



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”



До 100-річчя НТУУ «КПІ

і 80-річчя кафедри машин і апаратів
хімічних та нафтопереробних виробництв

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ
З ДИСЦИПЛІНИ «ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»**

Київ НТУУ «КПІ» 2008

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ
ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ
З ДИСЦИПЛІНИ «ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»

для студентів інженерно-хімічного
та хіміко-технологічного факультетів
усіх форм навчання

Затверджено на засіданні кафедри
машин і апаратів хімічних
та нафтопереробних виробництв
Протокол №4 від 15 жовтня 2008р.

Київ НТУУ «КПІ» 2008

Дослідження гідродинаміки псевдозрідженого шару: Методичні вказівки до науково-дослідної роботи з курсу “Процеси та апарати хімічної технології” для студентів інженерно-хімічного і хіміко-технологічного факультетів усіх форм навчання./ Укл. В.М. Марчевський, Я.М. Корнієнко, П.М. Магазій, В.В. Райда. – К.: КПІ, 2008. – 17с.

Навчальне видання

Дослідження гідродинаміки псевдозрідженого шару
Методичні вказівки
до науково-дослідної роботи студентів з дисципліни “Процеси та апарати
хімічної технології”
для студентів факультетів для студентів інженерно-хімічного
та хіміко-технологічного факультетів
усіх форм навчання

Укладачі: Марчевський Віктор Миколайович
Корнієнко Ярослав Микитович
Магазій Петро Миколайович
Райда Василь Вікторович

Відповідальний редактор Я.М. Корнієнко, доктор технічних наук

Рецензент: Тімонін Олександр Миколайович, кандидат технічних наук

Спосіб псевдозрідження - це один з ефективних методів інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів між твердим тілом і газом (рідиною).

Велика поверхня частинок в одиниці об'єму псевдозрідженого шару та інтенсивне їх перемішування забезпечують сприятливі умови для виконання цілого ряду важливих технологічних процесів, а саме сушіння, обпалювання, каталіз та інші. Тому апарати із псевдозрідженим (киплячим) шаром широко впроваджуються в промисловості.

Висока ефективність апаратів із псевдозрідженим шаром обумовлена особливостями гідродинаміки шару, тому дослідження гідродинамічних характеристик псевдозрідженого шару та газорозподільного пристрою має важливе практичне значення.

1. ОСНОВНІ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

При дослідженні гідродинаміки псевдозрідженого шару (ПШ) матеріалу певного дисперсного складу і конкретного газорозподільного пристрою, ставляться такі задачі.

- Визначити залежність між швидкістю зріджуючого агента (газу) і перепадом тиску на ПШ.
- Визначити критичну швидкість початку псевдозрідження W_0 , швидкість виносу W_B і максимальне число псевдозрідження

$$K_{\max} = W_B / W_0 .$$

- . Визначити залежність між числом псевдозрідження і ступенем розширення шару.
- . Визначити коефіцієнт гідравлічного опору газорозподільного

пристрою (ГРП).

- Розрахувати критичну швидкість та швидкість виносу для частинок певного діаметру.

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Метод взаємодії газу із зернистим матеріалом, при якому останній набуває властивостей рідини називається псевдозрідженням.

- Псевдозрідження твердих частинок газом залежить від характеру зрідження та конструктивних особливостей апарату розрізняють киплячий шар, фонтануючий і т.п.

- Псевдозрідження накладенням вібрацій - віброкиплячий шар. Енергія передається твердим частинкам віброуючими елементами конструкції апарату.

- Псевдозрідження механічне - енергія передається твердим частинкам елементами конструкції апарату, що переміщуються у шарі твердих частинок з певною швидкістю.

При продуванні повітря через шар зернистого матеріалу його гідравлічний опір збільшується із збільшенням швидкості повітря, одночасно збільшується сила динамічної взаємодії потоку на частинки S . При певній швидкості аеродинамічна сила S зрівноважить зведену силу тяжіння частини $(G_T - A)$, тобто:

$$S = G_T - A, \quad (1)$$

де: G_T – вага твердих частинок зернистого матеріалу, Н;

A - Архімедова сила, Н.

Саме виконання цієї умови і приводить частинки до псевдозрідженого стану. Гідравлічний опір шару твердих частинок досягає свого максимального значення. Залежність гідравлічного опору від швидкості газу,

віднесеного до поперечної площі перетину в зоні газорозподільної решітки називається кривою псевдозрідження, показано на рисунку 1.

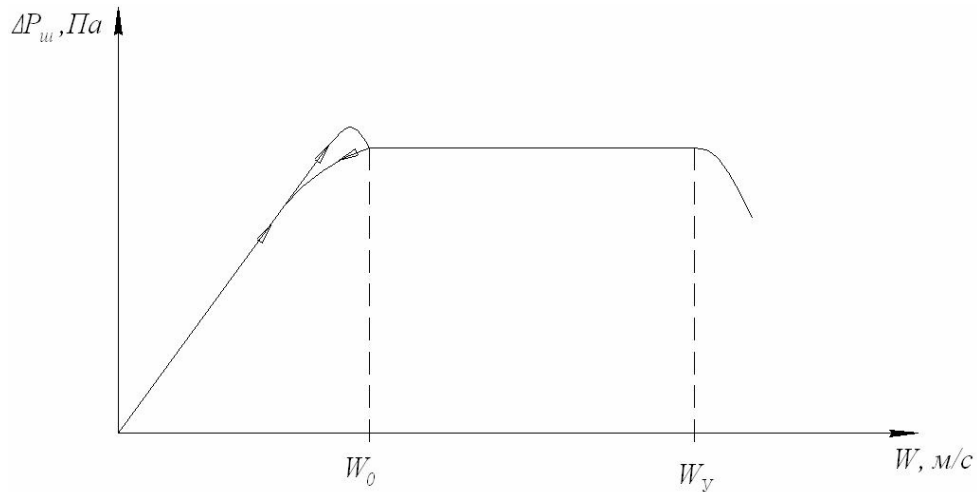


Рисунок 1. Крива псевдозрідження

Швидкість повітря - W_0 , при якій виконується рівняння (1) називається критичною швидкістю початку псевдозрідження.

Гідравлічний опір шару при повному зрідженні може бути записаний:

$$\Delta P = \frac{G_T}{F_a} = \rho_n \cdot g \cdot H_0 = (1 - \varepsilon_0) \cdot \rho_T \cdot g \cdot H_0, \quad (2)$$

де: G_T – сила тяжіння, що діє на частинки в апараті, Н;

F_a – площа поперечного перерізу шару в апараті, m^2 ;

ρ_n – насипна густина частинок, kg/m^3 ;

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$ - прискорення земного тяжіння;

H_0 - висота шару нерухомого зернистого матеріалу в апараті, м;

ρ_T – густина твердих частинок, kg/m^3 ;

ε_0 – порозність нерухомого шару.

Порозність псевдозрідженого шару (ПШ):

$$\varepsilon = \frac{V_{\Pi}}{V_{\text{Ш}}} = \frac{V_{\text{Ш}} - V_M}{V_{\text{Ш}}} = 1 - \frac{V_M}{V_{\text{Ш}}} \quad (3)$$

де: V_{Π} , $V_{\text{Ш}}$ - відповідно об'єм порожнин та загальний об'єм шару, m^3 ;

V_M - власний об'єм твердих частинок в загальному об'ємі шару, m^3 .

Цей параметр може змінюватися від $\varepsilon_0=0,4$ для нерухомого шару до $\varepsilon_b=1$ для режиму виносу частинок, чим і визначається діапазон існування ПШ

Робоча швидкість псевдозрідження W_p вибирається дещо більшою, ніж швидкість початку псевдозрідження W_0 . Це співвідношення визначається з допомогою числа псевдозрідження, яке показує у скільки разів робоча швидкість більше критичної

$$K_w = \frac{W_p}{W_0} \quad (4)$$

Відповідно до цього буде змінюватись і порозність ПШ .

В зв'язку з певними труднощами практичного визначення порозності ПШ, її визначають через ступінь розширення шару, тобто:

$$\frac{H}{H_0} = f\left(\frac{W_p}{W_0}\right) \quad (5)$$

де: H – висота ПШ при певному значенні W_p , або числі псевдозрідження K_w .

У загальному випадку ступінь розширення шару пов'язана із порозністю залежністю:

$$\frac{H}{H_0} = \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_p} \quad (6)$$

Для визначення критичної робочої та виносної швидкостей в літературі наведено багато залежностей.

Для монодисперсних шарів О.М.Тодес запропонував залежності для визначення швидкості

- початку псевдозрідження при $\varepsilon_0=0,4$ для сферичних частинок

$$Re_{np} = \frac{Ar}{1400 + 5,25\sqrt{Ar}} \quad (7)$$

i - швидкості виносу, при $\epsilon_b=1$

$$\text{Re}_6 = \frac{Ar}{18 + 0,51\sqrt{Ar}}, \quad (8)$$

де:

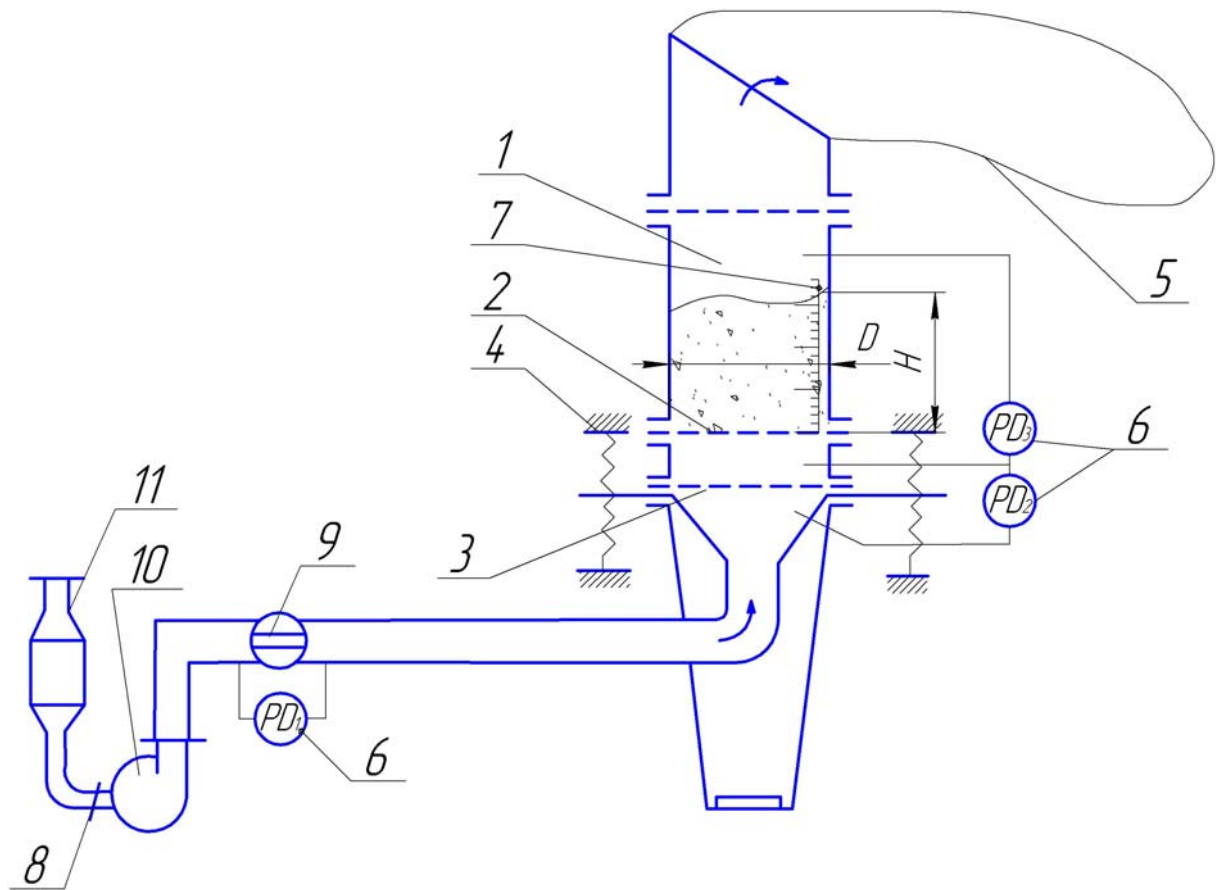
$$Ar = \frac{g \cdot d_e^3 \cdot (\rho_T - \rho_g)}{\nu^2 \cdot \rho_g} \quad (9)$$

в який відповідно підставляється еквівалентний діаметр d_e - для полідисперсних систем, ν , ρ_g - кінематична в'язкість і густина газу при температурі дослідів.

3. ОПИС ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка (рисунок 2) складається з апарату киплячого шару з внутрішнім діаметром корпусу 0,115 м, в нижній частині апарату встановлена підтримуюча сітка 2 з живим перерізом 80% і газорозподільна решітка з живим перерізом 3,5%.

Апарат підвішений до рами на пружинних амортизаторах, до верхньої частини апарату прикріплюється рукавний фільтр 5, а до нижньої (дифузору) – трубопровід, що з'єднує апарат з газодувкою 10. На вході газодувки встановлені поглинач шуму 11 і шибер 8.



1 – апарат для утворення псевдозрідженого шару; 2 – підтримуюча сітка; 3 – газорозподільна решітка; 4 – пружні підвіски; 5 – рукавний фільтр; 6 – дифманометри; 7 – лінійка; 8 – регулюючий шибер; 9 – вимірювальна діафрагма; 10 – ротаційна газодувка; 11 – шумопоглинач.

Рисунок 2. Схема лабораторної установки

На установці вимірюються:

- Витрати повітря за допомогою камерної діафрагми 9 в комплекті з диференційним манометром 6 (ΔP_1), який при користуванні тарировочним графіком дозволяє визначити витрати повітря в $\text{м}^3/\text{с}$.
- Гідравлічний опір газорозподільної решітки (ΔP_2) водяним дифманометром 6.

- Висота шару твердих частинок H_0 і H лінійкою 7.

Витрати повітря, яке подається газодувкою, регулюються шиббером 8.

Електродвигун газодувки 10 вмикається через електричний автомат, розташований на пульті керування установкою.

4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

1. Перед подачею напруги на установку перевірити:

- справність заземлення установки та електродвигуна;
- справність пасів і огороження клинопасової передачі;
- надійність кріплення вузлів установки.

2. Увімкнути установку до мережі можливо тільки після виконання вказаних перевірок. Вмикає установку лаборант або викладач.

3. При роботі установки не дозволяється торкатись рухомих деталей і огороження.

4. Роботу на установці треба проводити суворо дотримуючись інструкції.

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Починаючи роботу треба закрити шиббер 8, закріпити рукавний фільтр 5. Подати напругу на пульт керування установкою. Ввімкнути газодувку 10, відкрити шиббер 8, встановити таку початкову витрату повітря щоб покази дифманометра на вимірювальній діафрагмі становили $\Delta P_1=50\text{Па}$ (5мм вод, ст.). При цій витраті вимірюється гідравлічний опір шару матеріалу в апараті $-\Delta P_3$, гідравлічний опір газорозподільної решітки ΔP_2 , висоту шару - H . Результати вимірів занести в таблицю, після чого витрати повітря збільшити і

знову записати покази приладів в таблицю. Витрати повітря збільшувати так, щоб перепад ΔP_1 збільшувався на 50 Па.

Збільшити витрати повітря і довести шар зернистого матеріалу до "кипіння". Зафіксувати перепади, що відповідають початку псевдозрідження ΔP_1 , ΔP_3 . Збільшенням витрат повітря довести шар до режиму виносу матеріалу у рукавний фільтр.

Зменшити витрати повітря до значення, при якому швидкість в перетині апарату менше W_b . Зсипати матеріал із рукавного фільтра до апарату. Плавню зменшуючи витрати повітря ΔP_1 через 50 Па зняти покази приладів та записати їх у таблицю. Після закінчення роботи закрити шибер 8, вимкнути газодувку.

Записати умови проведення дослідів:

- Температуру газу - t , °С;
- Еквівалентний діаметр частинок - d_e , м;
- Густина твердих частинок - ρ_t , кг/м³;
- Висоту нерухомого шару - H_0 , м.

6. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

По результатах вимірів, наведеними в таблиці 1 розрахувати.

- Швидкість повітря в перетині апарату:

$$W = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D},$$

де: $D=0.115$ м – внутрішній діаметр апарату в зоні газорозподільної решітки,

V - витрати повітря, м³/с, визначаємо з тарировочного графіку на рисунку 3, або з кореляційної залежності: $V=0,00181(\Delta P_1)^{0,497}$

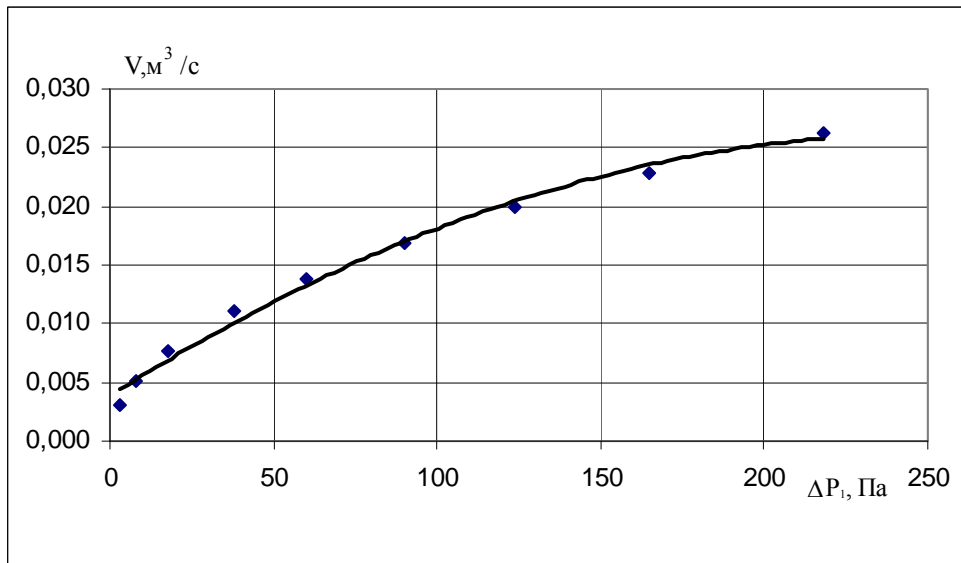


Рисунок 3. Тарировочна залежність $V=f(\Delta P_1)$

• Комплекс:

$$A = \frac{W_1^2 \cdot \rho_2}{2},$$

де: $W_1 = \frac{W}{\varphi}$ - швидкість повітря в отворах газорозподільної решітки, м/с,

$\varphi = 0,035$ – коефіцієнт живого перерізу газорозподільного пристрою.

Густина і в'язкість газу залежать від температури: $\rho_2 = \rho_0 \frac{273}{273+t}$,

де: ρ_0 – густина газу за нормальних умов, для повітря $\rho_0 = 1,293 \text{ кг/м}^3$.

Кінематична в'язкість повітря: $\nu = 4,314 \cdot 10^{-9} \frac{(273+t)^{2,5}}{397+t}$, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

• Ступінь розширення шару

$$H/H_0,$$

• Число псевдозрідження

$$K_w = W_p/W_0,$$

• Результати розрахунків занести до таблиці 1.

За даними таблиці 1 побудувати:

- Для режиму підйому шару криву псевдозрідження (рисунок 1) і нанести на неї точки, отримані при прямому та зворотному ході дослідів. На кривій псевдозрідження відмітити значення W_0 та W_B .

- Криву залежності $H/H_0=f(K_w)$ (рисунок 4).

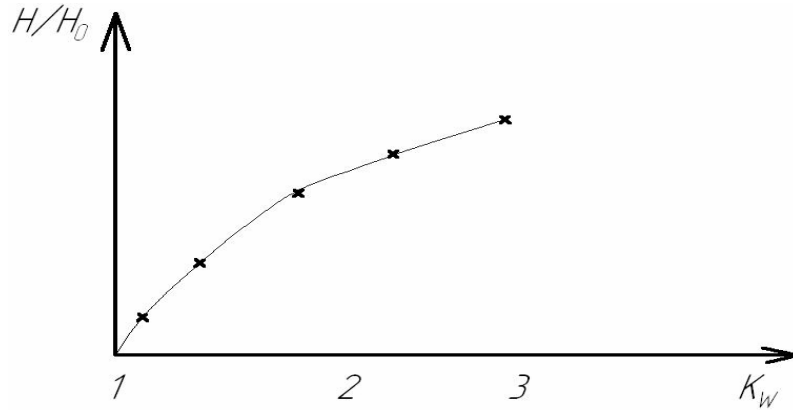


Рисунок 4. Залежність ступеня розширення шару від числа псевдозрідження

- Криву залежності відповідно рисунку 5 :

$$\Delta P_2 = f\left(\frac{W_1^2 \cdot \rho_2}{2}\right) = f(A),$$

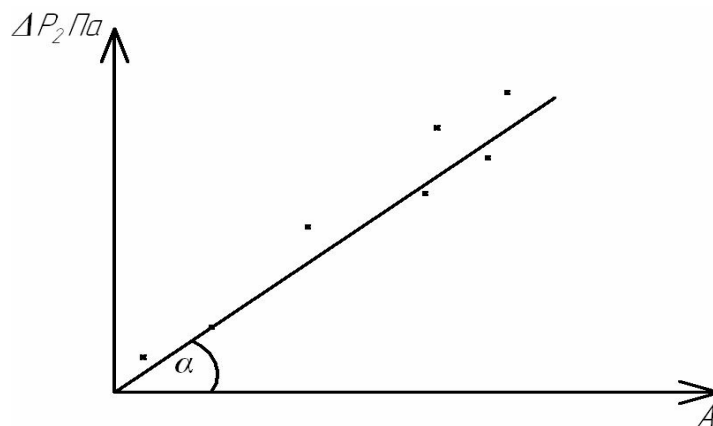


Рисунок 5. Залежність $\Delta P_2 = f(A)$

- Визначити коефіцієнт гідравлічного опору газорозподільної решітки - ξ з графіка функції $\Delta P_2 = f(A)$, де: $\xi = \text{tg}\alpha$.

- Користуючись формулами (7) і (8), розрахувати для еквівалентного діаметра частинок в апараті значення швидкостей W_o та W_B та порівняти їх з дослідними.

- Розрахувати абсолютне та відносне відхилення розрахункових та дослідних значень W_o та W_B .

- Занести результати експериментальних досліджень гідродинаміки псевдозрідженого шару та газорозподільного пристрою до таблиці 1.

7. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ, ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

- Охарактеризувати ділянки кривої псевдозрідження, для режимів підйому та спуску, визначити діапазон існування киплячого шару.

- Порівняти дослідні та розрахункові значення W_o та W_B . Пояснити, чим викликані відхилення та оцінити їх.

- Дати аналіз кривої $H/H_o=f(K_w)$, вказати робочий діапазон чисел псевдозрідження та оптимальне число псевдозрідження,

- Визначити з якою метою і як визначається коефіцієнт гідравлічного опору газорозподільної решітки.

- Зробити висновки по результатах досліджень.

- Вказати значення параметрів найбільш оптимального технологічного процесу у відношенні режиму псевдозрідження.

Таблиця 1. Результати досліджень гідродинаміки ПШ і ГРП.

№ дос-ліду	Діафраг-ма ΔP_1 , Па	Витрати повітря V , м ³ /с	Гідравлічний опір		Висота шару H , м	Розрахункові величини			
			ГРП ΔP_2 , Па	ПШ ΔP_3 , Па		W , м/с	H/H_0	K_w	$A = \frac{W_1^2 \cdot \rho_z}{2}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому псевдозріджений шар має властивості рідини?
2. Чим пояснити наявність піку тиску на кривій псевдозрідження в області швидкостей початку псевдозрідження?
3. Чим відрізняється розширення шару від порозності?
4. Які режимні параметри характеризують процес псевдозрідження?
5. Які режимні параметри характеризують діапазон існування псевдозрідженого шару?
6. Чим відрізняються режими рівномірного псевдозрідження від розвиненого киплячого шару?
7. Які режими реалізуються в промислових апаратах?

ЛІТЕРАТУРА

1. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. -М. : Химия, 1967. - 664 с.
2. Романков, П.Г., Рашновская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. - Л.: Химия, 1968. - 360 с.
3. Протодяконов И.О., Чесноков Ю.Г. Гидромеханика псевдооживленного слоя. - Л.: Химия, 1982. - 264 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия. 1991. – 496 с.
5. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 1. М.: Химия. 1995. – 400 М.: Химия. 1991. – 496 с.
6. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии, -Л.: Химия, 1974, 1974,- 288 с.