	618	883	9,10	5,62	3,48	1,392	1,198	0,0	0,0	26,0	71,0	5,4	0,0	102,4	
2,33	210	93	117	200	200	200,0	82	110	1962	804	1079	12,20	8,50	3,70	1,48	1,285	0,0	0,0	38,6	62,6	3,6	0,0	104,8	
2,66	200	93	107	200	200	200,0	67	110	1962	657	1079	15,06	11,12	3,94	1,576	1,401	0,0	2,4	44,0	54,2	1,2	0,0	101,8	
3,00	200	93	107	200	200	200,0	65	110	1962	638	1079	11,12	7,80	3,32	1,328	1,197	0,0	4,8	62,0	50,2	2,2	0,0	119,2	
3,33	210	93	117	200	200	200,0	77	120	1962	755	1177	12,07	8,39	3,68	1,472	1,35	0,0	8,0	70,8	31,0	0,8	0,0	110,6	
3,66	200	93	107	200	200	200,0	70	120	1962	687	1177	8,39	4,75	3,64	1,456	1,253	0,0	12,4	67,2	35,2	0,0	0,0	114,8	
4,00	201	93	108	200	200	200,0	72	120	1962	706	1177	4,75	2,90	1,85	0,74	0,573	0,0	21,0	65,0	28,4	2,2	0,0	116,6	

Продовження таблиці В2.3

Ситовий аналіз, %: X _i - доля фракції d _i							Серед діам і-ої фракції							Шар	тепл.	вязк.				Крит.	Витр. пов.	Роб.	I-I	II-II	III-III
5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	D5	D4	D3	D2	D1	D0,5	De	Мш	ρтепл	ν	Ar	Ar*φ	Reкр	Wкр	V	Wр	Wp(I-I)	Wp(II-II)	Wp(III-III)
%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг	кг/м3	м2/с				м/с	нм3/с	м/с	м/с	м/с	м/с
0,0	0,0	5,7	69,1	25,2	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,097	7,70	0,964	2,248E-05	274647	236196	66,41	0,712	0,025	0,835	2,349	1,678	1,289
0,0	0,0	15,3	66,3	18,5	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,247	7,70	0,964	2,248E-05	337709	290430	76,17	0,762	0,025	0,835	2,349	1,678	1,289
0,0	0,0	18,0	69,0	13,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,349	7,70	0,964	2,248E-05	385902	331876	83,12	0,795	0,025	0,835	2,349	1,678	1,289
0,0	0,0	16,8	72,2	11,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,376	7,70	0,964	2,248E-05	399242	343348	84,98	0,804	0,025	0,835	2,349	1,678	1,289
0,0	0,0	24,3	68,4	7,3	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,493	7,70	0,964	2,248E-05	461530	396916	93,31	0,841	0,025	0,835	2,349	1,678	1,289
0,0	0,0	25,5	68,6	5,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,529	7,70	0,964	2,248E-05	481969	414493	95,93	0,852	0,025	0,835	2,349	1,678	1,289
0,0	0,0	25,4	69,3	5,3	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,540	7,70	0,964	2,248E-05	488243	419889	96,73	0,856	0,025	0,835	2,349	1,678	1,289
0,0	0,0	36,8	59,7	3,4	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,670	7,70	0,964	2,248E-05	567150	487749	106,38	0,895	0,027	0,923	2,597	1,855	1,425
0,0	0,0	43,2	53,2	1,2	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,853	7,70	0,964	2,248E-05	691876	595013	120,49	0,949	0,027	0,923	2,597	1,855	1,425
0,0	4,0	52,0	42,1	1,8	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,906	7,70	0,964	2,248E-05	730760	628453	124,65	0,964	0,027	0,923	2,597	1,855	1,425
0,0	7,2	64,0	28,0	0,7	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	3,120	7,70	0,964	2,248E-05	904554	777917	142,12	1,024	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	10,8	58,5	30,7	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	3,142	7,70	0,964	2,248E-05	923438	794157	143,92	1,030	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	18,0	55,7	24,4	1,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	3,185	7,70	0,964	2,248E-05	962220	827509	147,57	1,041	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488

Продовження таблиці В2.3

	Фонтан.	апар.	Фонт.			внес. т.ф.	Δ маси ш.						аналіт.	фактичне	середнє							
W2 виносу	Ревинос	Kw	KwФ	fш	ΔPш/(Deg)	Мтв	ΔМш	ψ	ψсер	af	К	Ксер	ла	ле.ф	ле.сер	β	Ω	Wроб	V задян	f задяне	Aff	Re
м/с	м/с			м2	Па/(ммг)	кг/20хв	кг/20хв	%	%	кг/(м2*год)	(кг/год)/кг	(кг/год)/кг	мм/год	мм/год	мм/год	м2/м2			м3/с	м2/с	кг/м2	
8,717	813,3	1,14	12,25	11,60	87,7	0,928	0,928	86,1	87,5	0,3600	0,3616	0,4130	0,1263	0,0000	0,1122	811,148	3244,4	0,93	0,028	0,0160	7,23	87,1
9,070	906,6	1,14	11,90	10,83	87,5	1,192	1,192	88,8	88,8	0,4954	0,4644	0,4312	0,1434	0,2244	0,125	757,141	2138,7	0,93	0,028	0,0149	9,96	93,3
9,303	972,1	1,12	11,70	10,36	85,9	1,200	1,2	91,6	89,3	0,5214	0,4675	0,4888	0,1708	0,1532	0,1392	724,212	1910,0	0,93	0,028	0,0143	10,48	97,5
9,363	989,6	1,06	11,65	10,24	81,2	1,372	1,372	87,4	88,5	0,6030	0,5345	0,5023	0,1759	0,0401	0,1232	716,05	1626,1	1,1	0,033	0,0156	10,28	116,3
9,622	1067,3	1,09	11,44	9,76	76,2	1,296	1,296	86,4	88,0	0,5978	0,5049	0,5221	0,1910	0,1764	0,0903	682,272	1535,1	1,1	0,033	0,0158	10,19	122,0
9,700	1091,6	1,09	11,38	9,62	75,5	1,352	1,352	90,3	87,6	0,6327	0,5268	0,5247	0,1938	0,0544	0,0824	672,488	1422,2	1,1	0,033	0,0156	10,79	123,8
9,724	1099,0	1,08	11,36	9,58	74,9	1,392	1,392	86,1	88,2	0,6542	0,5423	0,5486	0,2048	0,0164	0,0886	669,595	1367,4	1,1	0,033	0,0155	11,16	124,3
9,999	1188,0	1,06	11,17	9,11	70,1	1,480	1,48	86,8	87,3	0,7312	0,5766	0,5777	0,2243	0,1951	0,1619	636,979	1143,9	1,1	0,033	0,0148	12,47	130,7
10,373	1316,8	1,07	10,93	8,52	65,2	1,576	1,576	88,9	88,6	0,7532	0,6140	0,5694	0,2399	0,2744	0,1827	596,14	1017,0	1,1	0,033	0,0138	14,19	139,7
10,477	1354,6	1,03	10,87	8,37	60,2	1,328	1,328	90,1	90,2	0,7689	0,5174	0,5683	0,2484	0,0787	0,2248	585,373	972,7	1,1	0,033	0,0136	12,18	142,2
10,893	1512,2	1,02	10,64	7,80	62,8	1,472	1,472	91,7	89,3	0,7700	0,5735	0,5527	0,2567	0,3213	0,1441	545,188	885,8	1,1	0,033	0,0126	14,49	152,7
10,934	1528,4	1,02	10,62	7,74	61,9	1,456	1,456	86,1	85,1	0,7642	0,5673	0,4764	0,2122	0,0323	0,1395	541,446	884,6	1,1	0,033	0,0126	14,43	153,8
11,016	1561,1	1,00	10,58	7,64	62,5	0,141	0,74	77,4	84,2	0,6573	0,2883	0,2852	0,2035	0,0651	#ДЕЛ/0!	534,072	1010,6	1,1	0,033	0,0124	11,45	155,9

Продовження таблиці В2.3

Час												Розч.	Розч.	Розч.	Сухі реч.	Вивант	Ситовий аналіз (маса фракції):d _i - діаметр отворів сита							
t	T _{вх}	T _ш	ΔT	ΔРш.поч.	ΔРш.кінц.	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	ΔРш.	ΔРреш	ΔРд	Лпоч.	Лкінц.	ΔL	G	Gгран	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	
год	°C	°C	°C	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	мм.вод.ст.	Па	Па	Па	кг	кг	кг	кг/20хв	кг/20хв	г	г	г	г	г	г	г	
4,00	155	93	62	200	200	200,0	82	100	1962	804	981	13,74	11,58	2,16	0,7992	0,632	0,0	0,0	6,8	81,8	13,0	0,0	101,6	
4,33	188	93	95	200	200	200,0	77	100	1962	755	981	11,58	8,85	2,74	1,012	0,842	0,0	0,0	10,0	79,0	14,0	0,0	103,0	
4,66	198	93	105	200	200	200,0	74	100	1962	726	981	8,85	6,00	2,85	1,0527	0,812	0,0	0,0	11,4	79,6	11,8	0,0	102,8	
5,00	205	93	112	200	200	200,0	65	100	1962	638	981	12,03	8,92	3,12	1,1526	0,935	0,0	0,0	19,8	76,0	7,2	0,0	103,0	
5,33	208	93	115	200	200	200,0	70	120	1962	687	1177	14,89	11,51	3,38	1,2488	1,020	0,0	0,0	31,0	68,6	3,0	0,0	102,6	
5,66	208	93	115	200	200	200,0	67	120	1962	657	1177	11,51	8,20	3,31	1,2247	0,927	0,0	0,0	32,2	65,2	2,6	0,0	100,0	
6,00	205	93	112	200	200	200,0	65	120	1962	638	1177	13,89	10,70	3,19	1,1803	0,960	0,0	0,0	35,6	64,8	2,6	0,0	103,0	
6,33	200	93	107	200	200	200,0	65	110	1962	638	1079	10,70	7,70	3,00	1,11	0,895	0,0	1,8	49,4	54,8	1,4	0,0	107,4	
6,66	200	93	107	200	200	200,0	65	110	1962	638	1079	14,90	11,75	3,15	1,1655	0,895	0,0	1,8	66,2	37,0	0,0	0,0	105,0	
7,00	210	93	117	200	200	200,0	55	120	1962	540	1177	14,97	11,48	3,49	1,2913	1,155	0,0	8,4	81,6	15,6	0,0	0,0	105,6	

Продовження таблиці В2.3

Ситовий аналіз, %: Хі - доля фракції ді							Серед діам і-ої фрак							Шар	тепл.	вязк.				Крит.	Витр. пов.	Роб.	I-I	II-II	III-III
5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5	Σ	D5	D4	D3	D2	D1	D0,5	De	Мш	ρтепл	ν	Ar	Ar*φ	Рекр	Wкр	V	Wр	Wр(I-I)	Wр(II-II)	Wр(III-III)
%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%/мм	%	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг	кг/м3	м2/с				м/с	нм3/с	м/с	м/с	м/с	м/с
0,0	0,0	6,7	80,5	12,8	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,28	7,70	0,964	2,248E-05	353261	303805	78,46	0,773	0,026	0,881	2,476	1,769	1,358
0,0	0,0	9,7	76,7	13,6	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,28	7,70	0,964	2,248E-05	356237	306364	78,89	0,775	0,026	0,881	2,476	1,769	1,358
0,0	0,0	11,1	77,4	11,5	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,32	7,70	0,964	2,248E-05	376443	323741	81,79	0,789	0,026	0,881	2,476	1,769	1,358
0,0	0,0	19,2	73,8	7,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,46	7,70	0,964	2,248E-05	444519	382286	91,08	0,831	0,026	0,881	2,476	1,769	1,358
0,0	0,0	30,2	66,9	2,9	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,62	7,70	0,964	2,248E-05	539100	463626	103,03	0,882	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	0,0	32,2	65,2	2,6	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,64	7,70	0,964	2,248E-05	553547	476050	104,76	0,889	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	0,0	34,6	62,9	2,5	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,67	7,70	0,964	2,248E-05	567192	487785	106,39	0,895	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488
0,0	0,0	46,0	51,0	1,3	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	2,85	7,70	0,964	2,248E-05	692835	595838	120,60	0,949	0,027	0,923	2,597	1,855	1,425
0,0	0,0	63,0	35,2	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	3,06	7,70	0,964	2,248E-05	860717	740217	137,87	1,010	0,027	0,923	2,597	1,855	1,425
0,0	8,0	77,3	14,8	0,0	0,0	100	6,325	4,472	3,464	2,449	1,414	0,707	3,32	7,70	0,964	2,248E-05	109031	937674	159,16	1,077	0,028	0,965	2,713	1,938	1,488

Продовження таблиці В2.3

	Фонтан.	апар.	Фонт.			внес. т.ф.	Δ маси ш.						аналіт.	фактичне	середнє				V задіяне	f задіяне	Aff	Re
W2 виносу	Ревинос	Kw	KwФ	fш	ΔPш/(Deg)	Мтв	ΔМш	ψ	ψсер	af	К	Ксер	ла	ле.ф	ле.сер	β	Ω	Wроб	м3/с	м2/с	кг/м2	
м/с	м/с			м2	Па/(ммг)	кг/20хв	кг/20хв	%	%	кг/(м2год)	(кг/год)/кг	(кг/год)/кг	мм/год	мм/год	мм/год	м2/м2			м3/с	м2/с	кг/м2	
9,14	928,27	1,17	11,83	10,66	95,4	0,864	0,7992	78,1	75,1	0,3645	0,3114	0,3528	0,1007	0,0006	0,004	745,86	2846,3	0,93	0,028	0,0147	7,33	94,7
9,16	932,35	1,1	11,82	10,63	89,0	1,094	1,01195	82,0	73,8	0,4629	0,3943	0,3719	0,1047	0,0096	0,024	743,78	2232,9	0,93	0,028	0,0141	9,30	95,0
9,25	959,66	1,05	11,73	10,44	85,2	1,138	1,05265	76,4	74,5	0,4904	0,4101	0,4178	0,1208	0,0637	0,090	730,22	2054,2	0,93	0,028	0,0144	9,86	96,7
9,55	1046,66	1,04	11,49	9,87	84,2	1,246	1,15255	80,0	74,0	0,5675	0,4490	0,4486	0,1362	0,1991	0,169	690,86	1644,6	1,1	0,033	0,0160	9,68	120,5
9,90	1157,15	1,15	11,23	9,26	80,2	1,350	1,24875	80,6	73,5	0,6158	0,4865	0,4709	0,1515	0,2453	0,159	647,84	1304,6	1,1	0,033	0,0150	11,18	128,5
9,95	1173,15	1,13	11,20	9,18	79,1	1,324	1,2247	78,0	73,6	0,6388	0,4772	0,4745	0,1542	0,0349	0,188	642,15	1303,1	1,1	0,033	0,0149	11,07	129,6
9,99	1188,07	1,13	11,17	9,11	78,7	1,276	1,1803	80,2	72,6	0,6204	0,4599	0,4565	0,1476	0,0324	0,114	636,96	1326,7	1,1	0,033	0,0148	10,75	130,7
10,37	1317,81	1,12	10,93	8,51	74,9	1,200	1,11	79,6	73,6	0,6437	0,4325	0,4488	0,1572	0,2763	0,209	595,86	1208,0	1,1	0,033	0,0138	10,81	139,7
10,79	1474,01	1,06	10,69	8,32	70,1	1,260	1,1655	77,9	76,1	0,6353	0,4541	0,4632	0,1803	0,3212	0,324	554,29	974,0	1,1	0,033	0,0129	12,20	150,2
11,26	1664,73	1,05	10,46	7,92	70,0	1,396	1,2913	82,3	81,9	0,6285	0,5031	0,4786	0,2169	0,3775	0,164	512,27	734,6	1,1	0,033	0,0119	14,63	162,5

ДОДАТОК Г

**АЛГОРИТМ ТА ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ГРАНУЛЯТОРА
ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ**

**Додаток Г.1 – Блок-схема алгоритму розрахунку основних параметрів
гранулятора**

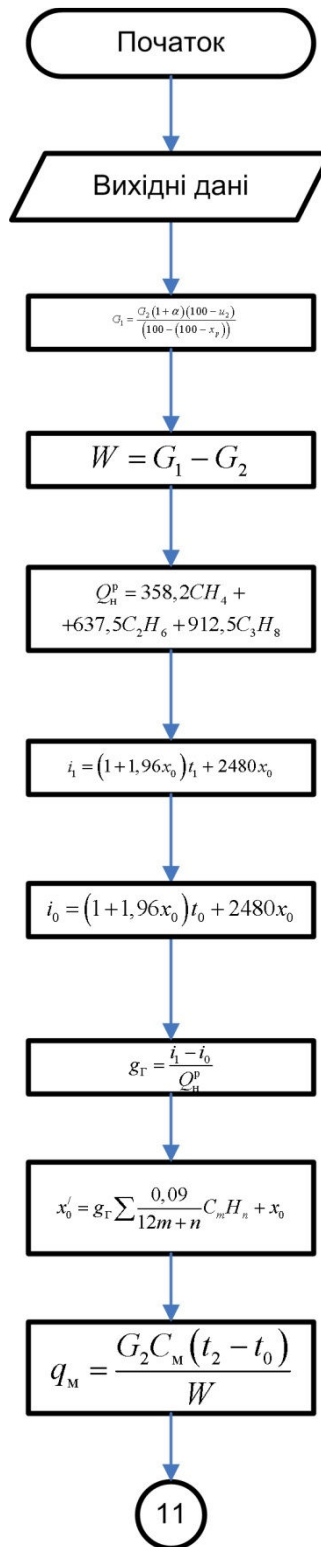


Рисунок Г.1 – Графічна схема алгоритму розрахунку основних параметрів гранулятора

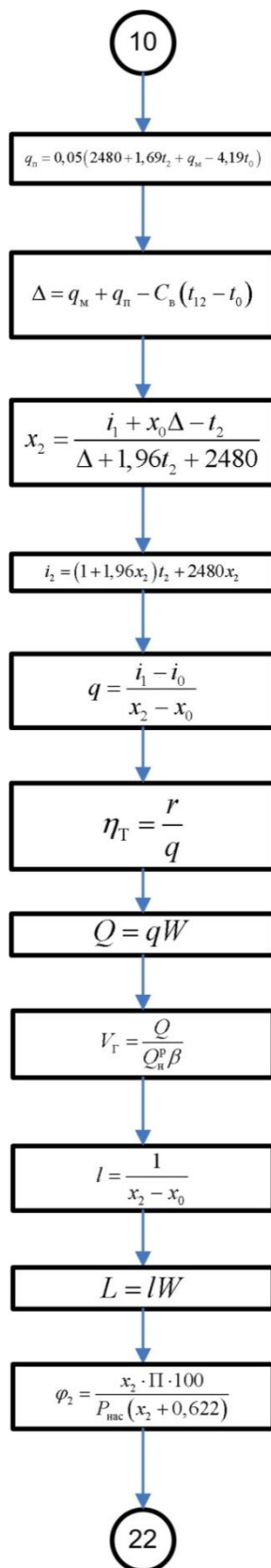


Рисунок Г.1 – продовження

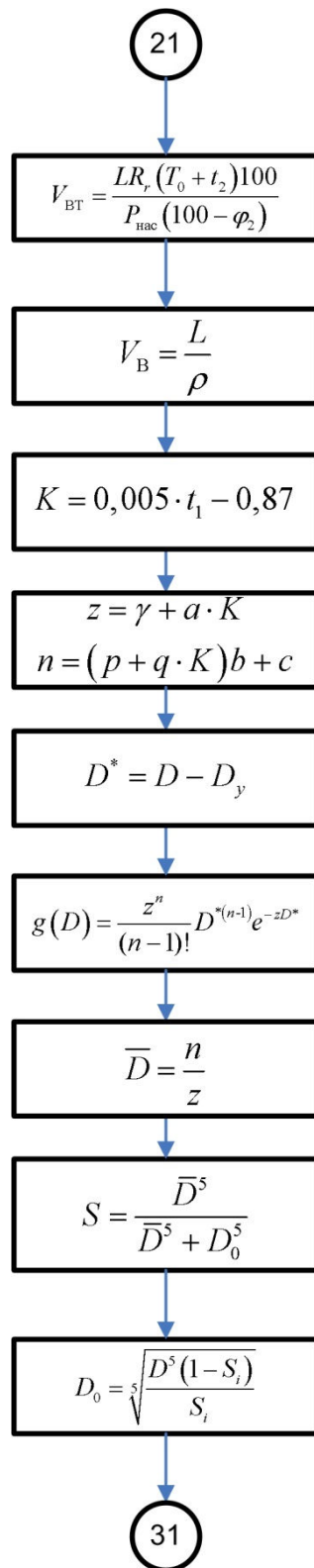


Рисунок Г.1 – продовження

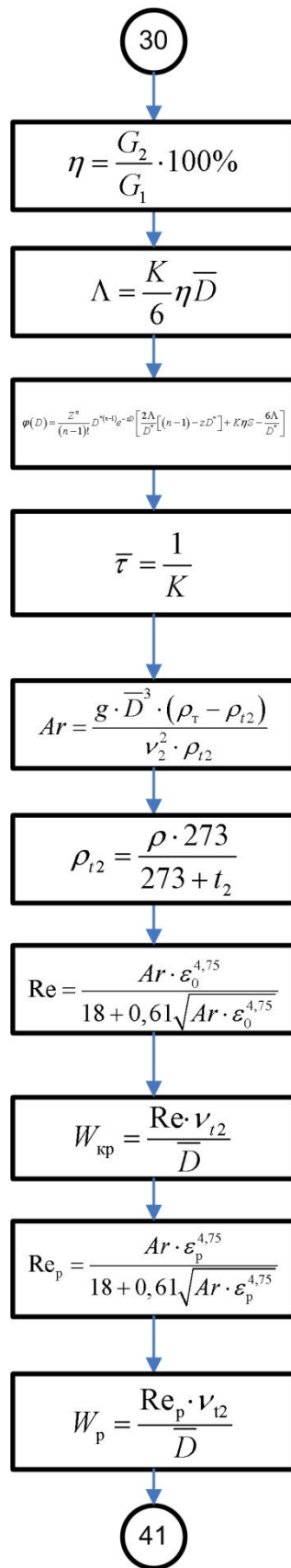


Рисунок Г.1 – продовження

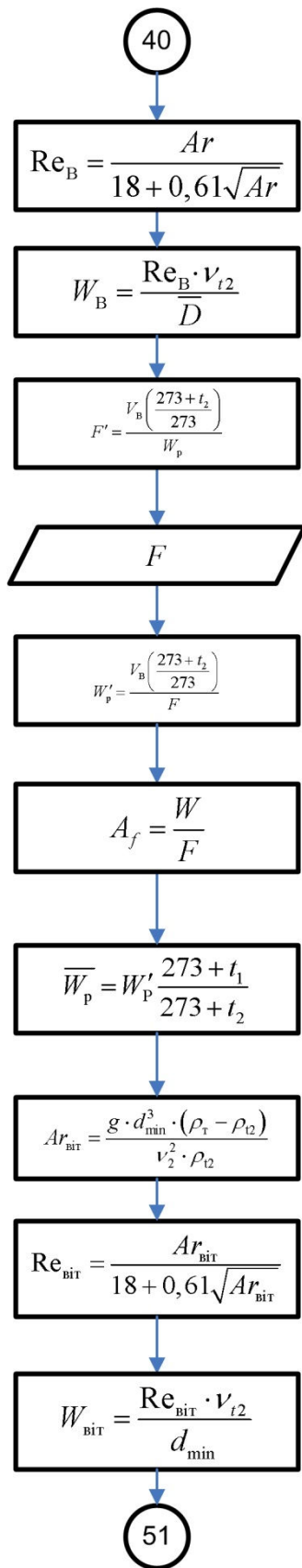


Рисунок Г.1 – продовження

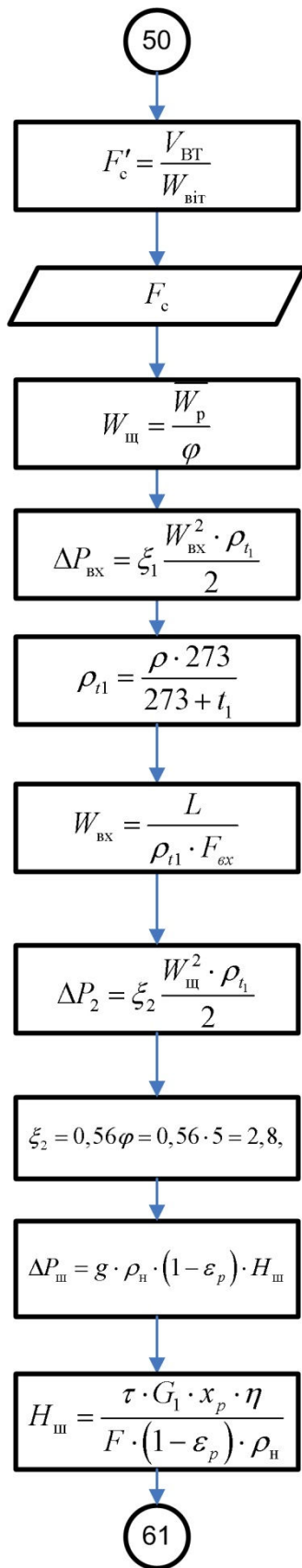


Рисунок Г.1 – продовження

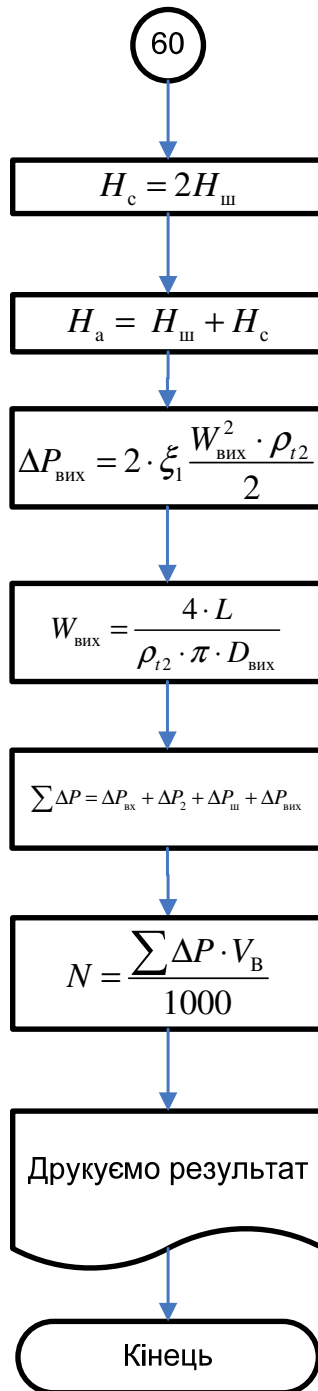


Рисунок Г.1 – закінчення

Додаток Г.2 – Таблиця ідентифікаторів програми розрахунку основних параметрів гранулятора

Таблиця Г.1 – Ідентифікатори до програми

Найменування показників	Ідентифікатор	Одиниця вимірювання	Позначення
Продуктивність по грануляційному продукту	G_2	кг/год	g2
Еквівалентний діаметр часток у псевдозрідженому шарі	D	м	de
Масова доля часток заданого розміру в готовому продукту	S_i	%	sy
Кінцева волога гранульованого продукту	u_2	%	u2
Концентрація початкового розчину	x_p	%	xp
Температура теплоносія на вході в шар матеріалу	t_1	°C	t1
Температура в шарі матеріалу	t_2	°C	t2
Температура теплоносія на виході із шару матеріалу	t_{12}	°C	t12
Температура гранул після апарата	t_{22}	°C	t22
Густина матеріалу	ρ_0	кг/м ³	rot
Насипна густина матеріалу	ρ_i	кг/м ³	ron
Густина повітря	ρ	кг/м ³	ro
Кінематична в'язкість повітря при температурі t_2	ν	м ² /с	nju1
Температура повітря на вході в калорифер	t_0	°C	t0
Вологовміст повітря на вході в калорифер	x_0	кг/кг	x0
Вологовміст повітря після гранулятора	x_2	кг/кг	x2
Склад природного газу			
	CH_4	%	ch4
	C_2H_6	%	c2h6

Продовження таблиці Г.1

	C_3H_8	%	c3h8
Питома теплоємність сухого гранульованого матеріалу	C_M	кДж/кгК	cm
Питома теплоємність повітря	C_B	кДж/кгК	cb
Абсолютний тиск у грануляторі	P	Па	pa
Тиск насичення	$P_{нас}$	Па	pn
Коефіцієнт кінематичної в'язкості газу	ν_2	м ² /с	nju2
Витрата вихідного розчину з урахуванням заданої продуктивності G_2	G_1	кг/ГОД	g1
Коефіцієнт, що враховує фізичні втрати розчину в магістралі	α	-	alf
Кількість випареної вологи	W	кг/ГОД	w
Теплотворна здатність газу	Q_n^p	кДж/м ³	qnr
Ентальпія повітря, що виходить з камери згорання	i_1	кДж/кг	i1
Ентальпія повітря, що надходить до камери згорання	i_0	кДж/кг	i0
Витрати природного газу на 1 кг повітря, яке нагрівається	g_r	м ³ /ГОД	gg
Вологовміст димових газів після камери згорання	x'_0	кг/кг	x01
Коефіцієнт ступеня при С	m	-	m
Коефіцієнт ступеня при Н	n	-	n
Втрати теплоти з висушеним матеріалом	q_m	кДж/кг	qm
Витрати в оточуюче середовище складають 5% від загальних	q_n	кДж/кг	qn
Теплові втрати віднесені до 1 кг випареної вологи	Δ	кДж/кг	del
Абсолютна вологоємність теплоносія на виході з гранулятора	x_2	кг\кг	x2
Ентальпія теплоносія на виході з гранулятора	i_2	кДж/кг	i2
Питомі витрати теплоти	q	кДж/кг	q

Продовження таблиці Г.1

Тепловий ККД гранулятора	η_m	%	etat
Постійна газова стала	r	кДж/кг	r
Загальна витрата теплоти	Q	кДж/с	qz
Витрата природного газу	V_2	м ³ /с	vg
ККД теплогенератора	β	-	bet
Питомі витрати абсолютно сухого повітря	l	кг/кг	la
Загальна витрата теплоносія	L	кг/с	lt
Відносна вологість відпрацьованого теплоносія	φ_2	%	fi2
Об'ємні витрати теплоносія після гранулятора	$V_{\text{вн}}$	м ³ /с	vvt
Коефіцієнт	R_r	-	rr
Абсолютна температура	T_0	°С	t
Об'ємна продуктивність нагнітаючого вентилятора	$V_{\hat{A}}$	м ³ /с	vv
Константа вивантаження	K	1/год	k
Параметри γ -розподілення			
	z	-	z
	n	-	nn
	a	-	a
	b	-	b
	c	-	c
	p	-	pui
	q	-	qui
	γ	-	gam
Зведений діаметр часток	D^*	мм	d1
Максимальне значення діаметру часток, що теплоносієм будуть винесені із шару	D_y	мм	dy
Статистичне γ -розподілення	$g(D)$	-	gd
Середній розмір часток в шарі	\bar{D}	мм	ds
Поріг сепарації, середній розмір часток готового продукту	D_0	мм	d0
Поріг гранулометричного продукту	S	-	sm
Вихід гранульованого продукту	η	%	etag
Лінійна швидкість росту гранул	Λ	мм/год	lag

Продовження таблиці Г.1

Функція потужності внутрішнього джерела центрів грануляції	$\varphi(D)$	-	fid
Середній час перебування часток в шарі	$\bar{\tau}$	сек	tau
Критерій Архімеда	Ar	-	ar1
Густина теплоносія при температурі шару t_2	ρ_{t_2}	кг/м ³	rot2
Коефіцієнт початку псевдозрідження	ε_0	-	eps0
Робоча швидкість псевдозрідження	W_p	м/с	wp
Коефіцієнт для умови виносу часток	ε	-	eps
Критерій Рейнольдса для умови виносу часток	$Re_{\hat{A}}$	-	rev
Швидкість виносу часток	$W_{\hat{A}}$	ì /с	wv
Площа апарата	F'	м ²	f
Прийнята площа апарату	F	м ²	f1
Реальна швидкість псевдозрідження	W'_p	м/с	wp1
Питома продуктивність по волозі	A_f	кг/м ² · год	af
Дійсна швидкість газів безпосередньо над газорозподільною решіткою	\overline{W}_p	м/с	wrr
Критерій Архімеда для умов виносу	$Ar_{\text{віт}}$	-	arvit
Критерій Рейнольдса для умов виносу часток	$Re_{\text{віт}}$	-	revit
Швидкість виносу часток з мінімальним розміром	$W_{\text{віт}}$	м/с	wvit
Площа апарату в зоні сепараційного простору	F'_c	м ²	fc
Прийнята площа апарату в зоні сепараційного простору	F_c	м ²	fc1
Швидкість в щілинах газорозподільної решітки	$W_{\text{щ}}$	м/с	wsh
Гідравлічний опір вхідного штуцера	$\Delta P_{\text{вх}}$	Па	dpvh
Коефіцієнт гідравлічного опору штуцера	ξ_1	-	e1
Густина теплоносія при температурі t_1 на вході в апарат	ρ_{t_1}	кг/м ³	rot1
Швидкість теплоносія у вхідному штуцері	$W_{\text{вх}}$	м/с	wvh

Продовження таблиці Г.1

Поперечний перетин вхідного штуцера	$F_{\text{вх}}$	м ²	fvh
Гідравлічний опір газорозподільного пристрою (ГРП)	ΔP_2	Па	dp2
Коефіцієнт гідравлічного опору газорозподільного пристрою (ГРП)	ξ_2	-	e2
Гідравлічний опір псевдозрідженого шару	$\Delta P_{\text{ш}}$	Па	dpsh
Висота псевдозрідженого шару	$H_{\text{ш}}$	м	hsh
Висота сепараційної зони	$H_{\text{с}}$	м	hc
Висота камери гранулятора	$H_{\text{а}}$	м	ha
Гідравлічний опір вихідних штуцерів	$\Delta P_{\text{вих}}$	Па	dpvyh
Швидкість теплоносія у вихідних штуцерах	$W_{\text{вих}}$	м/с	wvyh
Діаметри штуцерів	$D_{\text{вих}}$	м	dvyh
Сумарний гідравлічний опір гранулятора (без циклонів)	$\sum \Delta P$	Па	sdp
Витрати потужності	N	кВт	nv

Додаток Г.3 – Опис програми розрахунку основних параметрів гранулятора

Метою розрахунку є визначення основних розмірів теплообмінника.

Порядок розрахунку:

Блок 1. Початок програми.

Блок 2. Вводяться початкові дані для розрахунку.

Блок 3. Визначаємо витрату вихідного розчину з урахуванням заданої продуктивності.

Блок 4. Визначаємо кількість випареної вологи.

Блок 5. Визначаємо теплотворну здатність газу.

Блок 6. Визначаємо ентальпію повітря, що виходить з камери згорання.

Блок 7. Визначаємо ентальпію повітря, що надходить до камери згорання.

Блок 8. Визначаємо витрати природного газу на 1 кг повітря, яке нагрівається.

Блок 9. Визначаємо вологовміст димових газів після камери згорання.

Блок 10. Визначаємо втрати теплоти з висушеним матеріалом.

Блок 11. Визначаємо витрати в оточуюче середовище.

Блок 12. Визначаємо теплові втрати віднесені до 1 кг випареної вологи.

Блок 13. Визначаємо абсолютну вологоємність теплоносія на виході з гранулятора.

Блок 14. Визначаємо ентальпію теплоносія на виході з гранулятора.

Блок 15. Визначаємо питомі витрати теплоти.

Блок 16. Визначаємо тепловий ККД гранулятора.

- Блок 17. Визначаємо загальну витрата теплоти.
- Блок 18. Визначаємо витрату природного газу.
- Блок 19. Визначаємо питомі витрати абсолютно сухого повітря.
- Блок 20. Визначаємо загальну витрата теплоносія.
- Блок 21. Визначаємо відносну вологість відпрацьованого теплоносія.
- Блок 22. Визначаємо об'ємні витрати теплоносія після гранулятора з температурою t_2 і відносною вологістю φ_2 при $P \approx 10^5$ Па.
- Блок 23. Визначаємо об'ємну продуктивність нагнітаючого вентилятора.
- Блок 24. Визначаємо константу вивантаження.
- Блок 25. Визначення параметрів γ -розподілення.
- Блок 26. Визначаємо зведений діаметр часток.
- Блок 27. Визначаємо розподілення маси гранул по їх розміру.
- Блок 28. Визначаємо середній розмір часток в шарі.
- Блок 29. Визначаємо поріг гранулометричного продукту.
- Блок 30. Визначаємо середній розмір часток готового продукту.
- Блок 31. Визначаємо вихід гранульованого продукту.
- Блок 32. Визначаємо лінійну швидкість росту гранул.
- Блок 33. Визначаємо функцію потужності внутрішнього джерела центрів грануляції.
- Блок 34. Визначаємо середній час перебування часток в шарі.
- Блок 35. Визначаємо критерій Архімеда.
- Блок 36. Визначаємо густину теплоносія при температурі шару t_2 .
- Блок 37. Визначаємо критерій Рейнольдса початку псевдозрідження ($\varepsilon_0 = 0,4$).
- Блок 38. Визначаємо критичну швидкість початку псевдозрідження.
- Блок 39. Визначаємо критерій Рейнольдса для робочого режиму

псевдозрідження ($\varepsilon_0 = 0,65$).

Блок 40. Визначаємо робочу швидкість псевдозрідження.

Блок 41. Визначаємо критерій Рейнольдса для умов виносу часток ($\varepsilon = 1$).

Блок 42. Визначаємо швидкість виносу часток.

Блок 43. Визначаємо площу апарата.

Блок 44. Приймаємо прямокутний апарат з, площею поперечного перерізу F .

Блок 45. Визначаємо реальну швидкість псевдо зрідження.

Блок 46. Визначаємо питому продуктивність по волозі.

Блок 47. Визначаємо дійсну швидкість газів безпосередньо над газорозподільною решіткою.

Блок 48. Визначаємо критерій Архімеда для умов виносу.

Блок 49. Визначаємо критерій Рейнольдса для умов виносу часток ($\varepsilon = 1$).

Блок 50. Визначаємо швидкість виносу часток з мінімальним розміром.

Блок 51. Визначаємо площу апарату в зоні сепараційного простору.

Блок 52. Приймаємо площу апарату в зоні сепараційного простору F_c .

Блок 53. Визначаємо швидкість в щілинах газорозподільної решітки.

Блок 54. Визначаємо гідравлічний опір вхідного штуцера.

Блок 55. Визначаємо густину теплоносія при температурі на вході в апарат.

Блок 56. Визначаємо швидкість теплоносія у вхідному штуцері.

Блок 57. Визначаємо гідравлічний опір газорозподільного

пристрою.

Блок 58. Визначаємо коефіцієнт гідравлічного опору.

Блок 59. Визначаємо гідравлічний опір псевдозрідженого шару.

Блок 60. Визначаємо висота псевдозрідженого шару.

Блок 61. Визначаємо висоту сепараційної зони.

Блок 62. Визначаємо висоту камери гранулятора.

Блок 63. Визначаємо гідравлічний опір вихідних штуцерів.

Блок 64. Визначаємо швидкість теплоносія у вихідних штуцерах.

Блок 65. Визначаємо сумарний гідравлічний опір гранулятора.

Блок 66. Визначаємо витрати потужності.

Блок 67. Друкуємо результат.

Блок 68. Кінець програми.

Додаток Г.4 – Програма розрахунку основних параметрів гранулятора

CLS

OPEN "1.txt" FOR OUTPUT AS #1

INPUT "Oznayomytes' z prykladom rozrahunku? Jaksho TAK - natysnit' (1),
jaksho NI - natysnit'(2)"; O

IF O = 2 THEN GOTO 10

INPUT "Produktyvnist' po granulyaciynomu produktu, kg/god, g2="; g2

INPUT "Ekvivalentnyy diametr chastok u psevdozridjenomu shari, m, de="; de

INPUT "Masova dolya chastok zadanogo rozmiru v gotovomu produktu, %, sy="; sy

INPUT "Kinceva vologa granul'ovanogo produktu, %, u2="; u2

INPUT "Koncentraciya pochatkovogo rozchynu, %, xp="; xp

INPUT "Temperatura teplonosiya na vhodi v shar materialu, grad C, t1="; t1

INPUT "Temperatura v shari materialu, grad C, t2="; t2

INPUT "Temperatura teplonosiya na vyhodi iz sharu materialu, grad C, t12=";
t12

INPUT "Temperatura granul pislya aparata, grad C, t22="; t22

INPUT "Gustyna materialu, kg/m³, rot="; rot

INPUT "Nasypna gustyna materialu, kg/m³, ron="; ron

INPUT "Gustyna povitrya, kg/m³, ro="; ro

INPUT "Kinematychna v'yazkist' povitrya pry temperaturi t2, nju1*10⁻⁵
m²/c, nju1="; nju1

INPUT "Temperatura povitrya na vhodi v kaloryfer, grad C, t0="; t0

INPUT "Vologovmyst povitrya na vhodi v kaloryfer, kg/kg, x0="; x0

INPUT "Vologovmyst povitrya pislya granulyatora, kg/kg, x2="; x2

PRINT #1, "Sklad pryrodnogo gazu"

INPUT "CH4, %, CH4="; ch4

```

INPUT "C2H6, %, C2H6="; c2h6
INPUT "C3H8, %, C3H8="; c3h8
INPUT "Pytoma teploemnist' suhogo granul'ovanogo materialu, kDj/kg*K,
cm="; cm
INPUT "Pytoma teploemnist' povitrya, kDj/kg*K, cb="; cb
INPUT "Absolyutnyy tysk u granulyatori, Pa, pa="; pa
INPUT "Tysk nasychennya, Pa, pn="; pn
INPUT "Koeficient kinematychnoi v'yazkosti gazu, nju2*10^-6 m^2/c, nju2=";
nju2
INPUT "Koeficient, scho vrahovue fizychni vtraty rozchynu v magistrali, alf=";
alf
GOTO 20
10 : DATA 2000,0.0025,90,0.1,45,350,105,90,40,1230,1000,1.293,2.24E-
05,17,0.0092,0.01,98.9,0.3,0.1,1.59,1.005,96000,98000,23.3E-06,0.03
READ g2, de, sy, u2, xp, t1, t2, t12, t22, rot, ron, ro, nju1, t0, x0, x2, ch4, c2h6,
c3h8, cm, cb, pa, pn, nju2, alf
20 : PRINT #1, "Vytrata vyhidnogo rozchynu z urahuvannyam zadanoi
produktyvnosti g2, g1=";
g1 = g2 * (1 + alf) * (100 - u2) / (100 - (100 - xp))
PRINT #1, g1; "kg/god"
PRINT #1, "Kil'kist' vyparenoi vology, w=";
w = g1 - g2
PRINT #1, w; "kg/god"
PRINT #1, "Teplotvorna zdatnist' gazu, qnr=";
qnr = 358.2 * ch4 + 637.5 * c2h6 + 912.5 * c3h8
PRINT #1, qnr; "kJ/m^3"
PRINT #1, "Ental'piya povitrya, scho vyhodyt' z kamery zgorannya, i1=";
i1 = (1 + 1.96 * x0) * t1 + 2480 * x0

```

```

PRINT #1, i1; "kJ/kg"
PRINT #1, "Ental'piya povitrya, scho nadhodyt' do kamery zgorannya, i0=";
i0 = (1 + 1.96 * x0) * t0 + 2480 * x0
PRINT #1, i0; "kJ/kg"
PRINT #1, "Vytraty pryrodnogo gazu na 1 kg povitrya, yake nagrivaet'sya,
gg=";
gg = (i1 - i0) / qnr
PRINT #1, gg; "m^3/kg"
PRINT #1, "Vologovmist dymovyh gaziv pislya kamery zgorannya, x01=";
x01 = gg * (((.09 / (12 * 1 + 4)) * .989) + ((.09 / (12 * 2 + 6)) * .003) + ((.09 /
(12 * 3 + 8)) * .001)) + .0092
PRINT #1, x01; "kg/kg"
PRINT #1, "Vtraty teploty z vysushenym materialom, qm=";
qm = (g2 * cm * (t2 - t0)) / w
PRINT #1, qm; "kJ/kg"
PRINT #1, "Vytraty v otochuyuche seredovysche skladayut' 5% vid zagal'nyh,
qp=";
qp = .05 * (2480 + 1.96 * t2 + qm - 4.19 * t0)
PRINT #1, qp; "kJ/kg"
PRINT #1, "Teplovi vtraty vidneseni do 1 kg vyparenoi vology, del=";
del = qm + qp - cb * (t12 - t0)
PRINT #1, del; "kJ/kg"
PRINT #1, "Absolyutna vologoemnist' teplonosiya na vyhodi z granulyatora,
x2=";
x2 = (i1 + x0 * del - t2) / (del + 1.96 * t2 + 2480)
PRINT #1, x2; "kg/kg"
PRINT #1, "Ental'piya teplonosiya na vyhodi z granulyatora, i2=";
i2 = (1 + 1.96 * x2) * t2 + 2480 * x2

```



```

PRINT #1, i2; "kJ/kg"
PRINT #1, "Pytomi vytraty teploty, q=";
q = (i1 - i0) / (x2 - x0)
PRINT #1, q; "kJ/kg"
rg = 2480
PRINT #1, "Teplovyy KKD granulyatora, etat=";
etat = (rg / q) * 100
PRINT #1, etat; "%"
PRINT #1, "Zagal'na vytrata teploty, qz=";
qz = q * w / 3600
PRINT #1, qz, "kJ/c"
bet = .96
PRINT #1, "Vytrata pryrodnogo gazu, vg=";
vg = qz / (qnr * bet)
PRINT #1, vg, "m^3/c"
PRINT #1, "Pytomi vytraty absolyutno suhogo povitrya, la=";
la = 1 / (x2 - x0)
PRINT #1, la, "kg/kg"
PRINT #1, "Zagal'na vytrata teplonosiya, lt=";
lt = (la * w) / 3600
PRINT #1, lt, "kg/c"
PRINT #1, "Vidnosna vologist' vidprac'ovanogo teplonosiya, fi2=";
fi2 = (x2 * pa * 100) / (pn * (x2 + .622))
PRINT #1, fi2, "%"
rr = 287
t = 273
PRINT #1, "Ob'emni vytraty teplonosiya pislya granulyatora, vvt=";
vvt = (lt * rr * (t + t2) * 100) / (pn * (100 - fi2))

```

```

PRINT #1, vvt, "m^3/c"
PRINT #1, "Ob'emna produktyvnist' nagnitayuchogo ventilyatora, vv=";
vv = lt / ro
PRINT #1, vv, "m^3/c"
PRINT #1, "Konstanta vyvantajennya, k=";
k = .005 * t1 - .87
PRINT #1, k, "1/god"
PRINT #1, "Parametry y-rozpodilennya"
a = 2.695
b = 2.873
c = 6.809
pui = .1995
qui = 2.409
gam = 3.506
z = gam + a * k
nn = (pui + qui * k) * b + c
PRINT #1, "z=", z
PRINT #1, "nn=", nn
nn1 = nn - 1
nn1 = CINT(nn1)
PRINT #1, "nn1="; nn1
n1 = 1
FOR ps = 1 TO nn1
n1 = n1 * ps
NEXT ps
PRINT #1, "n1="; n1
dy = .00025
PRINT #1, "Zvedennyy diametr chastok, d1=";

```

```

d1 = de - dy
PRINT #1, d1, "m"
PRINT #1, "Statystychne y-rozpodilennya, gd=";
gd = ((z ^ nn) / n1) * ((d1 * 10 ^ 3) ^ (nn - 1)) * EXP(-z * (d1 * 10 ^ 3))
PRINT #1, gd
PRINT #1, "Seredniy rozmir chastok v shari, ds=";
ds = (nn / z) / 1000
PRINT #1, ds, "m"
PRINT #1, "Porig separacii, seredniy rozmir chastok gotovogo produktu, d0=";
d0 = (((ds ^ 5) * (1 - 90 / 100)) / (90 / 100)) ^ (1 / 5)
PRINT #1, d0, "m"
PRINT #1, "Porig granulometrychnogo produktu, sm=";
sm = (d1 ^ 5) / ((d1 ^ 5) + (d0 ^ 5))
PRINT #1, sm, "m"
PRINT #1, "Vyhid granul'ovanogo produktu, etag=";
etag = (g2 / g1) * 100
PRINT #1, etag, "%"
PRINT #1, "Liniyna shvydkist' rostu granul, lag=";
lag = (k / 6) * (etag / 100) * (ds * 1000)
PRINT #1, lag, "mm/god"
d1 = d1
PRINT #1, "Funkciya potujnosti vnutrishn'ogo djerela centriv granulyacii, fid=";
fid = ((2 * lag) / (d1 * 1000)) * ((nn - 1) - z * (d1 * 1000)) + k * (etag / 100) *
sm - ((6 * lag) / (d1 * 1000))
PRINT #1, fid, ""
PRINT #1, "Seredniy chas perebuvannya chastok v shari, tau=";
tau = 1 / k
PRINT #1, tau, "god"

```

```

g = 9.81
PRINT #1, "Gustyna teplonosiya pry temperaturi sharu, rot2=";
rot2 = (ro * t) / (t + t2)
PRINT #1, rot2; "kg/m^3"
PRINT #1, "Kryteriy Arhimedya, ar1=";
ar1 = (g * (ds ^ 3) * (rot - rot2)) / ((nju2 ^ 2) * rot2)
PRINT #1, ar1, ""
eps0 = .4
PRINT #1, "Koefficient pochatku psevdozridjennya, eps0="; eps0
PRINT #1, "Kryteriy Reynol'dsa pochatku psevdozridjennya, re1=";
re1 = (ar1 * eps0 ^ 4.75) / (18 + .61 * (ar1 * eps0 ^ 4.75) ^ .5)
PRINT #1, re1, ""
PRINT #1, "Krytychna shvydkist' pochatku psevdozridjennya, wkr=";
wkr = re1 * nju2 / d1
PRINT #1, wkr, "m/c"
epsp = .65
PRINT #1, "Koefficient dlya robochogo rejymu psevdozridjennya, epsp="; epsp
PRINT #1, "Kryteriy Reynol'dsa dlya robochogo rejymu psevdozridjennya,
rep=";
rep = (ar1 * epsp ^ 4.75) / (18 + .61 * (ar1 * epsp ^ 4.75) ^ .5)
PRINT #1, rep, ""
PRINT #1, "Robocha shvydkist' psevdozridjennya, wp=";
wp = rep * nju2 / d1
PRINT #1, wp, "m/c"
eps = 1
PRINT #1, "Koefficient dlya umovy vynosu chastok, eps="; eps
PRINT #1, "Kryteriy Reynol'dsa dlya umovy vynosu chastok, rev=";
rev = (ar1 * eps ^ 4.75) / (18 + .61 * (ar1 * eps ^ 4.75) ^ .5)

```

```

PRINT #1, rev, ""
PRINT #1, "Shvydkist' vynosu chastok, wv=";
wv = rev * nju2 / d1
PRINT #1, wv, "m/c"
PRINT #1, "Ploscha aparata, f=";
f = (vv * ((t + t2) / t)) / wp
PRINT f, "m^2"
PRINT #1, f, "m^2"
INPUT "Pryynyata ploscha aparatu, f1="; f1
PRINT #1, "Pryynyata ploscha aparatu, f1="; f1
PRINT #1, "Real'na shvydkist' psevdozridjennya, wp1=";
wp1 = (vv * ((t + t2) / t)) / f1
PRINT #1, wp1, "m/c"
af1 = 700
PRINT #1, "Pytoma produktyvnist' po volozhi, af=";
af = w / f1
PRINT #1, af, "kg/m^2*god"
IF af < 700 THEN PRINT #1, "Umova ne vykonyet'sja: "; "af="; af; " < ";
"af1="; af1 ELSE PRINT #1, "Umova vykonyet'sja: "; "af="; af; " > "; "af1=";
af1
PRINT #1, "Diysna shvydkist' gaziv bezposeredn'o nad gazorozpodil'noyu
reshitkoyu, wr=";
wr = wp1 * ((t + t1) / (t + t2))
PRINT #1, wr, "m/c"
PRINT #1, "Kryteriy Arhimeda dlya umov vynosu, arvyt=";
dm = .00025
arvyt = (g * (dm ^ 3) * (rot - rot2)) / ((nju2 ^ 2) * rot2)
PRINT #1, arvyt, ""

```

```

PRINT #1, "Kryteriy Reynol'dsa dlya umovy vynosu chastok, revyt=";
revyt = (arvyt * eps ^ 4.75) / (18 + .61 * (arvyt * eps ^ 4.75) ^ .5)
PRINT #1, revyt, ""
PRINT #1, "Shvydkist' vynosu chastok z minimal'nym rozmirom, wvyt=";
wvyt = revyt * nju2 / dm
PRINT #1, wvyt, "m/c"
PRINT #1, "Ploscha aparatu v zoni separaciynogo prostoru, fc=";
fc = vvt / wvyt
PRINT fc, "m^2"
PRINT #1, fc, "m^2"
INPUT "Pryynyata ploscha aparatu v zoni separaciynogo prostoru, fc1="; fc1
PRINT #1, "Pryynyata ploscha aparatu v zoni separaciynogo prostoru, fc1=";
fc1
fyy = .1
PRINT #1, "Shvydkist' v schilynah gazorozpodil'noi reshitky, wsh=";
wsh = wrr / fyy
PRINT #1, wsh, "m/c"
PRINT #1, "Gustyna teplonosiya pry temperaturi t1 na vhodi v aparat, rot1=";
rot1 = ((ro * t) / (t + t1))
PRINT #1, rot1, "kg/m^3"
e1 = .5
fvh = .9
PRINT #1, "Shvydkist' teplonosiya u vhidnomu shtuceri, wvh=";
wvh = lt / (rot1 * fvh)
PRINT #1, wvh, "m/c"
PRINT #1, "Gidravlichnyy opir vhidnogo shtucera, dpvh=";
dpvh = e1 * (((wvh ^ 2) * rot1) / 2)
PRINT #1, dpvh, "Pa"

```

```

e2 = 2.8
PRINT #1, "Gidravlichnyy opir gazorozpodil'nogo prystroyu (GRP), dp2=";
dp2 = e2 * (((wsh ^ 2) * rot1) / 2)
PRINT #1, dp2, "Pa"
PRINT #1, "Vysota psevdozridjenogo sharu, shs=";
shs = (tau * g1 * (xp / 100) * (etag / 100)) / (f1 * (1 - epsp) * ron)
PRINT #1, shs, "m"
PRINT #1, "Gidravlichnyy opir psevdozridjenogo sharu, dpsh=";
dpsh = g * ron * (1 - epsp) * shs
PRINT #1, dpsh, "Pa"
PRINT #1, "Vysota separaciynoi zony, hc=";
hc = 2 * shs
PRINT #1, hc, "m"
PRINT #1, "Vysota kamery granulyatora, ha=";
ha = shs + hc
PRINT #1, ha, "m"
dvyh = .864
PRINT #1, "Shvydkist' teplonosiya u vyhidnyh shtucerah, wvyh=";
wvyh = (4 * lt) / (rot2 * 3.14159 * dvyh)
PRINT #1, wvyh, "m/c"
PRINT #1, "Gidravlichnyy opir vyhidnyh shtuceriv, dpvyh=";
dpvyh = 2 * e1 * (((wvyh ^ 2) * rot2) / 2)
PRINT #1, dpvyh, "Pa"
PRINT #1, "Sumarnyy gidravlichnyy opir granulyatora (bez cykloniv), sdp=";
sdp = dpvh + dp2 + dpsh + dpvyh
PRINT #1, sdp, "Pa"
PRINT #1, "Vytraty potujnosti, nv=";
nv = (sdp * vv) / 1000

```

```
PRINT #1, nv, "kVt"
```

```
END
```


Додаток Г.5 – Результати розрахунку

Витрата вихідного розчину з урахуванням заданої продуктивності g_2 ,

$$g_1 = 5000 \text{ кг/год}$$

Кількість випареної вологи, $w = 3000 \text{ кг/год}$

Теплотворна здатність газу, $q_{gr} = 7000.48 \text{ кДж/м}^3$

Температура на вході в апарат, $t_1 = 350 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура в шарі апарата, $t_2 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$

Ентальпія повітря, що виходить з камери згорання, $i_1 = 379.1272 \text{ кДж/кг}$

Ентальпія повітря, що надходить до камери згорання, $i_0 = 40.12254 \text{ кДж/кг}$

Витрати природного газу на 1 кг повітря, яке нагрівається,

$$g_g = 9.493673\text{E-}03 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Вологовміст димових газів після камери згорання, $x_{01} = 9.25292\text{E-}03 \text{ кг/кг}$

Втрати теплоти з висушеним матеріалом, $q_m = 108.7517 \text{ кДж/кг}$

Втрати в оточуюче середовище складають 5% від загальних,

$$q_r = 136.1661 \text{ кДж/кг}$$

Теплові витрати віднесені до 1 кг випареної вологи, $del = 171.5528 \text{ кДж/кг}$

Абсолютна вологоємність теплоносія на виході з гранулятора,

$$x_2 = 9.648982\text{E-}02 \text{ кг/кг}$$

Ентальпія теплоносія на виході з гранулятора, $i_2 = 364.1524 \text{ кДж/кг}$

Питомі витрати теплоти, $q = 3883.667 \text{ кДж/кг}$

Тепловий ККД гранулятора, $etat = 63.85717 \%$

Загальна витрата теплоти, $q_z = 2775.959 \text{ кДж/с}$

Питомі витрати абсолютно сухого повітря, $la = 11.45609 \text{ кг/кг}$

Загальна витрата теплоносія, $It = 34696 \text{ м}^3/\text{год} = 9,54 \text{ кг/с}$

Відносна вологість відпрацьованого теплоносія, $fi_2 = 13.15546 \%$

Об'ємні витрати теплоносія після гранулятора, $vvt = 34696 \text{ м}^3/\text{год} = 9,63 \text{ м}^3/\text{с}$

Об'ємна продуктивність нагнітаючого вентилятора, $vv = 10 \text{ м}^3/\text{с}$

Константа вивантаження, $k = .8899999$ 1/год

Параметри розподілення

$z = 5.8776$

$nn = 13.47269$

$nn1 = 12$

$n1 = 4.790016E+08$

Заданий діаметр часток, $d1 = 2.3$ мм = $.00225$ м

Статистичне у-розподілення, $gd = 2.148582$

Середній розмір часток в шари, $ds = 2.29221E-03$ м

Вихід гранульованого продукту, $etag = 90.63305$ %

Лінійна швидкість росту гранул, $lag = .296$ мм/год

Середній час перебування часток в шари, $tau = 1.85$ год

Густина теплоносія при температури шару, $rot2 = .9338333$ кг/м³

Критерій Архімеда, $ar1 = 286435.2$

Коефіцієнт початку псевдозрідження, $eps0 = .4$

Критерій Рейнольдса початку псевдозрідження, $re1 = 67.00226$

Критична швидкість початку псевдозрідження, $wkr = .6938456$ м/с

Коефіцієнт для робочого режиму псевдозрідження, $epsr = .65$

Критерій Рейнольдса для робочого режиму псевдозрідження,

$rer = 273.4521$

Робоча швидкість псевдозрідження, $wpr = 2.831748$ м/с

Коефіцієнт для умови виносу часток, $eps = 1$

Критерій Рейнольдса для умови виносу часток, $rev = 831.5247$

Швидкість виносу часток, $wv = 8.610901$ м/с

Площа апарата, $f = 3.096588$ м²

Прийнята площа апарату, $f1 = 3$

Реальна швидкість псевдозрідження, $wpr1 = 2.92292$ м/с

Питома продуктивність по волозі, $af = 857.7334$ кг/м²*год

Умова виконується: $af = 857.7334 > af1 = 700$

Критерій Архімеда для умов виносу, $arvut = 371.6064$

Критерій Рейнольдса для умов виносу часток, $revut = 12.48718$

Швидкість виносу часток з мінімальним розміром, $wvut = 1.163805 \text{ м/с}$

Площа апарату в зони сепараційного простору, $fc = 6.3968756 \text{ м}^2$

Прийнята площа апарату в зони сепараційного простору, $fc1 = 7.0$

Швидкість в щілинах газорозподільної решітки, $wsh = 48.17404 \text{ м/с}$

Густина теплоносія при температури $t1$ на входи в апарат,

$\rho t1 = .5665955 \text{ кг/м}^3$

Швидкість теплоносія у вхідному штуцери, $wvh = 32.11603 \text{ м/с}$

Гідравлічний опір вхідного штуцера, $dpvh = 146.1022 \text{ Па}$

Гідравлічний опір газорозподільного пристрою (ГРП),

$dp2 = 1840.888 \text{ Па}$

Висота псевдозрідженого шару, $shs = .52 \text{ м}$

Гідравлічний опір псевдозрідженого шару, $dpsh = 2815.47 \text{ Па}$

Висота сепараційної зони, $hc = 1.4 \text{ м}$

Висота камери гранулятора, $ha = 2.58 \text{ м}$

Площа вихідних штуцерів, $fvuh = .6525 \text{ м}^2$

Швидкість теплоносія у вихідних штуцерах, $wvuh = 13.43871 \text{ м/с}$

Гідравлічний опір вихідних штуцерів, $dpvuh = 84.32464 \text{ Па}$

Сумарний гідравлічний опір гранулятора (без циклонів),

$sdp = 4886.785 \text{ Па}$

Витрати потужності, $nv = 30.94797 \text{ кВт}$