



НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ
ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

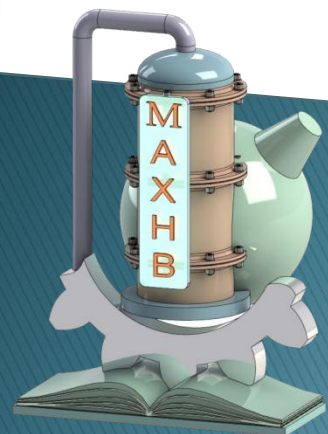
Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ПРОЦЕС СУШІННЯ ТОНКОДИСПЕРСНОЇ ПАСТИ ДІОКСИДУ ТИТАНУ

Спеціальність: 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

Здобувач: асистент Гробовенко Я.В.
Науковий керівник: к.т.н., проф. Марчевський В.М.



Київ 2019

Області застосування пігменту TiO_2



Наповнювач і барвник у фармацевтичній та харчовій галузі



Наповнювач і барвник для паперу



Виробництво пластику



Виробництво косметики



Виробництво посуду та одягу

Виробництво лаків та фарб



Способи отримання пігменту TiO_2

3

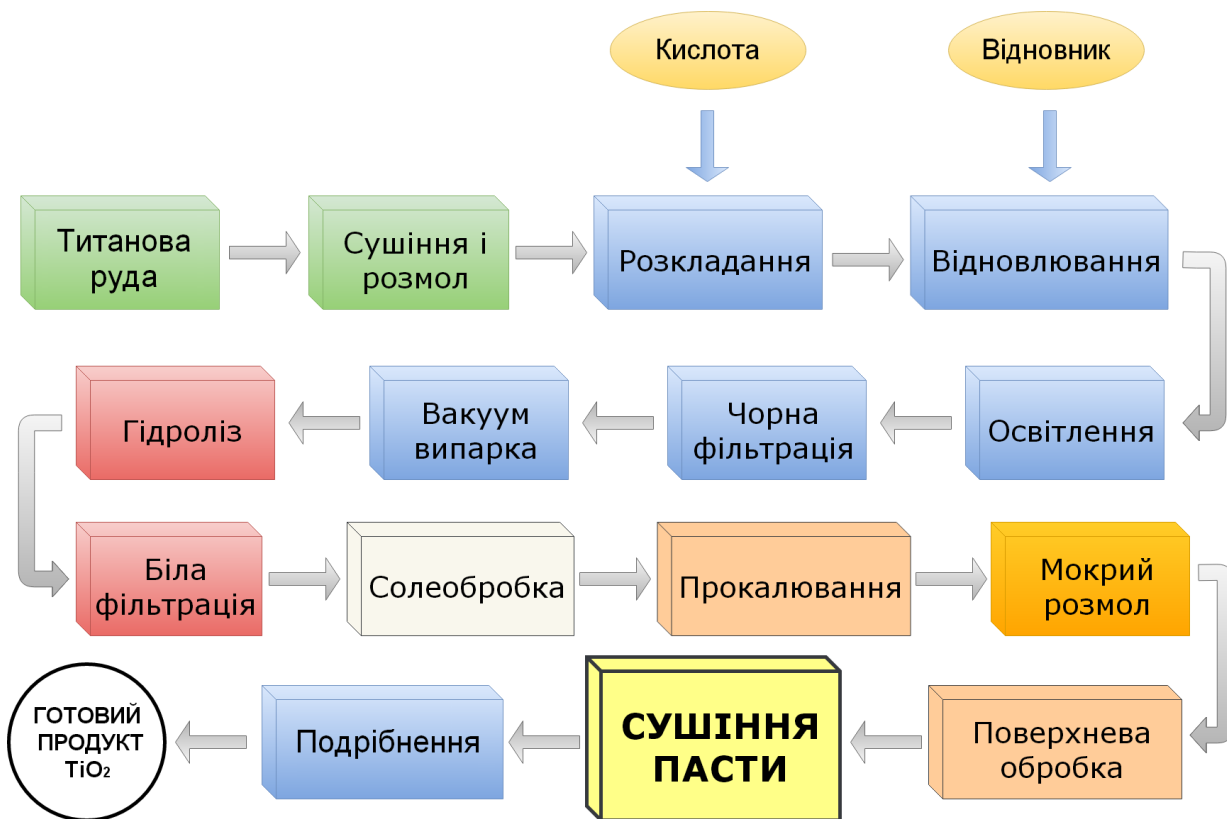


Рисунок 1 – Схема отримання пігменту TiO_2

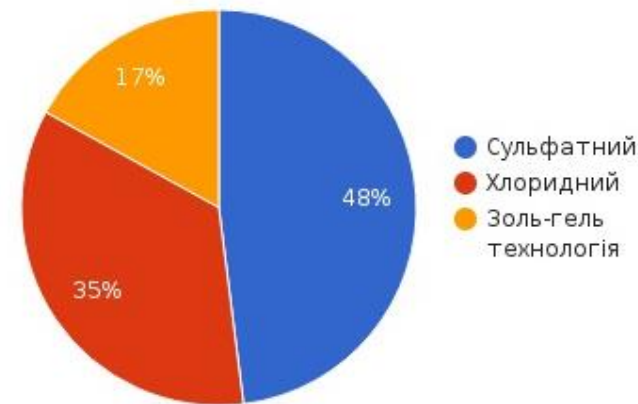


Рисунок 2 – Способи Отримання пігменту TiO_2

Актуальність роботи

4

1. Зменшення затрат теплової енергії, що витрачається на сушіння пастоподібних продуктів:

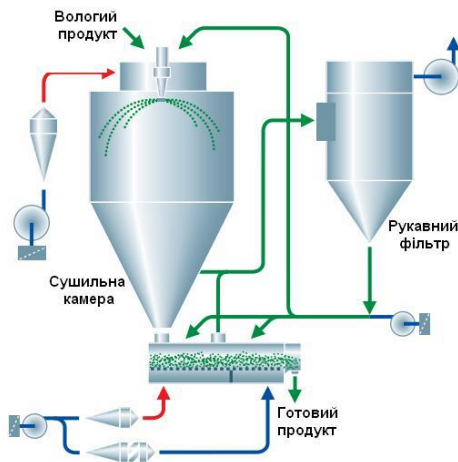


Рисунок 3 - Розпилююча сушарка:

Початкова вологість матеріалу: 70%

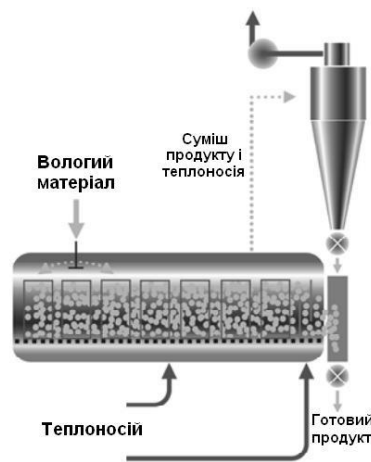


Рисунок 4 - Сушарка КШ:

Початкова вологість матеріалу: 60%

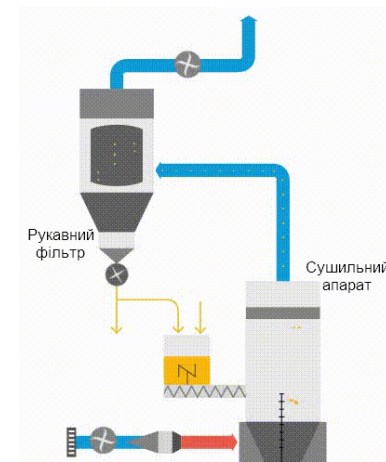


Рисунок 5 - Вихрова сушарка типу «Флеш»:

Початкова вологість матеріалу: 50%

2. Збільшення швидкості сушіння пастоподібних продуктів.

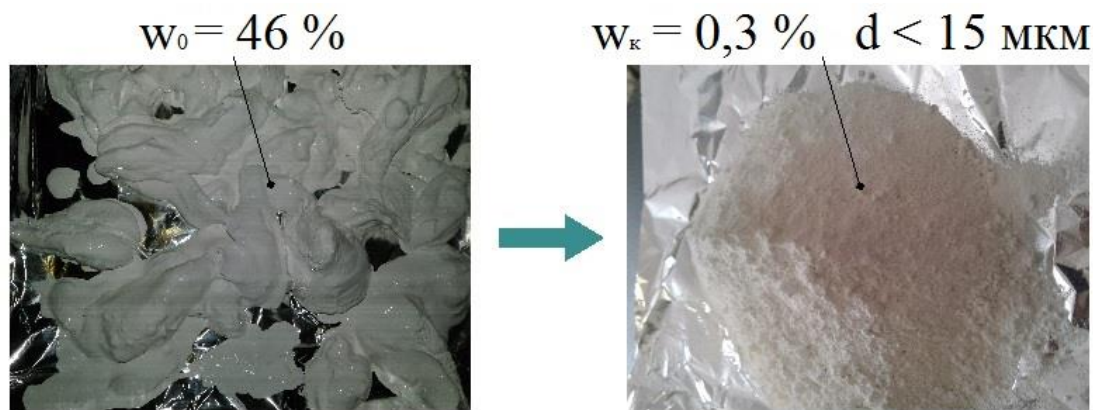
3. Підвищення якості та забезпечення низької залишкової вологості готового продукту.

Науково-технічна задача роботи

Суть науково-технічної задачі полягає в отриманні тонкодисперсного порошку діоксиду титану із пасти TiO_2 при дотриманні технічних вимог державних стандартів, що висуваються до готового продукту

Таблиця 1 – Технічні вимоги до пігменту TiO_2 згідно ДСТУ 30333:2009

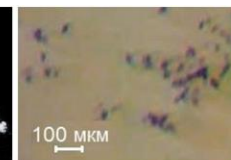
Величина	Значення
Залишкова вологість w , %	0,3
Розмір частинок d , мкм	≤ 15
Білизна, ум. од.	97,0



Науково-технічна ідея роботи



Паста TiO_2

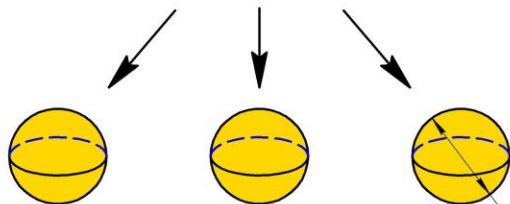


$$W_K \leq 0,3\%$$

$$d_1 \leq 15 \text{ мкм}$$

Готовий
продукт TiO_2

Формування
агломератів

 W_0


$$d_0 \approx 4 \text{ мм}$$

Сушіння та
диспергування

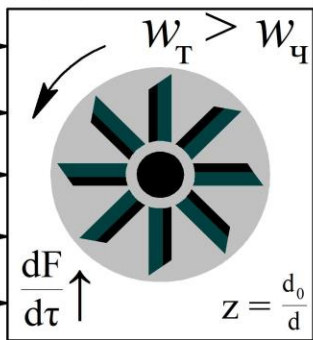


$$x_0 < x_1$$

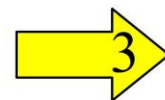
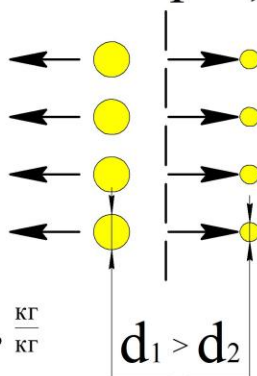
$$Q_{T_1}, \text{ кВт}$$

$$t_{T_0}, ^\circ\text{C}$$

$$x_0, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

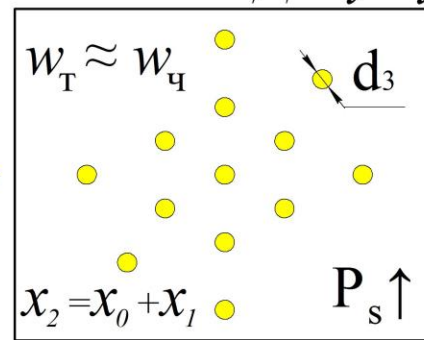


Сепарація



$$x_2 < x_1$$

Досушування



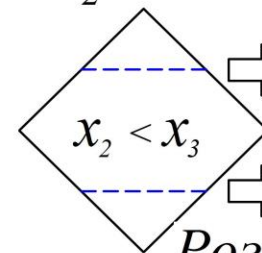
$$Q_{T_2}, \text{ кВт}$$

$$t_{T_0}, ^\circ\text{C}$$

$$x_0, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

поверхнева волога

адсорбційно-зв'язана волога



Відпрацьований
теплоносії, $x_3, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$

Розділення

z - ступінь подрібнення

Мета дослідження:

Встановити кінетичні закономірності процесу сушіння тонкодисперсної пасти TiO_2 та основні технологічні параметри, що необхідні для проектування промислових сушильних установок

Об'єкт дослідження:

Процес сушіння тонкодисперсної пасти діоксиду титану у вихровому сушильному апараті

Предмет дослідження:

Кінетика процесу сушіння пасти діоксиду титану та параметри процесу, що необхідні для проектування промислових сушильних установок

Задачі дослідження:

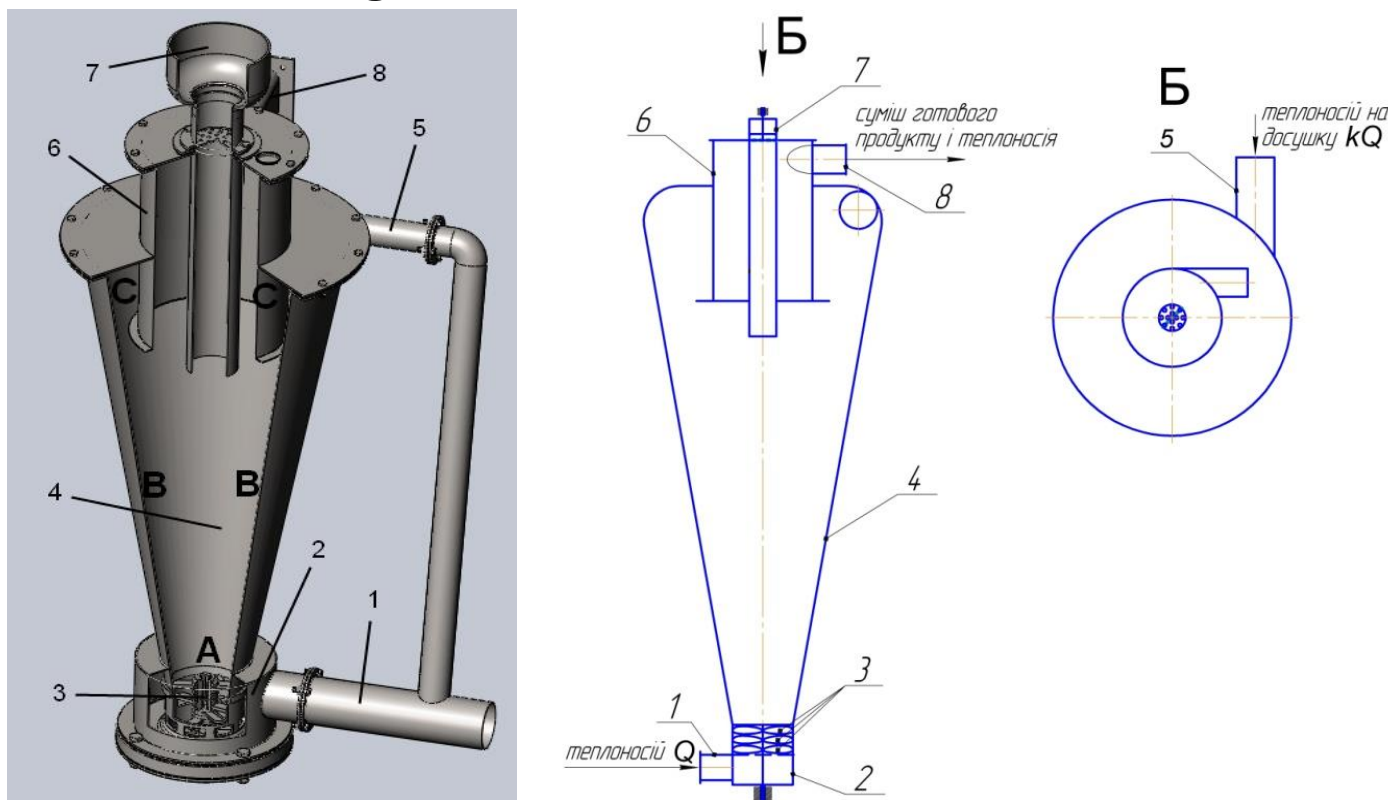
1. Провести аналіз існуючих технологій сушіння пастоподібних продуктів та конструкцій сушильних установок.
2. Сформулювати фізичну модель процесу сушіння пасти TiO_2 та досушування тонкодисперсного порошку TiO_2 до високої кінцевої сухості.
3. Розробити і розв'язати математичну модель процесу сушіння та досушування пасти TiO_2 для оптимізації процесу і сушильного обладнання.
4. Спроекувати та виготовити лабораторну сушильну установку та методику досліджень процесу сушіння TiO_2 .

5. Провести експериментальні дослідження процесу сушіння тонкодисперсної пасти діоксиду титану.
6. Провести аналіз отриманих результатів та підтвердити адекватність математичної моделі.
7. Розробити алгоритм розрахунку промислового сушильного апарату для сушіння пасти TiO_2 .
8. Розрахувати економічну ефективність розробленого сушильного апарату та порівняти результати із аналогами.
9. Впровадити результати наукової роботи в навчальний процес та в промисловість.

1. Вперше обґрунтовано та експериментально підтверджено спосіб поєднання сушіння пасти TiO_2 і досушування тонкодисперсних частинок порошку діоксиду титану в одному апараті вихрового типу.
2. Розвинуто математичну модель процесів сушіння пасти TiO_2 і досушування частинок порошку діоксиду титану у вихровому потоці теплоносія, адекватність якої підтверджено експериментально.
3. Експериментально визначено умови збільшення питомої поверхні контакту фаз процесу сушіння пасти TiO_2 , шляхом безперервного подрібнення агломератів TiO_2 , що сприяє підвищенню швидкості сушіння діоксиду титану.
4. Вперше сформульована фізична модель сепарації тонкодисперсних частинок TiO_2 у вихровому потоці теплоносія в апараті для одержання порошку TiO_2 із заданим дисперсним складом.

1. Сформульовані технологічні засади, щодо проведення процесів сушіння і досушування тонкодисперсної пасти діоксиду титану TiO_2 у вихровому сушильному апараті.
2. Встановлені найбільш раціональні параметри протікання процесу сушіння пасти і досушування тонкодисперсних частинок до залишкової вологості 0,3%.
3. Встановлені залежності для розрахунку ступеня подрібнення з агломератів пасти діоксиду титану.
4. Визначено конструктивно-технологічні параметри сушильної конусоподібної камери, за яких створюється вихровий шар теплоносія і частинок пасти TiO_2 .
5. Розроблено методику та складено алгоритм і програму розрахунку промислового сушильного апарату, продуктивністю 500 кг/год. по випареній волозі, для проведення сушіння пасти TiO_2 у вихровому потоці теплоносія.
6. За результатами досліджень розроблено конструкцію промислового сушильного апарата, на яку отримано патент України на корисну модель № 107089 МПК (2006.01) F26B 17/10, опубл. 25.05.2016, Бюл. №10).

Схема оригінального сушильного апарату, Патент UA №108688



1 – основний патрубок для подачі теплоносія; 2 – дифузор; 3 – диспергатор;
 4 – сушильна камера; 5 – патрубок для подачі теплоносія в зону досушування;
 6 – циліндр сепарації; 7 – система подачі вологого продукту; 8 – вихідний патрубок;
А – зона диспергування; В – зона розділення фракцій; С – зона інтенсивного досушування

Рисунок 7 – Схема оригінального сушильного апарату

Теоретичні дослідження гідродинаміки сушильного апарату в Solid Works 12

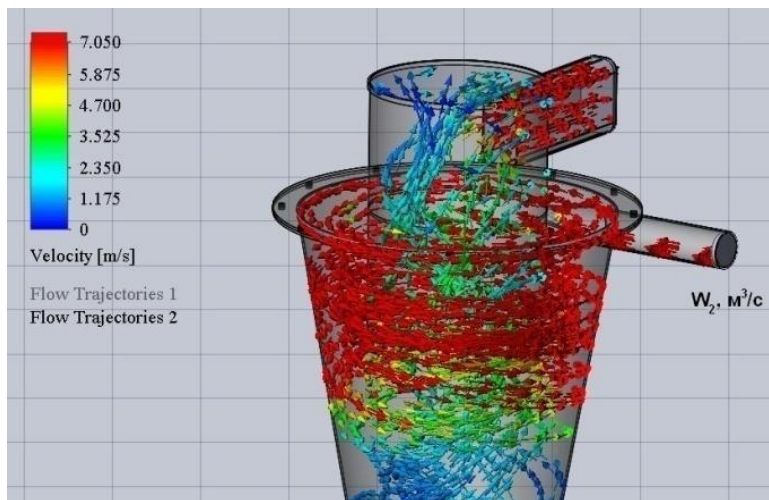


Рисунок 8 – Подача теплоносія на досушування

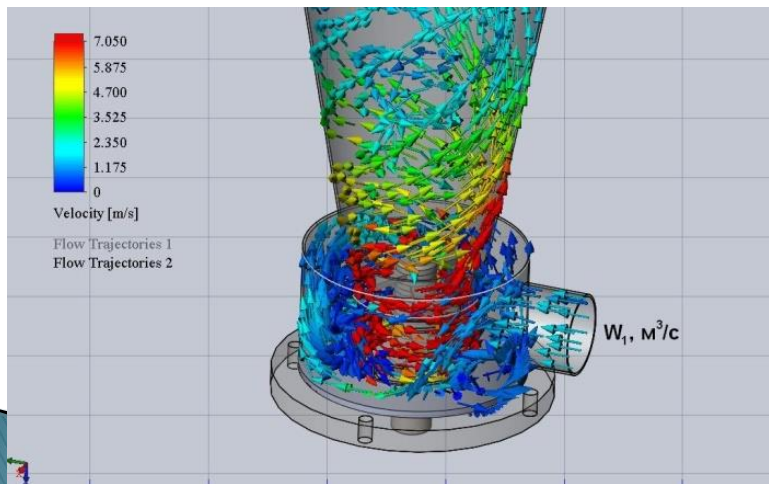


Рисунок 9 – Основна подача теплоносія

$$W = W_1 + W_2, \quad W_2 = k \cdot W_1 \quad (1)$$

k – коефіцієнт подачі кількості теплоносія на досушування, визначається із теплового та матеріального балансів

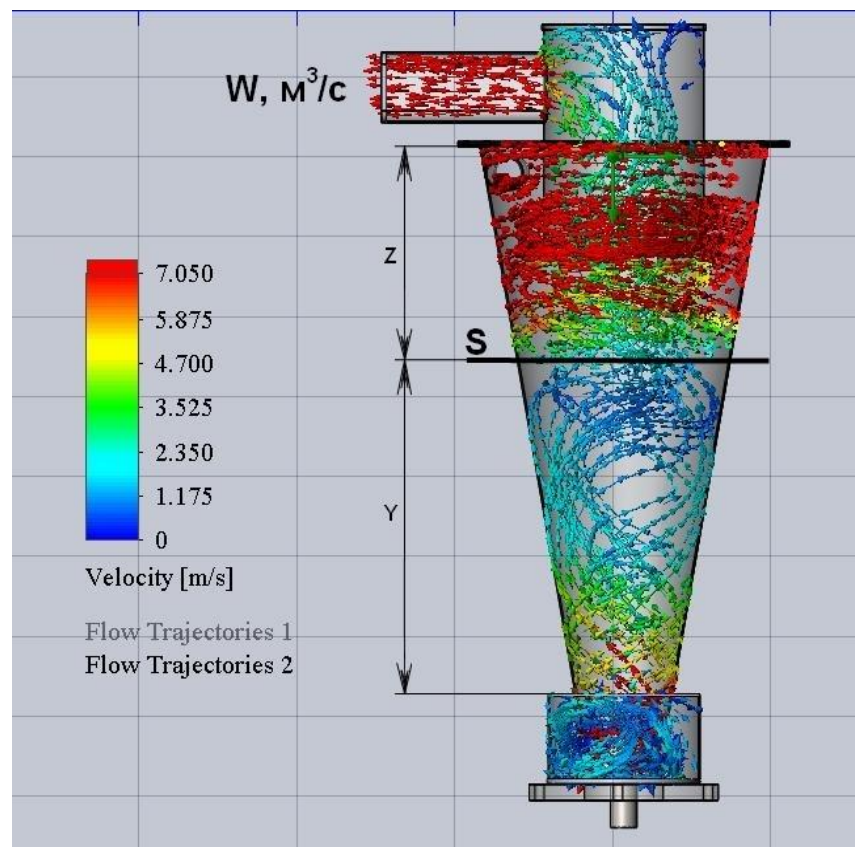


Рисунок 10 – Зона зустрічі 2-х потоків

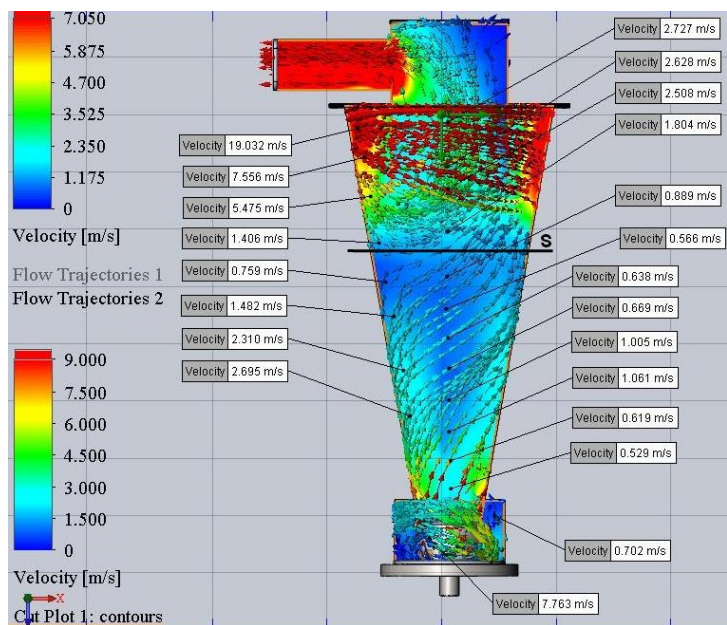


Рисунок 11 –
Схема
потоків
теплоносія
при
відношенні
витрат
теплоносія
 $W_1:W_2 = 1:1,5$

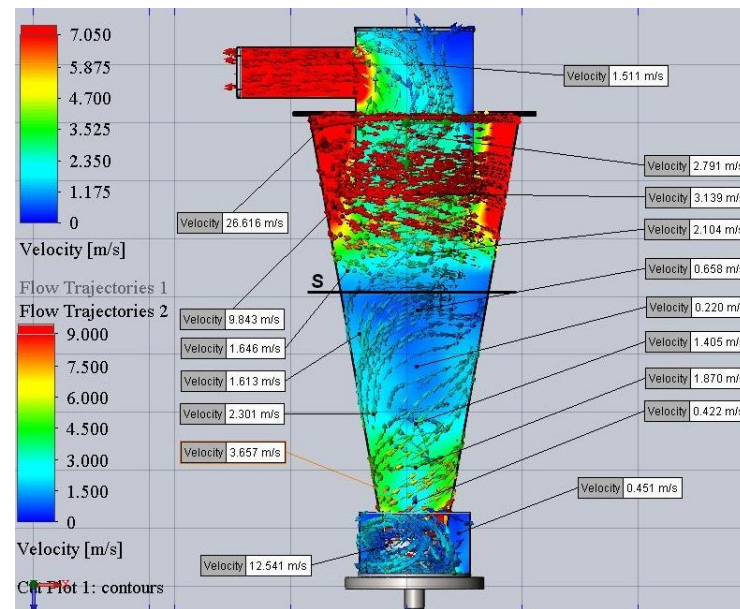


Рисунок 12 – Схема потоків теплоносія
при відношенні витрат теплоносія $W_1:W_2 = 1:2,5$

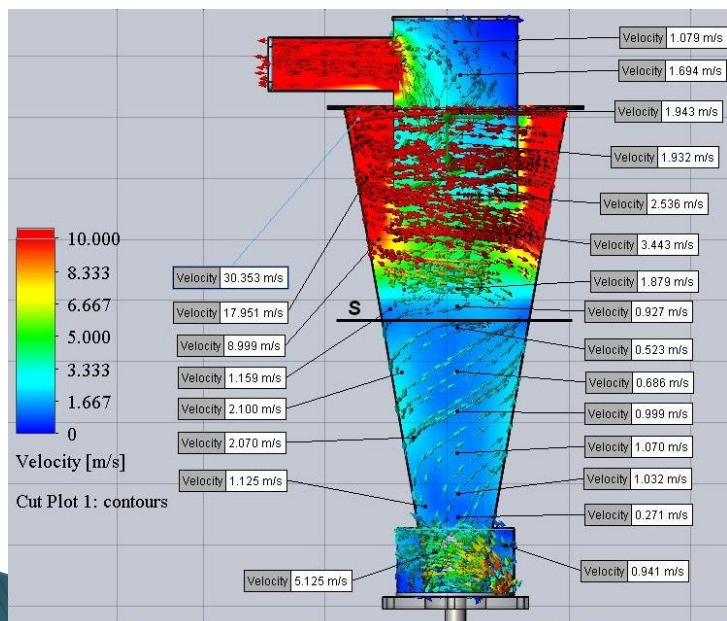


Рисунок 13 – Схема потоків теплоносія
при відношенні витрат теплоносія
 $W_1:W_2 = 1:4$

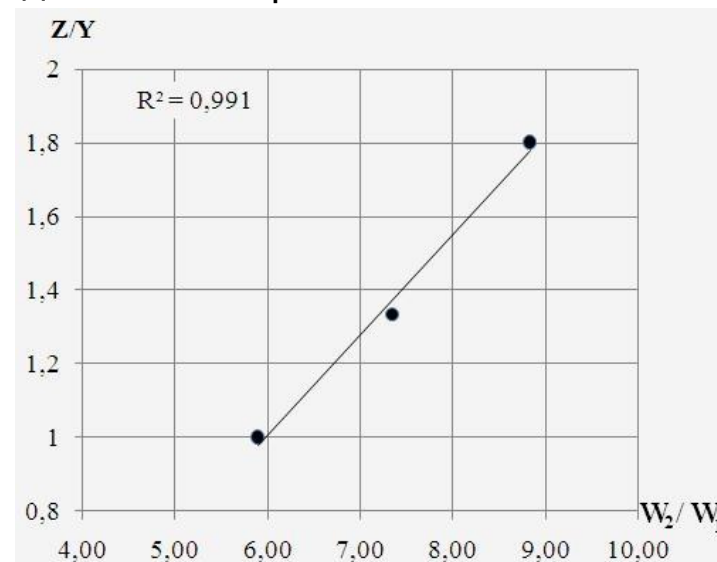


Рисунок 14 – Залежність розміщення зони
S від витрат теплоносія

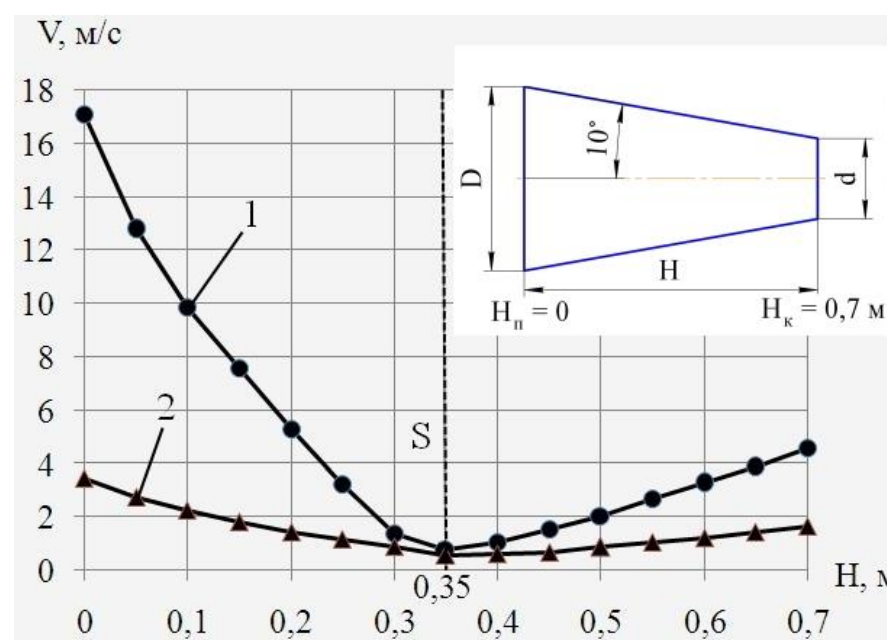


Рисунок 15 – Зміна швидкостей по висоті камери

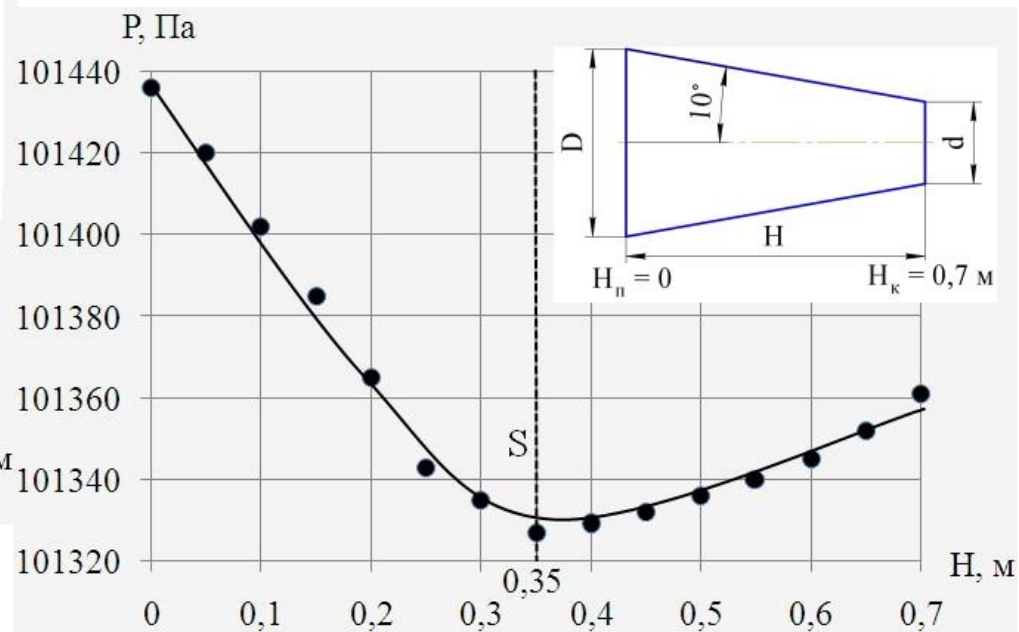


Рисунок 16 – Зміна тиску по висоті камери

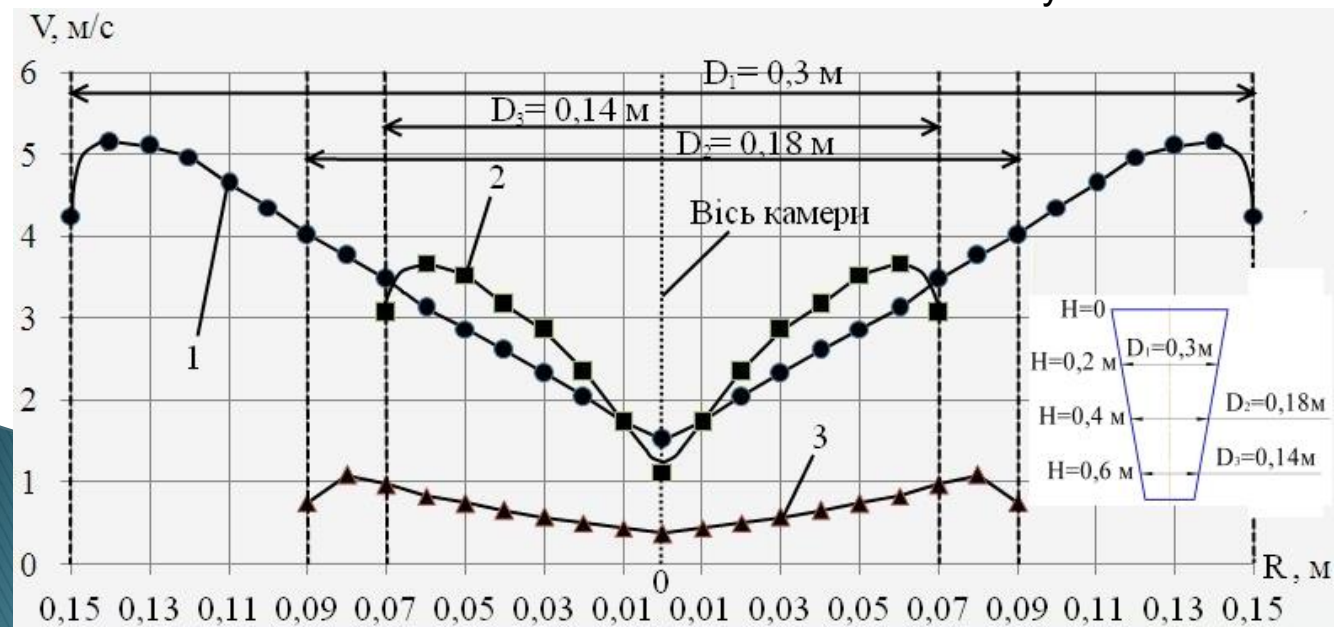
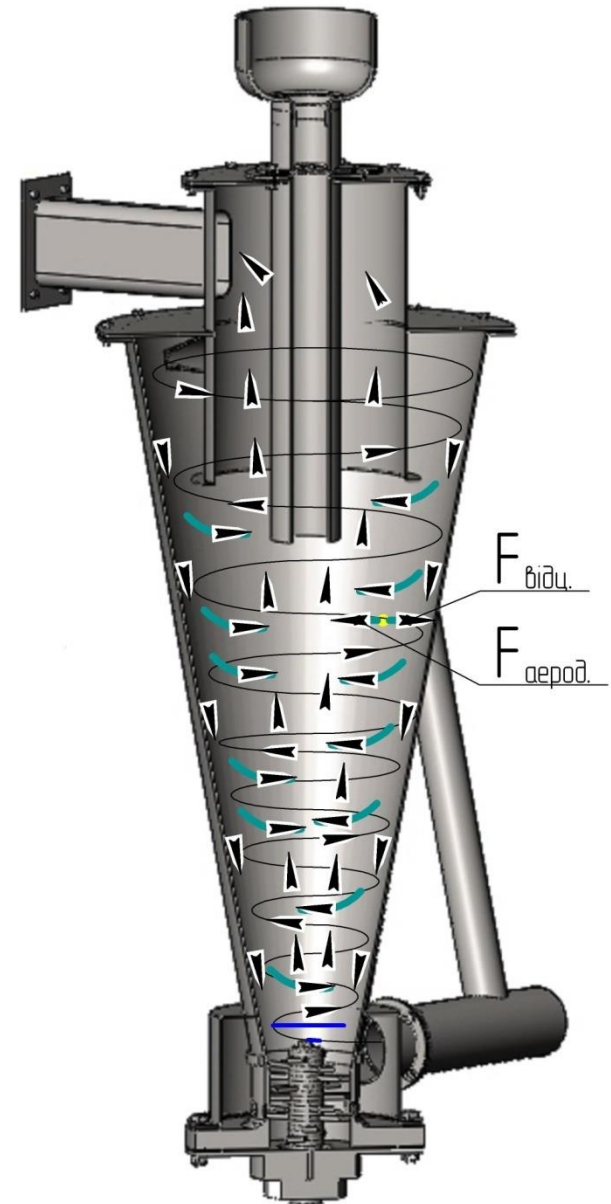


Рисунок 17 – Зміна швидкостей по діаметру камери

Сепарація тонкодисперсних частинок

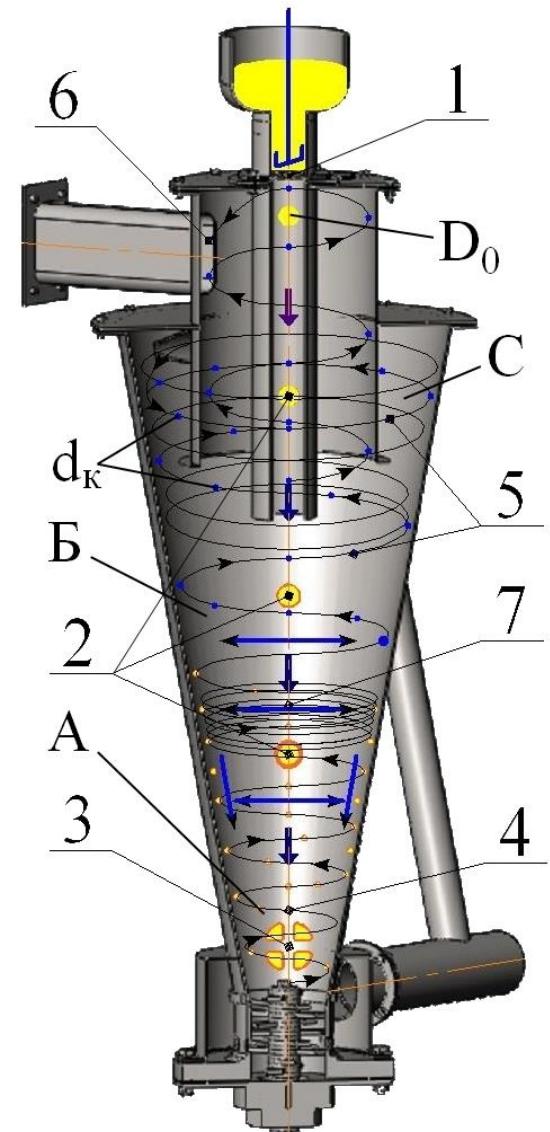
15

1. Висхідний завихрений потік теплоносія, закручується ножами диспергатора і створює над ножами вихровий шар підсушеного продукту.
2. Дрібна фракція продукту із вихрового шару виноситься вертикальною складовою вихрового потоку.
3. З потоку, по мірі його підймання, випадають частинки сила тяжіння яких перевищує аеродинамічну силу.
4. Через дотичний патрубок в зону досушування подається тангенційний потік теплоносія, який інтенсивно обертається і створює тиск над поверхнею сушильної камери.
5. В результаті конічної форми сушильної камери тиск зменшується від верхнього патрубку до зони диспергування.
6. Частина верхнього вихрового потоку із радіальною швидкістю переміщається в центральний висхідний потік.
7. Тангенційна швидкість створює відцентрову силу $F_{\text{відц.}}$, а радіальна складова швидкості створює аеродинамічну силу $F_{\text{аерод.}}$.

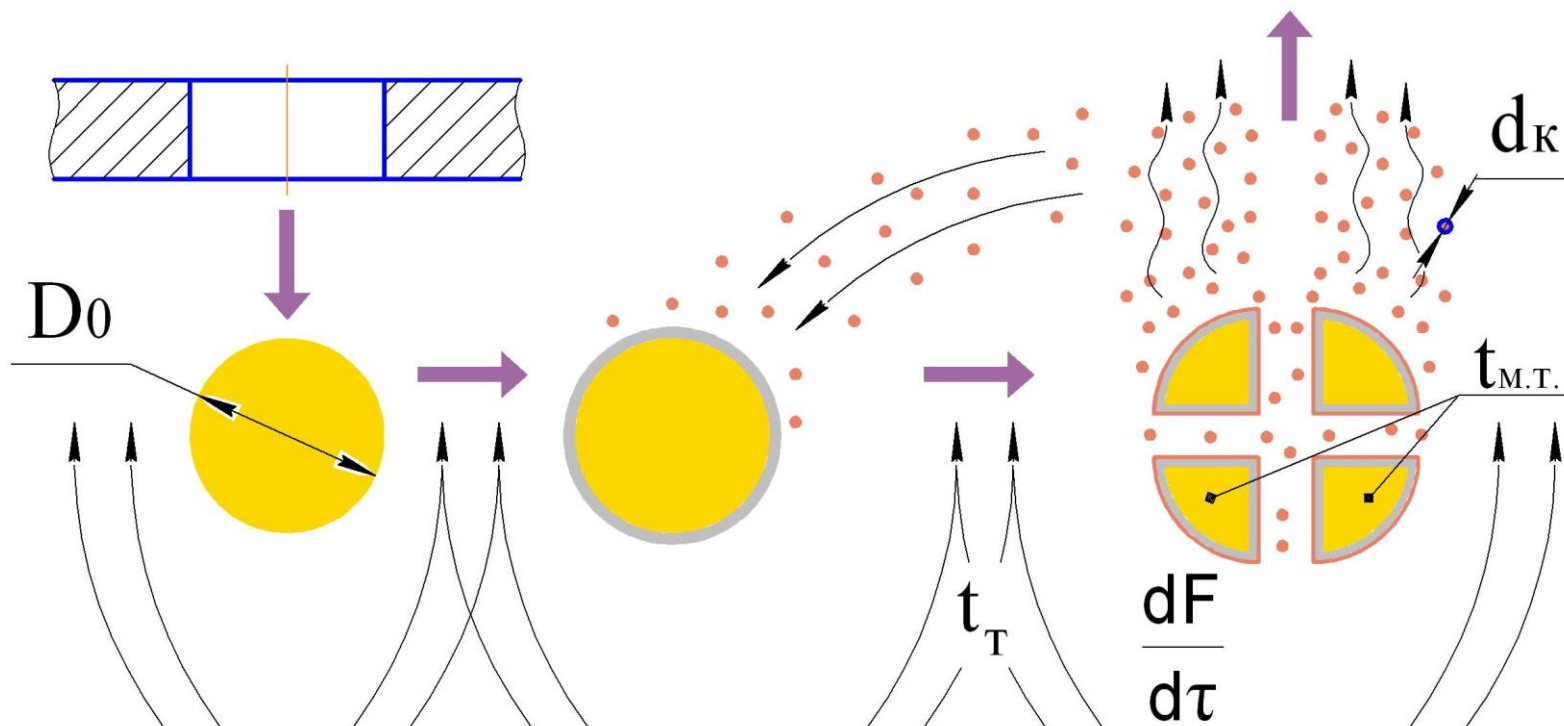


Етапи процесу сушіння тонкодисперсної пасти TiO_2

1. подачу тиксотропної пасти діоксиду титану у вигляді сформованих окремих кластерів частинок TiO_2 , що з'єднані між собою силами поверхневого натягу у зону вихрового шару А;
2. контакт і припудрювання поверхні кластерів із вже підсушеним продуктом;
3. інтенсивне висушування поверхневої вологи матеріалу із одночасним безперервним їх подрібненням в зоні А;
4. винесення дрібних частинок продукту із зони А в сепараційну зону Б вихровим потоком теплоносія при зменшенні осьової складової швидкості;
5. сепарація і досушування адсорбційно-зв'язаної вологи в зоні С тонкодисперсних частинок до низької залишкової вологості W_k .
6. винесення готового сухого матеріалу в рукавний фільтр.
7. зона зустрічі верхнього і нижнього вихрових потоків.



Фізична модель процесу сушіння тонкодисперсної пасти TiO_2



$$K = \beta_{\text{д}} \quad (2)$$

Опір масопровідності всередині частинок практично не впливає на процес сушіння, швидкість якого повністю визначається дифузією у зовнішній області

Математична модель процесу сушіння тонкодисперсної пасти TiO_2

18

$$j = \frac{dW}{S \cdot d\tau} = \beta_d \cdot (C_{\text{п.р.}} - C_{\text{т}}) \quad \frac{dW_1}{d\tau} = \beta_p(t_{\text{т}}) \cdot S \cdot (P_s - p_{\text{т}}) \quad (3)$$

$$Nu_1 = 2 + 0,16 \cdot Re_p^{0,667} \quad \beta_d = \frac{Nu_d \cdot D}{d_{\text{екв.}}} \quad \beta_p = \frac{\beta_d}{R_{\text{п}} \cdot t_{\text{т}}} \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q = \alpha_1 \cdot (t_{\text{т}_0} - t_{\text{м.т.}}) \\ \frac{dW}{d\tau} = \frac{\beta_d \cdot S}{R_{\text{п}} \cdot t_{\text{т}}} \cdot (P'_{s1} - p_{\text{т}}) \\ \frac{dz}{d\tau} = K_z \cdot z \\ dS = \frac{6 \cdot G_{\text{м}} \cdot dz}{\psi \cdot \rho_{\text{м}} \cdot d_{\text{екв.0}}} \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\alpha_1 = 40..50 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad K_z = 0,26 \frac{1}{\text{с}} \quad (6)$$

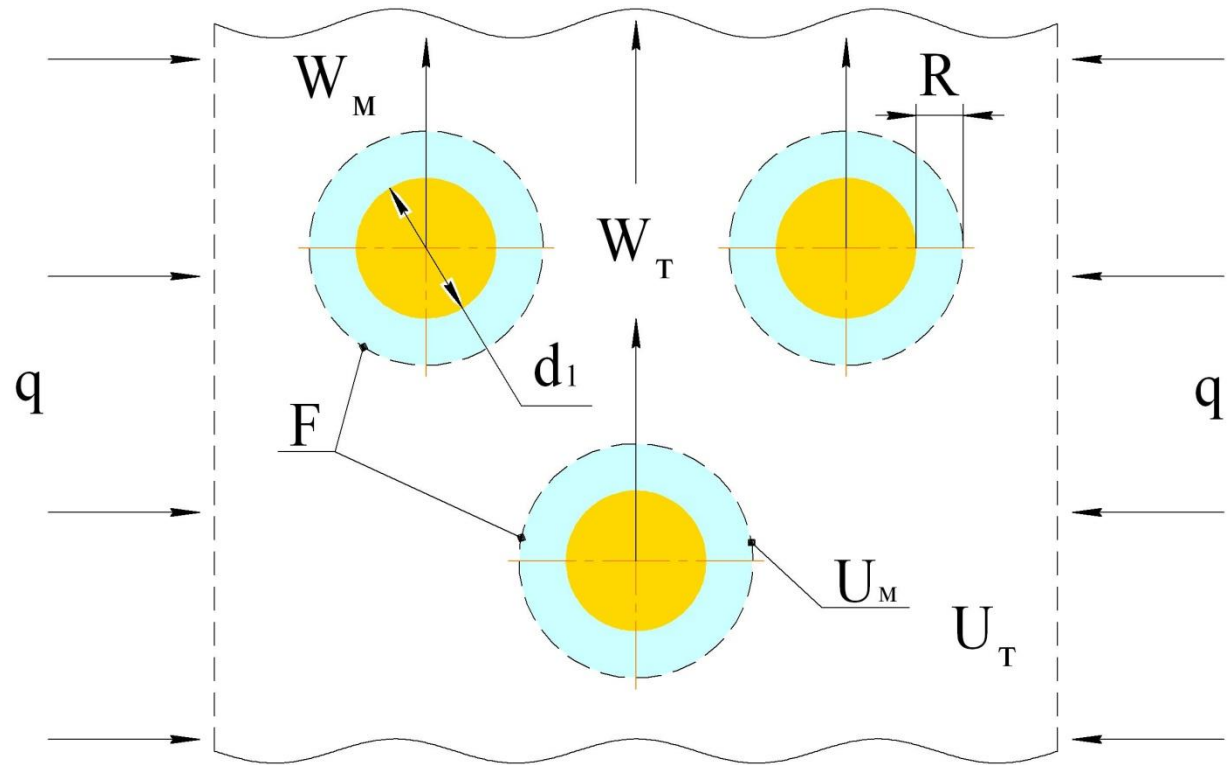
Фізична модель процесу досушування тонкодисперсних частинок TiO_2 19

- F – загальна поверхня досушування;
- W_T і W_C – швидкість теплоносія і частинок TiO_2 ;
 $W_T \approx W_C$

Рухомою силою є:

$$\Delta C = U_{\text{част.}} - U_{\text{с.а.}}$$

Процес досушування частинок лімітується швидкістю дифузії води із поверхні частинок матеріалу в об'єм теплоносія



$$Bi = \frac{\alpha_2 \cdot d_{\text{екв.}}}{\lambda} \leq 0,1 \quad (7)$$

Процес досушування лімітується швидкістю дифузії води із поверхні частинок в об'єм теплоносія

Математична модель процесу досушування тонкодисперсних частинок

$$dQ_{\text{нагр.}} = dQ_{\text{заг.}} - dQ_{\text{вищ.}}, \quad dQ_{\text{с.а.}} = dQ_{\text{част.}}, \quad (8)$$

$$Nu_d = 2, Re_p = 0 \quad \beta_d = \frac{2 \cdot D'}{d_{\text{екв.}}} \approx 43 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (9)$$

$$\alpha_2 = 4350 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (10)$$

$$(11) \quad \begin{cases} \frac{\partial t'_M}{\partial \tau} = \frac{\alpha_2 \cdot S_{\text{дос.}} \cdot (t'_{T0} - t'_M)}{y \cdot \rho_M(t'_M) \cdot c_M(t'_M)} - \frac{U_{\text{ч}} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial \tau} \cdot r}{c_M(t'_M)} \\ \frac{\partial t'_T}{\partial \tau} = \frac{\alpha_2 \cdot S_{\text{дос.}} \cdot (t'_{T0} - t'_M)}{(1-y) \cdot \rho_T(t'_T) \cdot c_T(t'_T)} \\ \frac{dW_2}{d\tau} = \beta_x(t'_T) \cdot S_{\text{дос.}} \cdot (U_{\text{ч}} - x'_T) \end{cases}$$

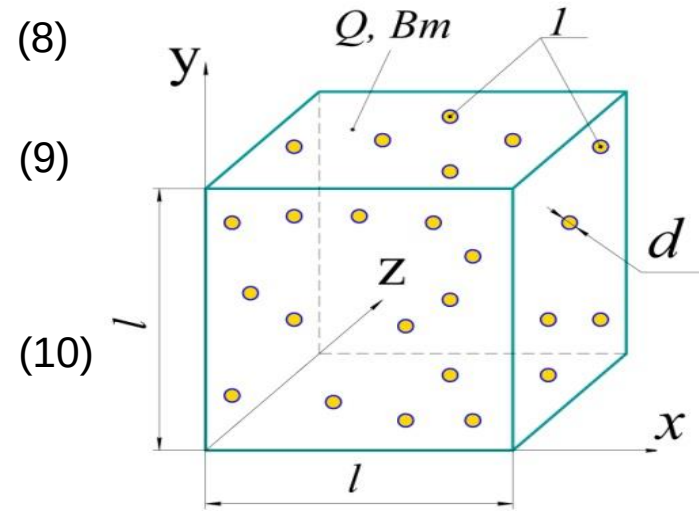


Рисунок 18 – Схема виділеного об'єму для тонкодисперсних частинок та частинка TiO_2 в зоні досушування

Розв'язання математичної моделі процесу сушіння пасти діоксиду титану

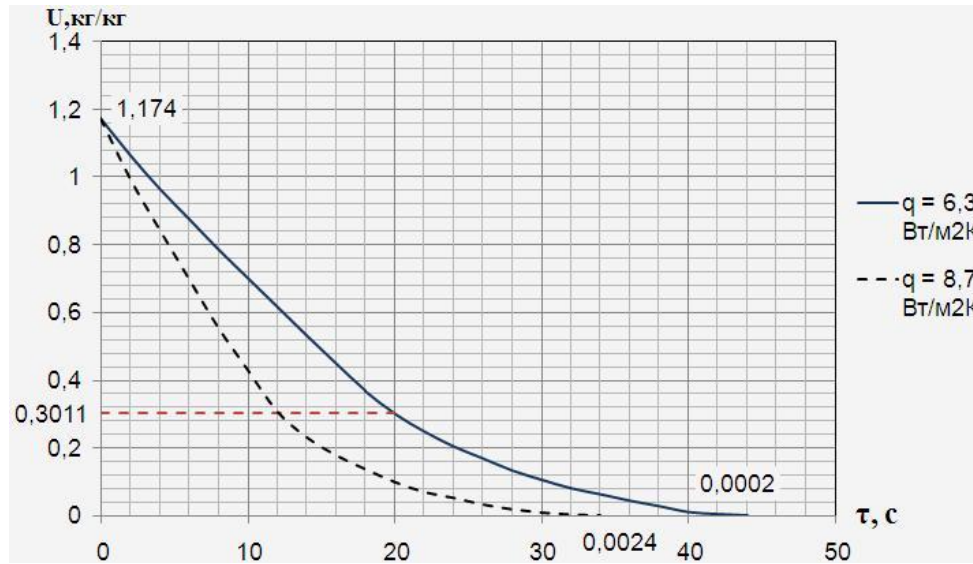


Рисунок 19 – Графічна залежність вологовмісту від часу сушіння

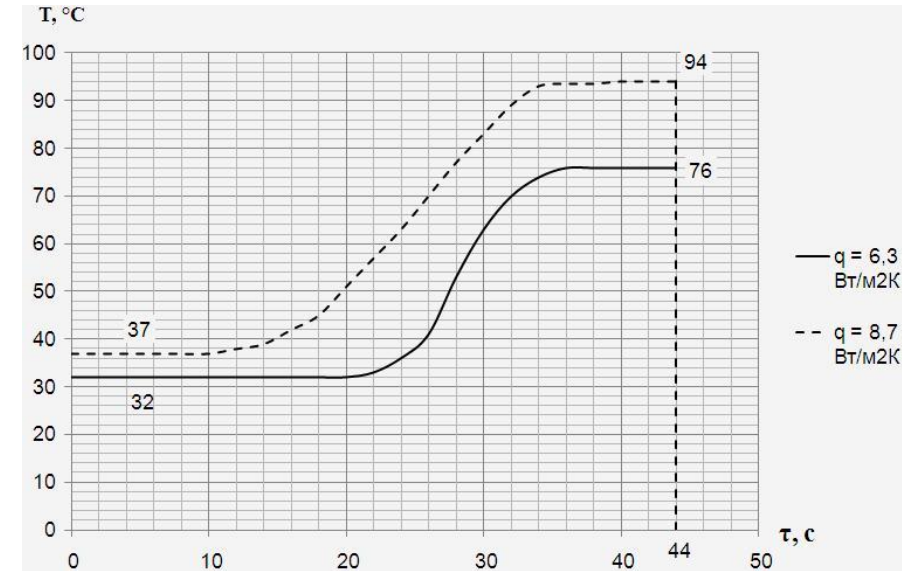


Рисунок 20 – Графічна залежність температури продукту і теплоносія від часу сушіння

Математична модель розв'язана інтегруванням систем диференціальних рівнянь методом Рунге-Кутти із наступними початковими умовами:

Перший період:

- $D = 4 \cdot 10^{-3}$ м;
- $U(\tau_0) = U_0$;
- $t(\tau_0) = t_0$; $\tau_0 = 0$

Другий період:

- $d = 25 \cdot 10^{-6}$ м;
- $U_0 = U_{1кр} = 0,3011$ кг/кг
- $t_0 = t_{m.m.}$; $\tau = \tau_1$

Схема дослідної сушильної установки 22

1. Нагнітаючий вентилятор
2. Калорифер
3. Диспергатор
4. Сушильна вихрова камера
5. Живильник-дозатор
6. Рукавний фільтр
7. Вивантажувальний бункер
8. Витяжний вентилятор
9. Датчик-модуль GY-21 HTU21 температури і вологості
10. Мікроконтролер Arduino UNO R3
11. Комп'ютер
12. Діафрагма
13. Дифманометр для визначення перепаду тиску при подачі теплоносія
14. Дифманометр для визначення перепаду тиску на диспергаторі
15. Дифманометр для визначення перепаду тиску на всій висоті сушильної вихрової камери
16. Привід диспергатора
17. Вимірювальний комплекс K50
18. Термопар
19. Датчик-терморезистор PT100

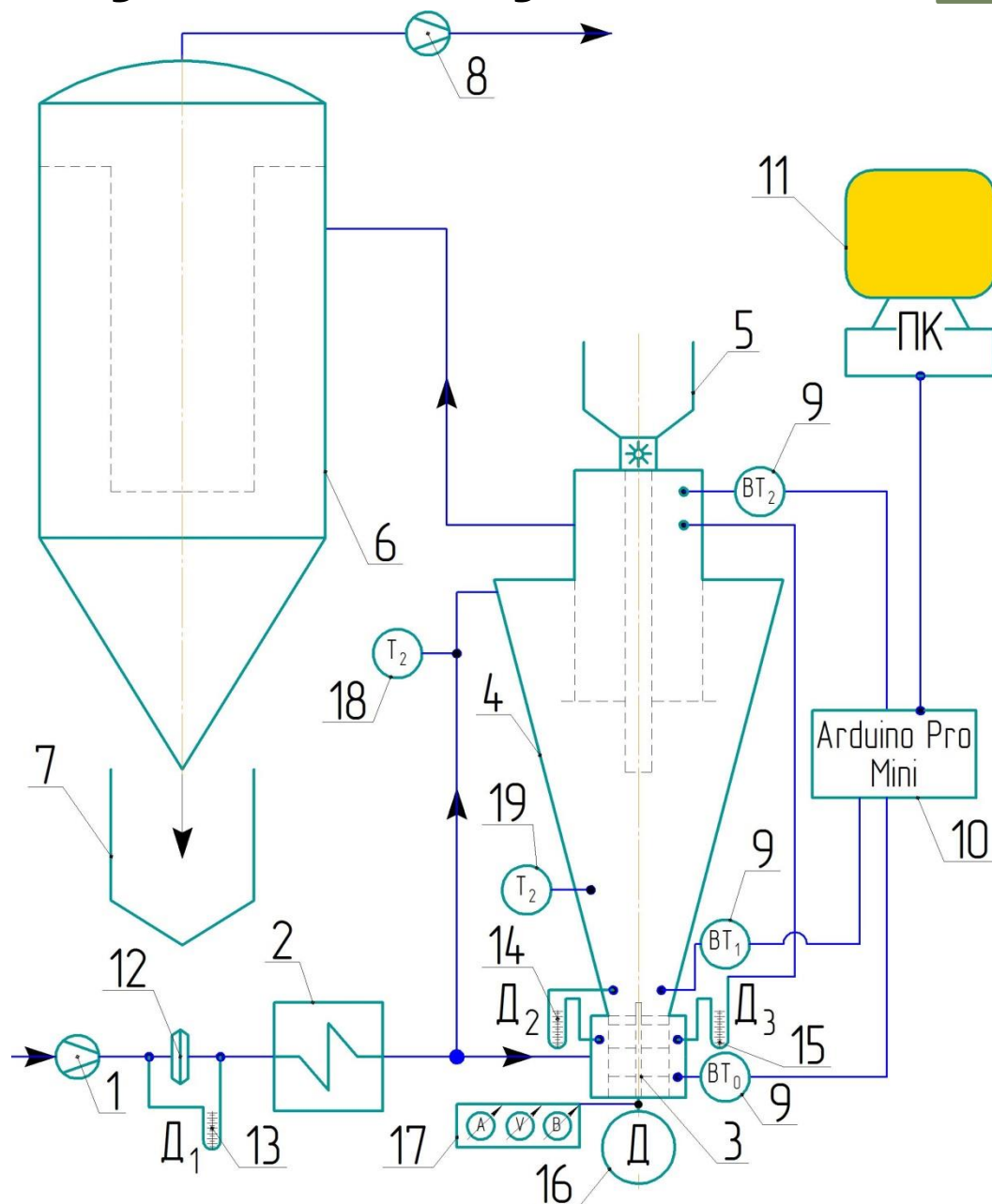
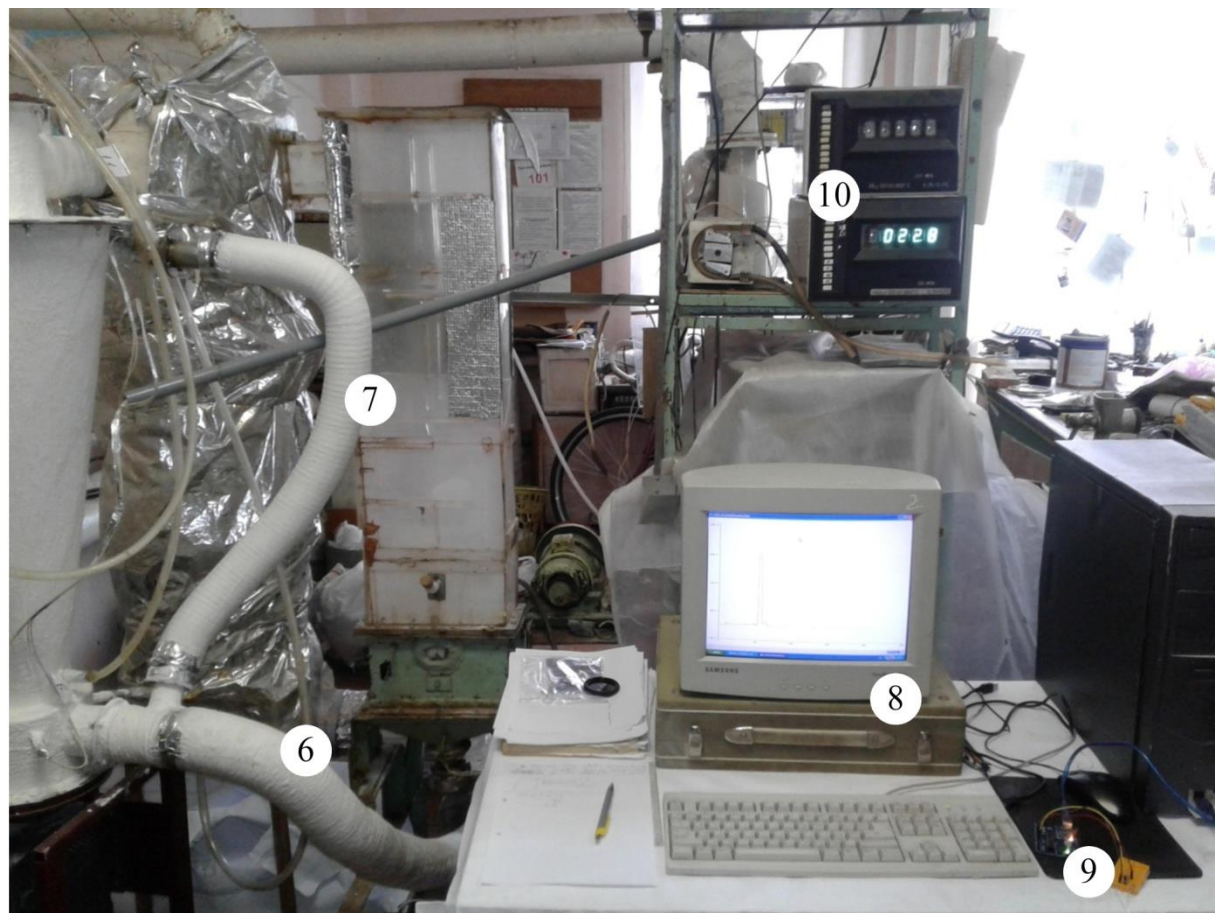


Фото дослідної сушильної установки та допоміжного обладнання

23



1 – Сушильний апарат; 2 – Рукавний фільтр; 3 – Дифманометри;
4 – Амперметр, Вольтметр, Ватметр; 5 – Комп'ютер; 6 – Живильник-дозатор

Рисунок 21 – Фото дослідної сушильної установки

Експериментальні дослідження коефіцієнтів гідравлічного опору

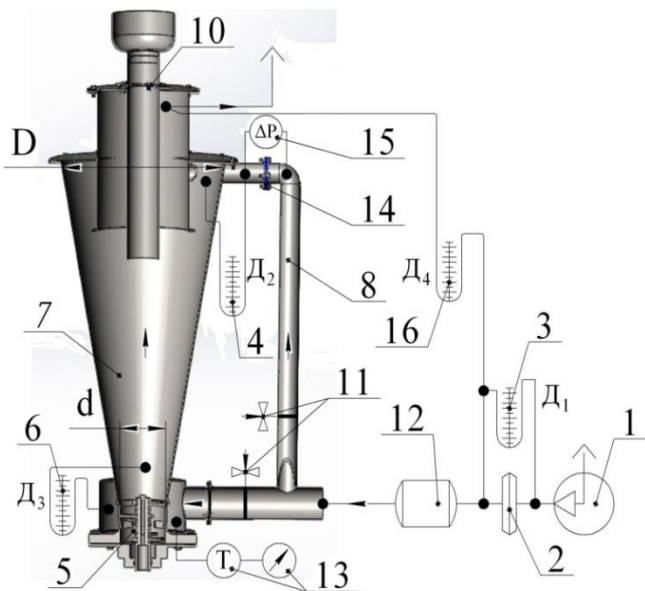
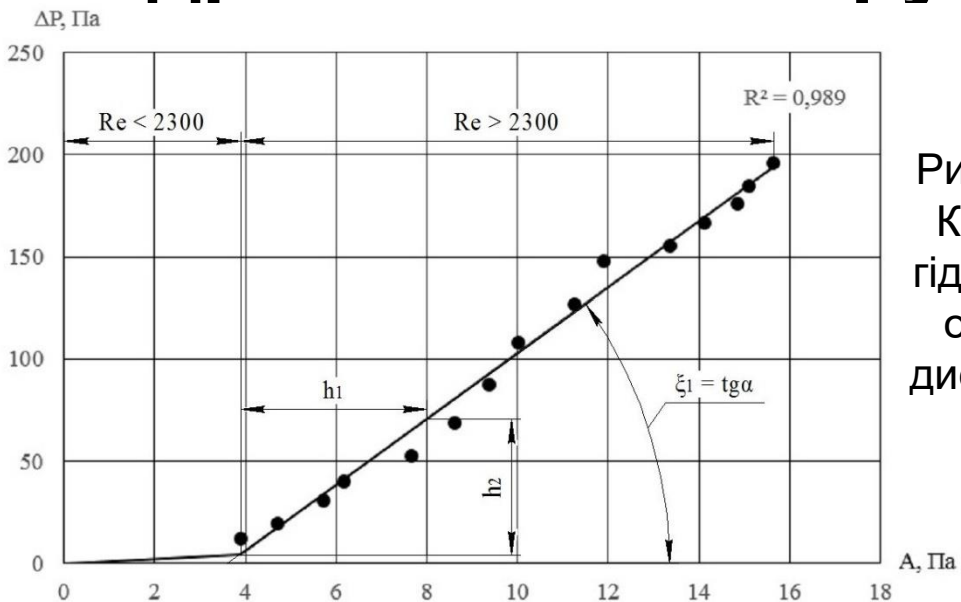
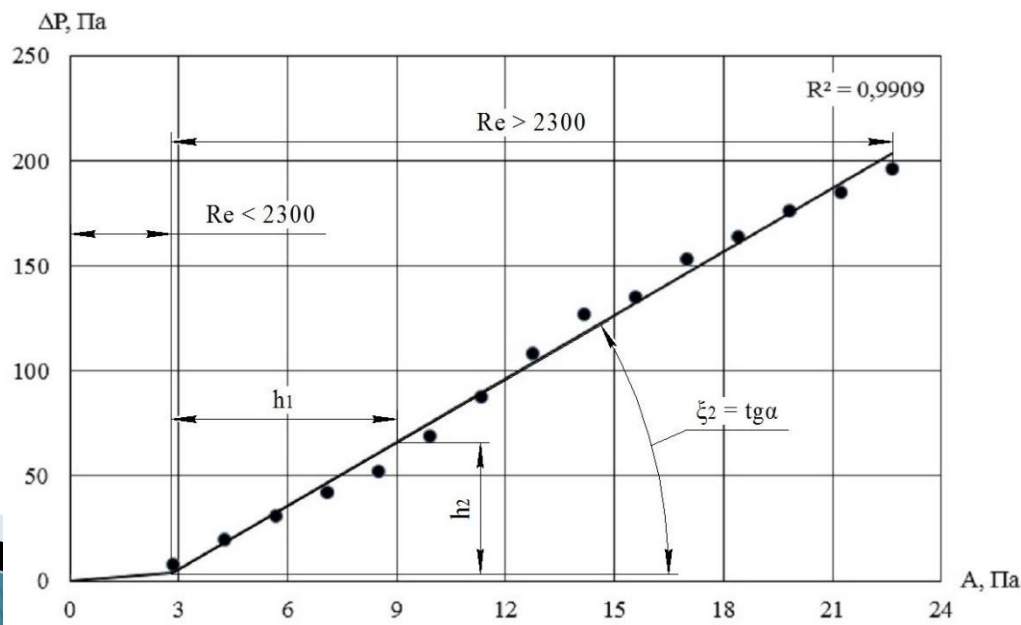


Рисунок 22 – Схема
розміщення
дифманометрів D1 і D2

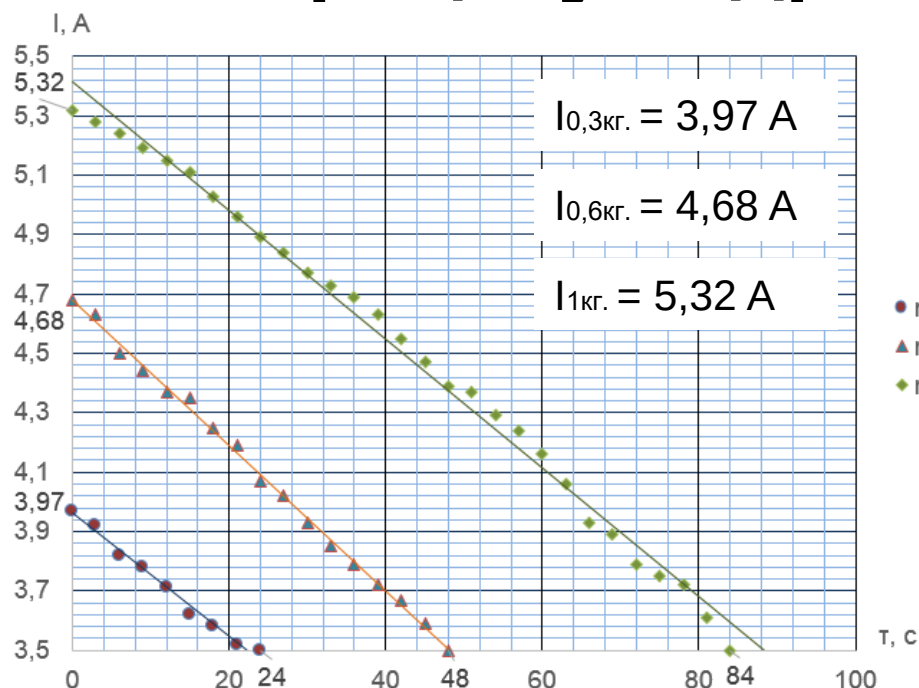


$\xi_1 = 17,1$
Рисунок 23 –
Коефіцієнт
гідравлічного
опору для
диспергатора



$\xi_2 = 9,24$
Рисунок 24 –
Коефіцієнт
гідравлічного
опору для
тангенційного
входу

Експериментальні дослідження процесу подрібнення пасти TiO_2



$$I_{x.x.} = 3.5 \text{ A}$$

- $m = 0.3$ кг
- ▲ $m = 0.6$ кг
- ◆ $m = 1$ кг

Рисунок 25 –
Залежність
сили струму
від часу
подрібнення



Рисунок 27 – Висушений
продукт для подрібнення



Рисунок 28 –
Вимірювальний комплекс
типу K50 № 1654

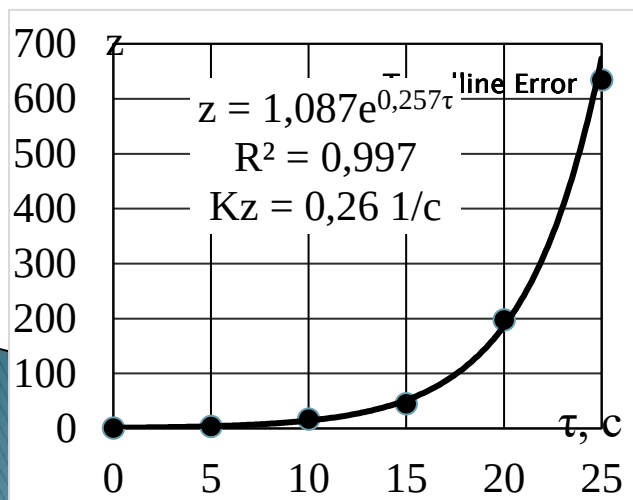


Рисунок 26 –
Залежність маси
продукту від часу
подрібнення

Експериментальні дослідження кінетики процесу сушіння пасту TiO_2

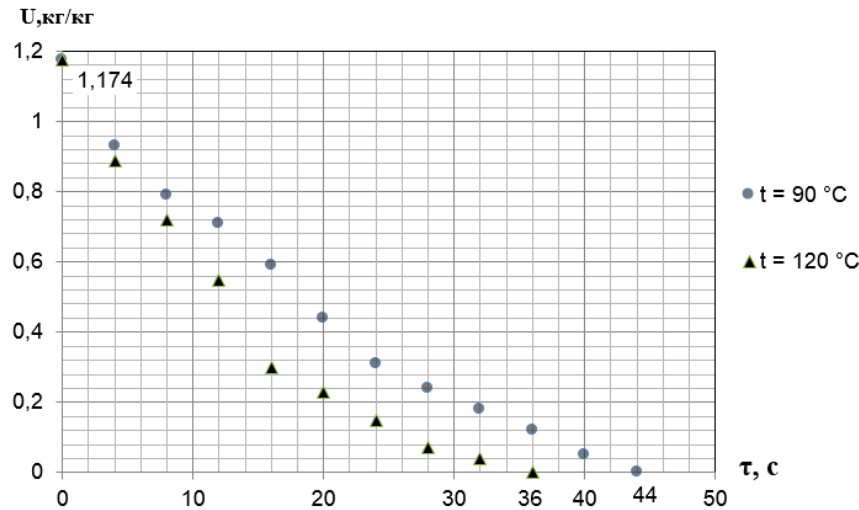


Рисунок 29 – Залежність вологовмісту від часу сушіння

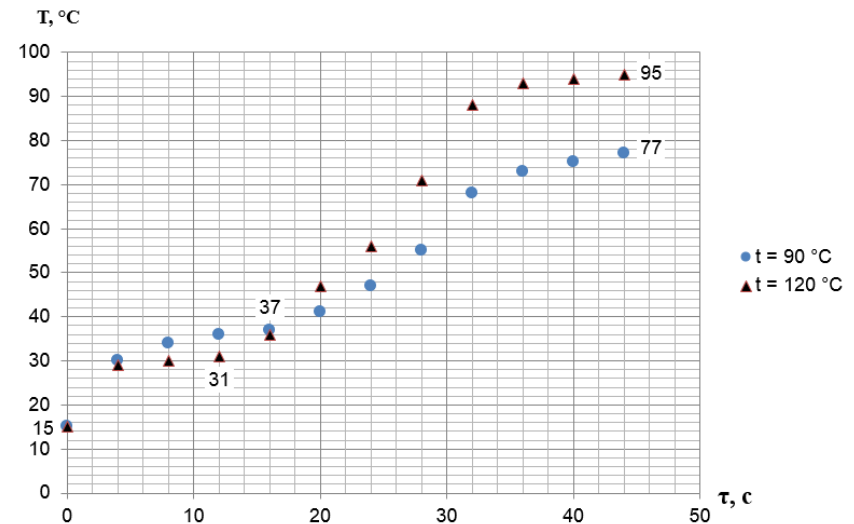


Рисунок 30 – Залежність температури від часу сушіння

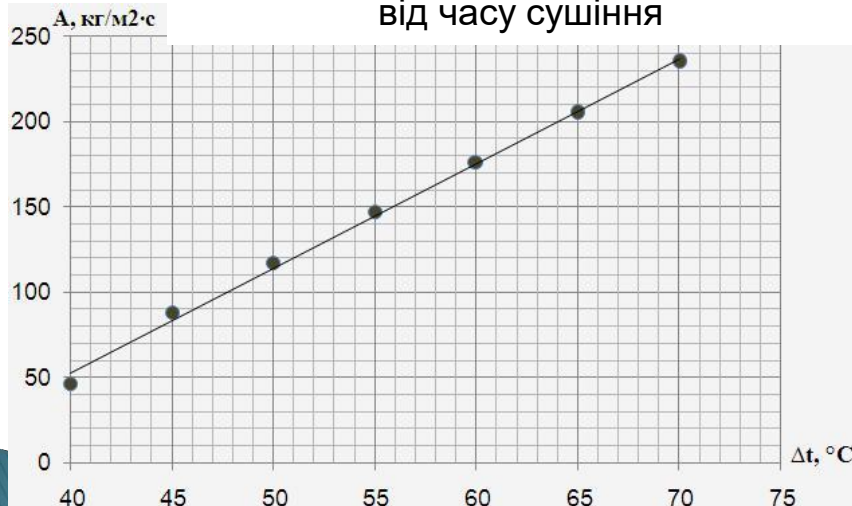


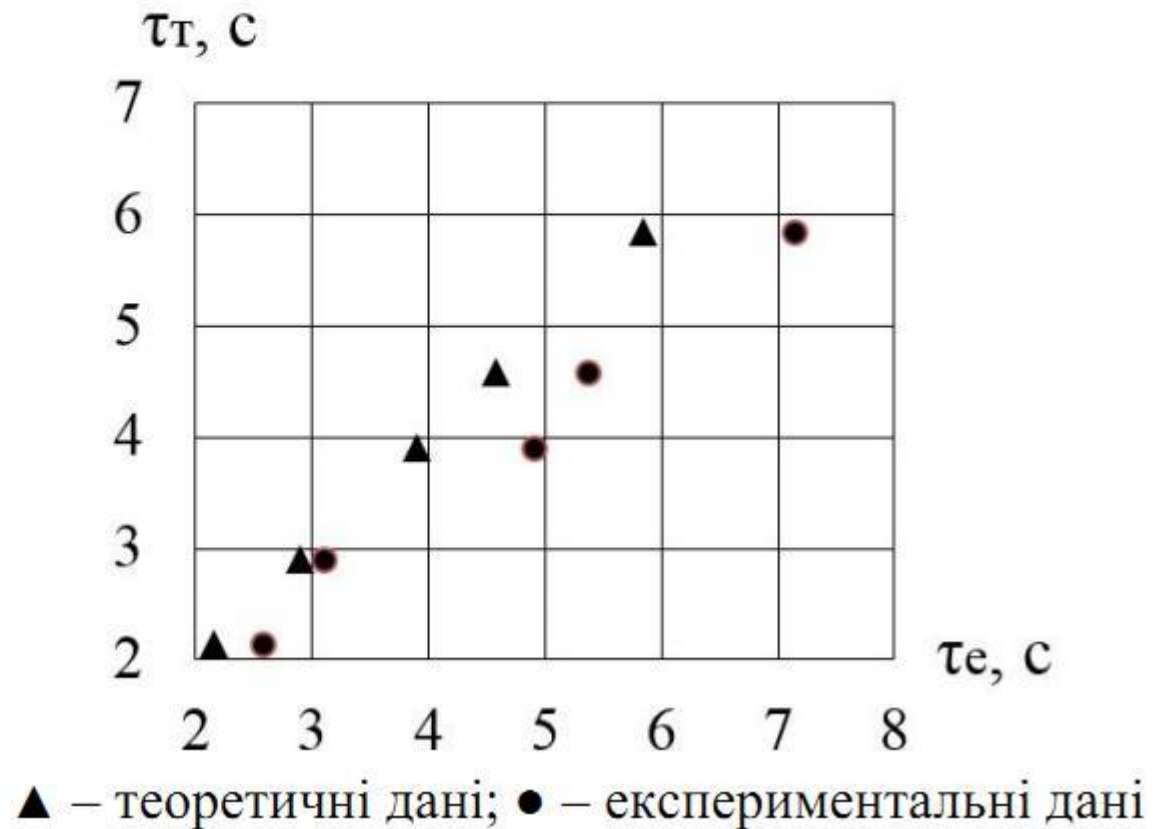
Рисунок 31 – Залежність напруження по випаровуваній волозі від різниці температур теплоносія на вході і виході



Рисунок 32 – Процес сушіння пасту TiO_2 у вихровому потоці теплоносія

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\tau_i - \tau)^2} \approx 1,2 \text{ с}$$



Розподіл отриманих тонкодисперсних частинок за діаметром 28

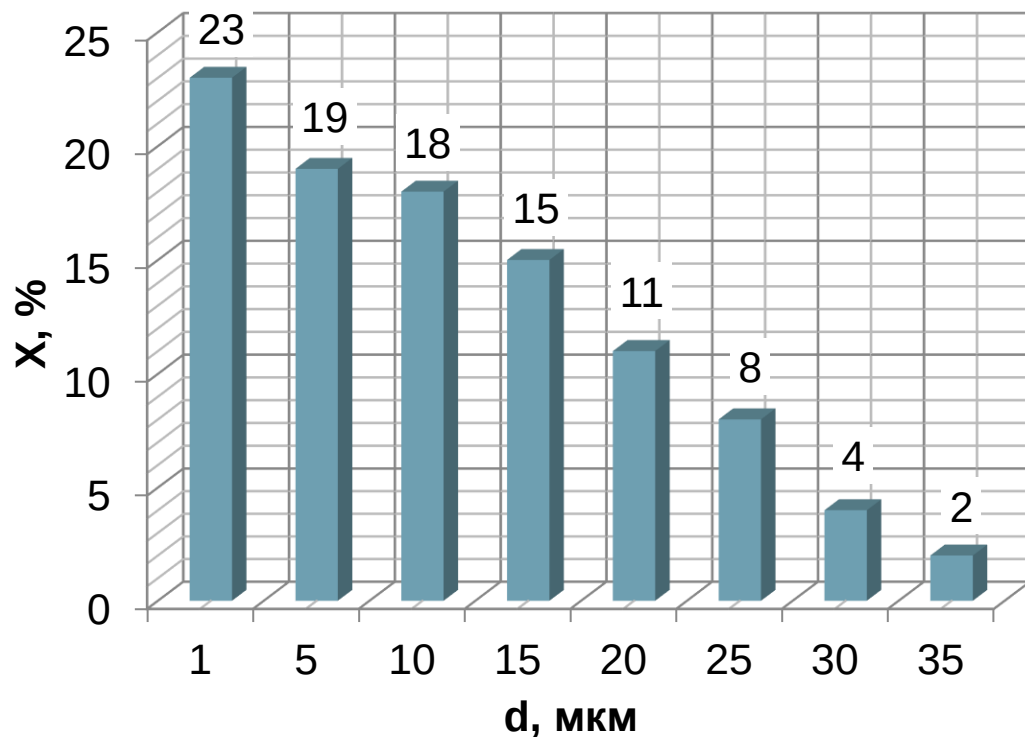
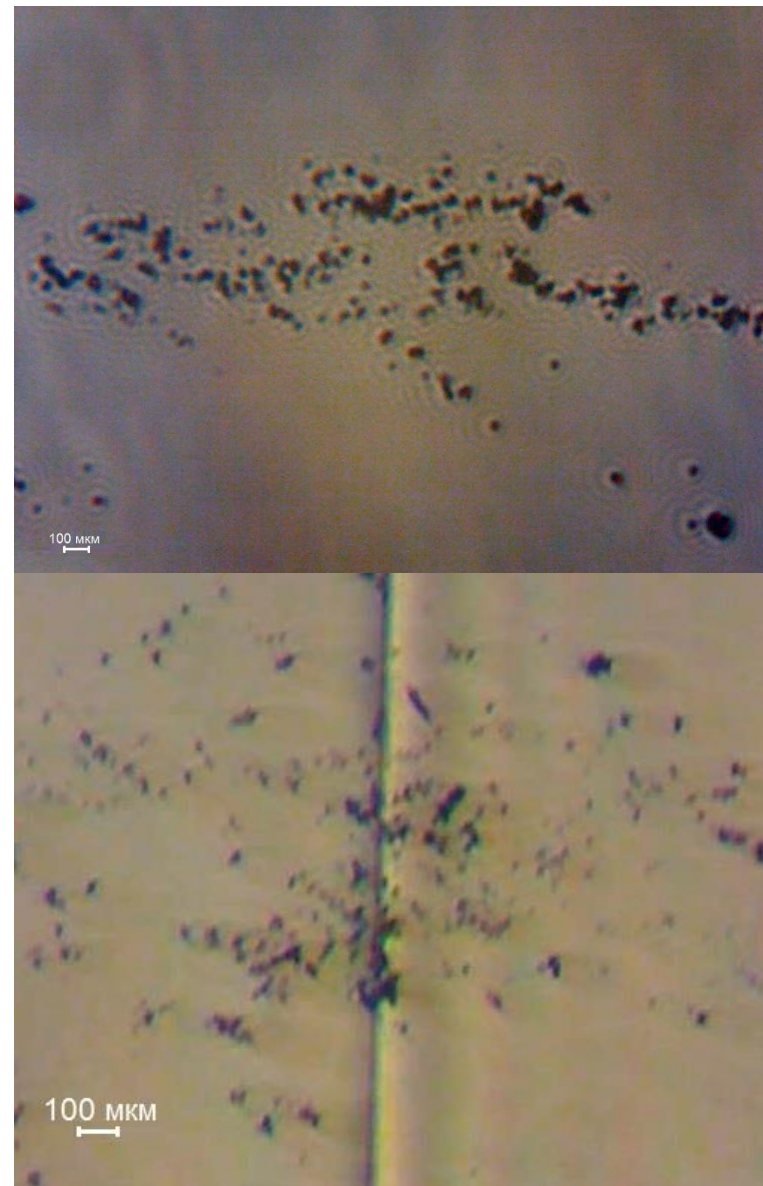


Рисунок 35 – Залежність відношення кількості частинок певного розміру до загальної кількості частинок від розміру частинки



Алгоритм розрахунку оригінальної вихрової сушильної установки

29

Розроблена методика та алгоритм розрахунку для сушильної установки із вихровою сушильною камерою та час процесу сушіння для тонкодисперсної пасти діоксиду титану, продуктивністю 500 кг/год по

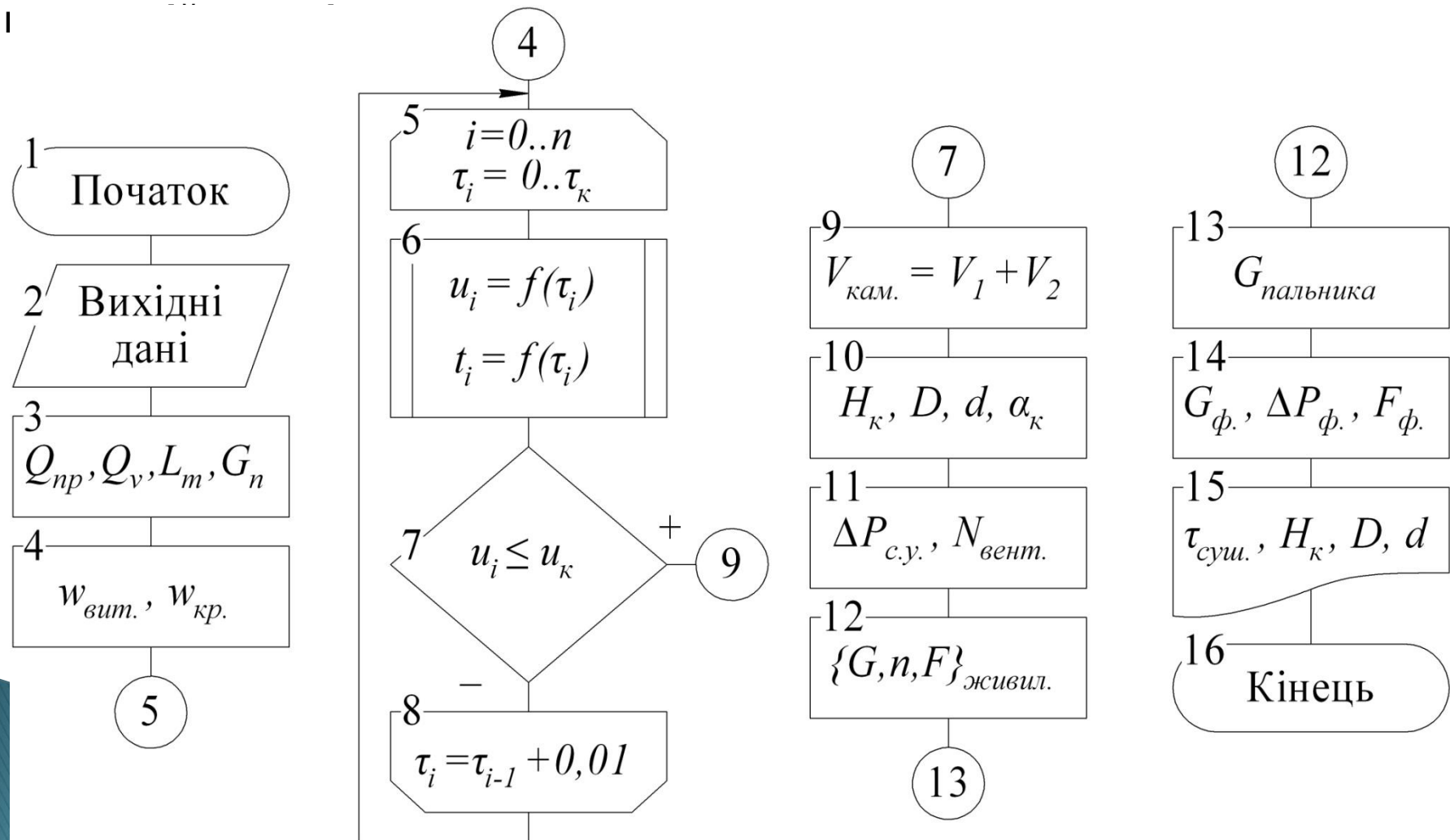
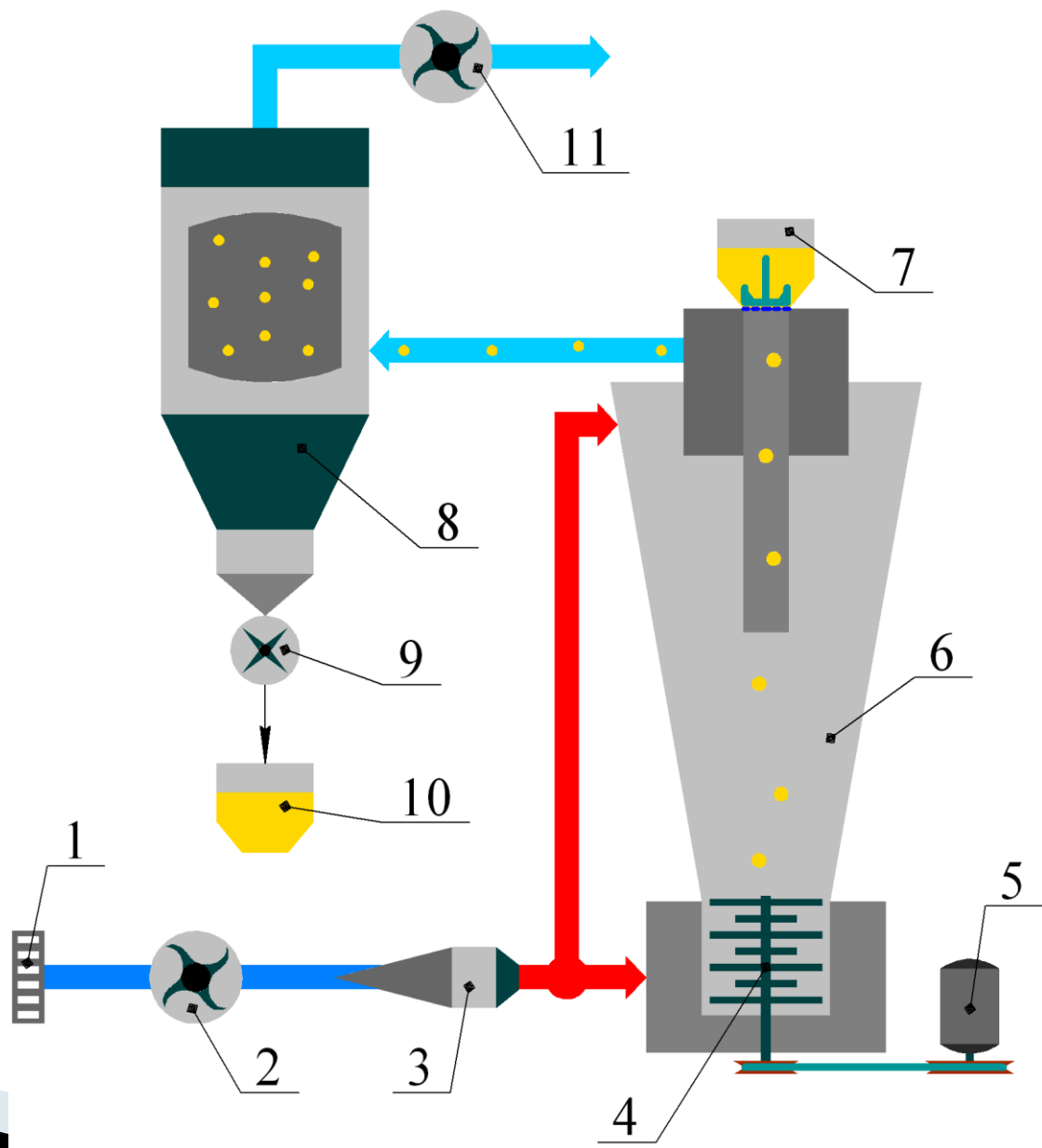


Схема розробленої сушильної установки

29

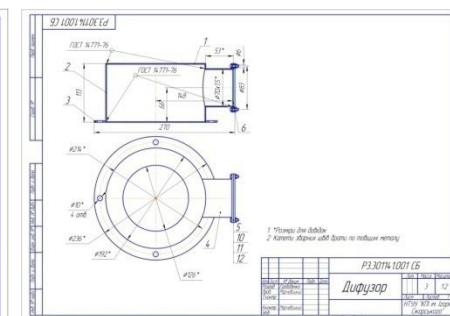
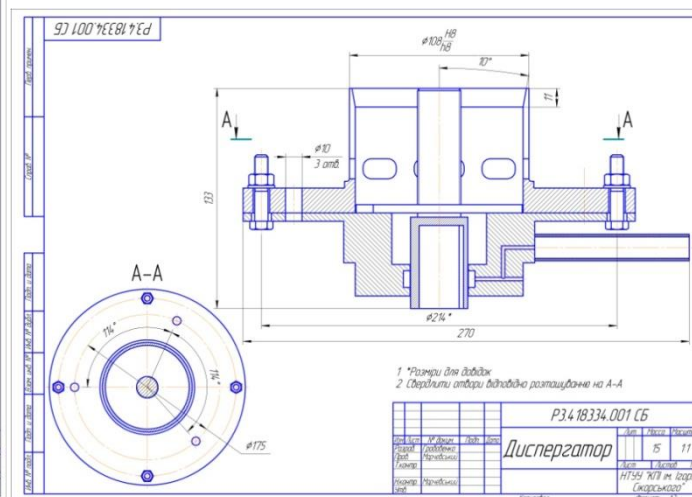
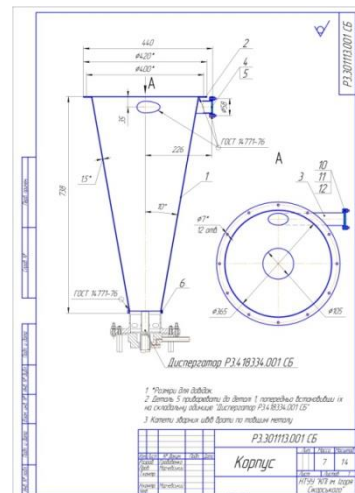
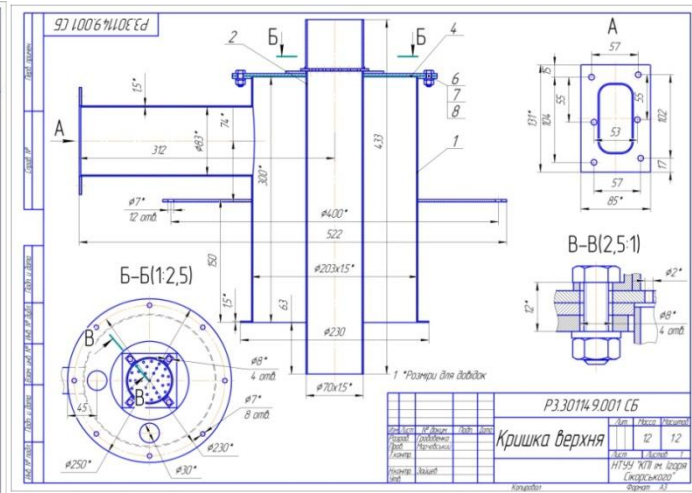
- 1 – повітряний фільтр;
- 2 – нагнітаючий вентилятор;
- 3 – калорифер;
- 4 – диспергатор;
- 5 – привід диспергатора;
- 6 – сушильна камера;
- 7 – живильник;
- 8 – рукавний фільтр;
- 9 – вивантажувальний клапан;
- 10 – збірник;
- 11 – витяжний вентилятор

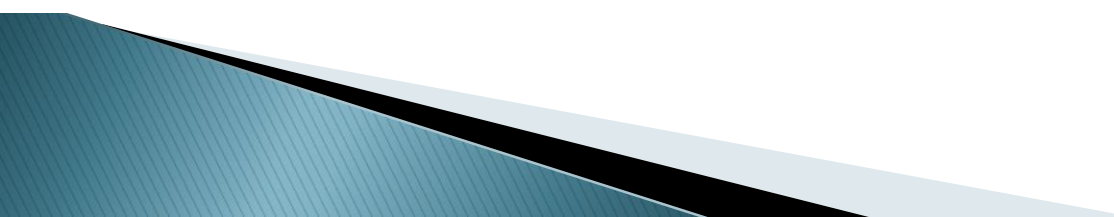


Порівняння параметрів сушарок

30

Назва параметру, од.	Розроблена сушарка	Стрічкова сушарка	Розпилююча сушарка	Сушарка типу Флеш
Продуктивність по волозі (на площу перетину камери), $\text{кг}_\text{в}/\text{м}^2 \cdot \text{год.}$	220	–	–	150–200
Продуктивність по волозі (на об'єм камери), $\text{кг}_\text{в}/\text{м}^3 \cdot \text{год.}$	260	–	30–120	100–200
Питомі витрати теплоносія на випаровування 1 т води, $\text{м}^3/\text{т}$	5000–10000	50000–75000	15000–25000	7000–16000
Питомі витрати теплової енергії на випаровування 1 кг води, $\text{кДж}/\text{кг}_\text{в}$	2600–3500	6500–8000	4500–7000	4000–6800
Питома металоємність установки (на 1 кг матеріалу), $\text{кг}/\text{кг}$	13	25–35	16–24	12–16
ККД, %	45–50	25–35	40–45	40–45



1. Сформульовано принципи способу сушіння та досушування тонкодисперсної пасти діоксиду титану у вихровому потоці теплоносія
 2. Реалізовано у вихровому потоці теплоносія одночасне подрібнення, сушіння, сепарацію та досушування цільової фракції діоксиду титану.
 3. Отримано та розв'язано узагальнені математичні залежності швидкості процесу сушіння пасти діоксиду титану від технологічних параметрів.
 4. Спроековано та виготовлено лабораторну дослідну сушильну установку для сушіння пастоподібних продуктів.
 5. Розроблено та обгрунтовано методику проведення експериментальних досліджень процесів сушіння та подрібнення пасти діоксиду титану.
 6. Проведено експериментальні дослідження гідравлічного опору сушильної камери, кінетики сушіння та подрібнення пасти діоксиду титану.
 7. Експериментально отримані основні параметри та кінетичні закономірності процесів подрібнення, сушіння та досушування тонкодисперсних частинок TiO_2 .
 8. Здійснено інтенсифікацію процесу досушування, шляхом зменшення розмірів тонкодисперсних частинок TiO_2 та збільшення їх питомої поверхні, а також збільшення рушійної сили тепломасообміну.
 9. Сформульовано принципи сепарації тонкодисперсних частинок у вихровому апараті із конічною сушильною камерою.
 10. Проведено узагальнення результатів дослідження та запропоновано методику та алгоритм розрахунку промислової сушильної установки.
- 

Статті:

у фахових виданнях (5):

1. Марчевський В.М. Аеродинаміка вихрових потоків сушильного агенту в сушильній камері / В.М. Марчевський, **Я.В. Гробовенко** // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки - 2018. № 1 (81) – с. 38-42. (Входить до наукометричних баз: **Index Copernicus, DOAJ, Google Scholar та інші**).
2. Marchevskii V. Kinetics of drying the titanium dioxide paste in the vortex dryer / V. Marchevskii, **Y. Grobovenko**, V. Telestakova // Ukrainian Food Journal – Volume 7, Issue 2, 2018. – pp. 311-323. (Входить до наукометричних баз: **Web of Science, Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, Ulrichs Web, Global Impact Factor, Cabi Full Text, OLUSD, DRJI, Universal Impact Factor, ROAD, ERIH PLUS, DOAJ, Info Base Index, CASSI**).
3. Marchevskii V. Product grinding influence on the drying process of dispersed titanium dioxide paste / V. Marchevskii, **Y. Grobovenko** // Ukrainian Journal of Food Science – Volume 6, Issue 1, 2018. – pp. 188-198. (Входить до наукометричних баз: **Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, Ulrichs Web, Global Impact Factor, Cabi Full Text, OLUSD, DRJI, Universal Impact Factor, ROAD, ERIH PLUS, DOAJ, Info Base Index, CASSI**).
4. Марчевський В.М. Задача ефективного управління процесом отримання тонкодисперсного порошку діоксиду титану в ході вихрової сушки / Марчевський В.М., Гробовенко Я.В. // Автоматизація технологічних і бізнес процесів – Том 10, № 3, 2018. – с. 59-66.

5. Marchevskii V. Probation results of the original swirling drying apparatus for paste products / V. Marchevskii, **Y. Grobovenko** // Mechanics and Advanced Technologies – Vol. 2, No. 83, 2018. – pp. 100-107. (Входить до наукометричних баз: Index Copernicus, Google Scholar, PIHЦ, Open Academic Journals Index (OAJI), CiteFactor, DAOJ, WorldCat, BASE, EBSCO).

у закордонному виданні (1):

6. Marchevskii V.M. Simulation of drying fine particles TiO_2 in a stream of drying agent / V.M. Marchevskii, **Y.V. Grobovenko**, D.S. Vizerskyi / Scientific-discussion – 2017. № 3 – с. 21-24. (Входить до наукометричних баз: ResearchBib, SIS, DIIF).

статті у інших виданнях (4):

7. Марчевський В.М. Процес сушіння діоксиду титану / В.М. Марчевський, **Я.В. Гробовенко** // International Scientific Journal, 2016. №5 – с. 22-24. (Входить до наукометричних баз: CrossRef, PIHЦ, OAJI, ResearchBib, JIF, BASE, Journal Factor, Google Scholar, Cosmos Impact Factor, Open J-Gate, CiteFactor, I2OR, RePEc).
8. Марчевський В.М. Процес сушіння пасти діоксиду титану у вихровому сушильному апараті / В.М. Марчевський, **Я.В. Гробовенко** // Наукове товариство Smart and Young – 2016, Випуск № 11-12 – с. 55-57. (Входить до наукометричних баз: Quality Factor, Index Copernicus, Научная электронная библиотека).

9. Марчевський В.М. Моделювання процесу сушіння тонкодисперсних часток TiO_2 в потоці сушильного агенту / В.М. Марчевський, **Я.В. Гробовенко** // Вісник НТУУ «КПІ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО». Хімічна інженерія, екологія, та ресурсозбереження – 2016. № 1 – с. 25-27.
10. Марчевський В.М. Гідродинаміка вихрового сушильного апарату для пастоподібних продуктів / В.М. Марчевський, Я.В. Гробовенко // Наука онлайн: Міжнародний електронний науковий журнал - 2018. - №6. (Входить до наукометричних баз: CrossRef, РИНЦ, OAJI, ResearchBib, JIF, BASE, Journal Factor, Google Scholar, Cosmos Impact Factor, Open J-Gate, CiteFactor, I2OR, RePEc).

Патенти (4):

11. Патент № 107088 Україна МПК F26B 3/084 (2006.01) Сушильна установка із псевдозрідженим шаром інертних тіл та живильником / Марчевський В.М., **Гробовенко Я.В.**; Заявл. 19.10.2015; Опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.
12. Патент № 107089 Україна МПК F26B 17/10 (2006.01) Спосіб для сушіння пастоподібних матеріалів / Марчевський В.М., **Гробовенко Я.В.**; Заявл. 19.10.2015; Опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.
13. Патент № 108688 Україна МПК F26B 17/10 (2006.01) Апарат для сушіння пастоподібних матеріалів / Марчевський В.М., **Гробовенко Я.В.**; Заявл. 09.02.2016; Опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14.

14. Патент № 131110, Україна, МПК F26B 17/10 (2006.01) Апарат для сушіння пастоподібних продуктів / Марчевський В.М., **Гробовенко Я.В.**, Візерський Д.М; Заявл. 07.06.2018; Опубл. 10.01.2019, Бюл. № 1.

Тези доповідей (4):

15. Марчевський В.М. Сушильна установка з псевдозрідженим шаром інертних тіл та живильником / В.М. Марчевський, **Я.В. Гробовенко** // Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання: VIII міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, 19-20 квітня 2015 р: збірник тез доповідей. – Київ, 2015. – С. 95–96.
16. Марчевський В.М. Апарат для сушіння пастоподібних матеріалів у вихровому шарі / В.М. Марчевський, **Я.В. Гробовенко** // Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання: IX міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, 24-26 листопада 2015 р: збірник тез доповідей. – Київ, 2015. – С. 80–81.
17. Марчевський В.М. Залежність конфігурації потоків в корпусі сушильної установки від прямої подачі теплоносія / В.М. Марчевський, **Я.В. Гробовенко**, Д.С. Візерський // Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання: XII міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, 26-27 квітня 2017 р: збірник тез доповідей. – Київ, 2017. – С. 64–65.
18. Марчевський В.М. Процес сушіння пасти діоксиду титану у вихровому сушильному апараті / В.М. Марчевський, **Я.В. Гробовенко** // Хімічна технологія і техніка: 81 міжнародна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових співробітників і аспірантів, 2017 р: збірник тез доповідей. – Мінськ, Білорусь, 2017. – С. 137–138.

Впровадження результатів дисертації у навчальний процес забезпечується:

Дякую за увагу

Схема вихрової сушильної установки

38

