

РЕФЕРАТ

Магістерська робота за темою «Дослідження процесу псевдозрідження шару сипкого матеріалу з розробкою підігрівача повітря»: 94 с., 4 табл., 14 рис., 3 дод., 12 літ. джерел

ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, КИПЛЯЧИЙ ШАР, ЕКСПЕРИМЕНТИ, ДИСПЕРСІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНА УСТАНОВКА, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ДОСЛІДЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – експериментальна установка з псевдозрідженим шаром.

Мета роботи – експериментальне на дослідній установці та розрахункове визначення основних параметрів нової технологічної схеми з розробкою підігрівача повітря.

Методи дослідження – експериментальні та розрахункові.

У результаті роботи було виконано:

- ✓ ознайомлення зі способами псевдозрідження сипких матеріалів;
- ✓ розробка плану проведення експерименту;
- ✓ проведення експерименту;
- ✓ обробка результатів експерименту;
- ✓ на основі критеріальних рівнянь визначення основних параметрів пілотної установки;
- ✓ розробка частини загальної технологічної схеми, а саме, схеми підігріву технологічного газу перед подачею до реактора;
- ✓ розрахунок основного апарату схеми підігріву – кожухотрубчастого теплообмінника.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Мета і задачі роботи.....	8
2 Аналітичний огляд.....	9
2.1 Загальні відомості процесу псевдозрідження.....	9
2.2 Переваги та недоліки застосування псевдо зрідження.....	17
2.3 Апарат з псевдозрідженим шаром.....	18
2.4 Різновиди деяких процесів у псевдозрідженому шарі.....	20
2.5 Рух рідини через псевдозріджений шар.....	22
2.6 Порізність псевдозрідженого шару.....	24
2.7 Кожухотрубчасті теплообмінники.....	26
3 Фізико-механічні властивості речовин, що використовуються в роботі.....	35
4 Опис експериментальної установки.....	37
5 План і порядок проведення експериментальних робіт.....	39
6 Визначення необхідної кількості експериментів.....	41
7 Результати проведення експериментальних робіт.....	43
8 Обробка результатів експериментів.....	44
8.1 Попередня обробка даних.....	44
8.2 Перевірка однорідності дисперсій серій експериментів.....	44
8.3 Пошук викидів експериментальних даних.....	46
9 Визначення основних параметрів технологічної установки.....	48
10 Розробка технологічної схеми у частині підігріву газу перед реактором.....	52
10.1 Процес глибокого окиснення органічних відходів.....	52
10.2 Опис технологічної схеми пілотної установки.....	54
11 Розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість.....	56

	4
11.1 Визначення товщини стінки обичайки кожуха.....	57
11.2 Розрахунок еліптичного днища кожуха.....	59
11.3 Розрахунок на міцність та жорсткість елементів теплообмінних апаратів з U-подібними трубами.....	60
12 Техніка безпеки під час роботи в лабораторії.....	65
Висновки.....	77
Перелік джерел посилання.....	78
Додаток А.....	80
Додаток Б.....	85
Додаток В.....	90

ВСТУП

Формою здійснення і розвитку науки є наукове дослідження.

Вивчення за допомогою наукових методів явищ і процесів, аналіз впливу на них різних факторів, а також вивчення взаємодії між явищами з метою отримати переконливо доведені і корисні для науки і практики вирішення з максимальним ефектом.

Мета наукового дослідження – визначення конкретного об'єкта і всебічне, достовірне вивчення його структури, характеристик, зв'язків на основі розроблених в науці принципів і методів пізнання, а також отримання корисних для діяльності людини результатів, впровадження у виробництво з подальшим ефектом.

Основою розробки кожного наукового дослідження є методологія – сукупність методів, способів, прийомів і їх певна послідовність, прийнята при розробці наукового дослідження. В кінцевому рахунку методологія – це схема, план вирішення поставленої науково-дослідної задачі.

Наукове дослідження має розглядатися в безперервному розвитку, базуватися на зв'язку теорії з практикою.

Важливу роль в науковому дослідженні грають висновки, що виникають при вирішенні наукових проблем пізнавальних задач, найбільший інтерес з яких представляють емпіричні та теоретичні.

Емпіричні задачі спрямовані на виявлення, точний опис і ретельне вивчення різних факторів розглянутих явищ і процесів. У наукових дослідженнях вони вирішуються за допомогою різних методів пізнання – спостереженням і експериментом.

Спостереження – це метод пізнання, при якому об'єкт вивчають без втручання в нього; фіксують, вимірюють лише властивості об'єкта, характер його зміни.

Експеримент – це найбільш загальний емпіричний метод пізнання, в якому роблять не тільки спостереження і вимірювання, але і здійснюють перестановку, зміни об'єкту дослідження і т.д. В цьому методі можна виявити вплив одного фактору на інший. Емпіричні методи пізнання відіграють велику роль в науковому дослідженні. Вони не тільки є основою для підкріплення теоретичних передумов, але часто складають предмет нового відкриття, наукового дослідження. Теоретичні задачі спрямовані на вивчення і виявлення причин, зв'язків, залежностей, що дозволяють встановити поведінку об'єкта, визначити і вивчити його структуру, характеристику на основі розроблених в науці принципів і методів пізнання. В результаті отриманих знань формують закони, розробляють теорію, перевіряють факти і ін. Теоретичні пізнавальні задачі формують таким чином, щоб їх можна було перевірити емпірично.

У рішенні емпіричних і суто теоретичних задач наукового дослідження важлива роль належить логічному методу пізнання, що дозволяє на основі аналітичних трактувань пояснювати явища і процеси, висувати різні пропозиції і ідеї, встановлювати шляхи їх вирішення. Цей метод базується на результатах емпіричних досліджень.

Результати наукових досліджень оцінюють тим вище, чим вище науковість зроблених висновків і узагальнень, чим достовірніше вони й ефективніше. Вони повинні створювати основу для нових наукових розробок.

Одним з найважливіших вимог, що пред'являються до наукового дослідження, є наукове узагальнення, яке дозволить встановити залежність і зв'язок між досліджуваними явищами і процесами і зробити наукові висновки. Чим глибше висновки, тим вище науковий рівень дослідження [1].

Математичне моделювання ефективний і економічний шлях вирішення багатьох технічних задач. Сучасний рівень розвитку техніки

характеризується постійним ускладненням виробленої продукції. Для її виробництва потрібно обробляти велику кількість деталей складної форми. Постійно зростаючі вимоги до підвищення продуктивності і точності обробки деталей викликає необхідність інтенсифікації і автоматизації процесів їх виготовлення. При цьому більше 80% машинобудівельної продукції виготовляється дрібними серіями. Впровадження традиційної автоматизації такого виробництва, заснованої на застосуванні автоматичних і автоматизованих ліній і ділянок, пов'язане з технічними труднощами їх переналагодження. Автоматизація серійного виробництва йде за двома напрямками, що відрізняється як степені автоматизації обладнання, так і інтенсивністю його впровадження [2].

1 МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Метою роботи є експериментальне на дослідній установці та розрахункове визначення основних параметрів нової технологічної схеми з розробкою підігрівача повітря.

Досягнення мети відбувається шляхом вирішення таких задач:

1 Ознайомлення зі способами псевдозрідження сипких матеріалів.

2 Розробка плану проведення експерименту.

3 Проведення експерименту.

4 Обробка результатів експерименту.

5 На основі критеріальних рівнянь визначення основних параметрів пілотної установки.

6 Розробка частини загальної технологічної схеми, а саме, схеми підігріву технологічного газу перед подачею до реактора;

7 Розрахунок основного апарату схеми підігріву – кожухотрубчастого теплообмінника.

8 Формулювання висновків.

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

2.1 Загальні відомості процесу псевдозрідження

Псевдозрідження – це процес взаємодії газів і рідин з твердими зернистими пиловидними матеріалами, при проведенні якого тверді частинки набувають рухливості одна відносно одної за рахунок обміну енергії з псевдозріджуючим потоком. Внаслідок зовнішньої подібності з поведінкою звичайної краплинної рідини такий стан твердих частинок отримав назву "псевдозріджений шар":

- псевдозріджуючий шар приймає форму вміщуючого його апарату;
- поверхня псевдозріджуючого шару горизонтальна;
- аналогічні властивостям рідини – текучість, в'язкість і поверхневий натяг. Тіла, що мають меншу густину, ніж псевдозріджуючий шар, спливають в ньому, а більшу – тонуть.

Широке запровадження техніки псевдозрідження в промислову практику зумовлено рядом позитивних факторів. Тверді частинки в псевдозріджуючому стані внаслідок текучості можна переміщувати по трубам, що дозволяє багато періодичних процесів здійснювати безперервно. Особливо вигідне використання псевдозріджуючого шару для процесів, швидкість котрих визначається термічним або дифузійним опорами в газовій фазі. Ці опори в умовах псевдозрідження зменшуються в десятки, а інколи в сотні разів, а швидкість процесів відповідно зростає.

Завдяки інтенсивному перемішуванню твердих частинок в псевдозріджуючому шарі практично вирівнюється поле температур, вилучається можливість значних локальних перегрівів і зв'язаних з цим порушень в проходженні ряду технологічних процесів.

Але поряд з перевагами, псевдозріджуючому шару властиві і деякі недоліки. Так викликане інтенсивним перемішуванням твердих

частинок вирівнювання температур і концентрацій в слою призводить до зменшення рушійної сили процесу. Можливість проскоку значних кількостей газів без достатнього контакту з твердими частинками зменшується вихід цільового продукту.

До від'ємних факторів також відносять винос твердих частинок, ерозію апаратури, виникнення значних зарядів статичної електрики, необхідність встановлення потужних газоочисних споруд. Деякі з перелічених недоліків можуть бути вилучені раціональною конструкцією апаратів.

Псевдозрідження широко застосовується для процесів:

1) хімічні процеси (каталітичний крекінг нафтопродуктів, багато чисельні гетерогенні каталітичні реакції, газифікація палив, обпалення сульфідних руд та ін.);

2) фізичні і фізико-хімічні процеси (сушка дрібнозернистих, пастоподібних і рідких матеріалів, рудних концентратів, сублімаційна очистка речовин, розчинення кристалізація солей, адсорбційна очистка газів, термічна обробка металів, нагрів і охолодження газів та ін.);

3) механічні процеси (збагачення, класифікація, гранулювання, змішування і транспортування зернистих і пилоподібних матеріалів) [3].

Киплячий шар

Киплячий шар, псевдозріджений шар, стан шару зернистого сипучого матеріалу, при якому під впливом проходить через нього потоку газу або рідини (зріджують агентів) частки твердого матеріалу інтенсивно переміщаються одна щодо іншої. У цьому стані шар нагадує киплячу рідину, набуваючи деякі її властивості, і його поведінка підкоряється законам гідростатики. У киплячому шарі досягається тісний контакт між зернистим матеріалом і зріджується агентом, що робить ефективним застосування киплячого шару в апаратах хімічної промисловості, де

необхідна взаємодія твердої і текучої фаз (дифузійні, каталітичні процеси і ін.).

Киплячий шар характеризується постійністю температури по висоті і перетину, навіть якщо в ньому протікають процеси з великим тепловим ефектом, а також високими значеннями коефіцієнта теплопередачі до поверхонь теплообміну.

Апарати з киплячим шаром широко застосовуються в промисловості завдяки простоті пристрою, інтенсивності дії, легкості завдяки простоті пристрою, інтенсивності дії, легкості автоматизації, відносно невеликій гідравлічному опорі шару (незалежно від швидкості зріджуючого агента. Крім здійснення хімічних процесів, їх використовують для адсорбції речовин з газів і рідин, теплообміну, сушки твердого матеріалу, а також для його перемішування, класифікації та транспортування. Прикладом, наочно що демонструю роботу апарату з киплячим шаром, є дія установки для сушіння в киплячому шарі (рис. 2.1). Повітря надходить через фільтр 1 і калорифер 2 в сушильну камеру 3, де створюється киплячий шар матеріалу, що подається шнеком 4. Після знепилювання в циклоні 5 і очищення в фільтрі 6 повітря викидається в атмосферу вентилятором 7. Висушений матеріал переливається через поріг 8 і видаляється з апарату. Іншим прикладом апаратів такого типу є киплячого шару піч.

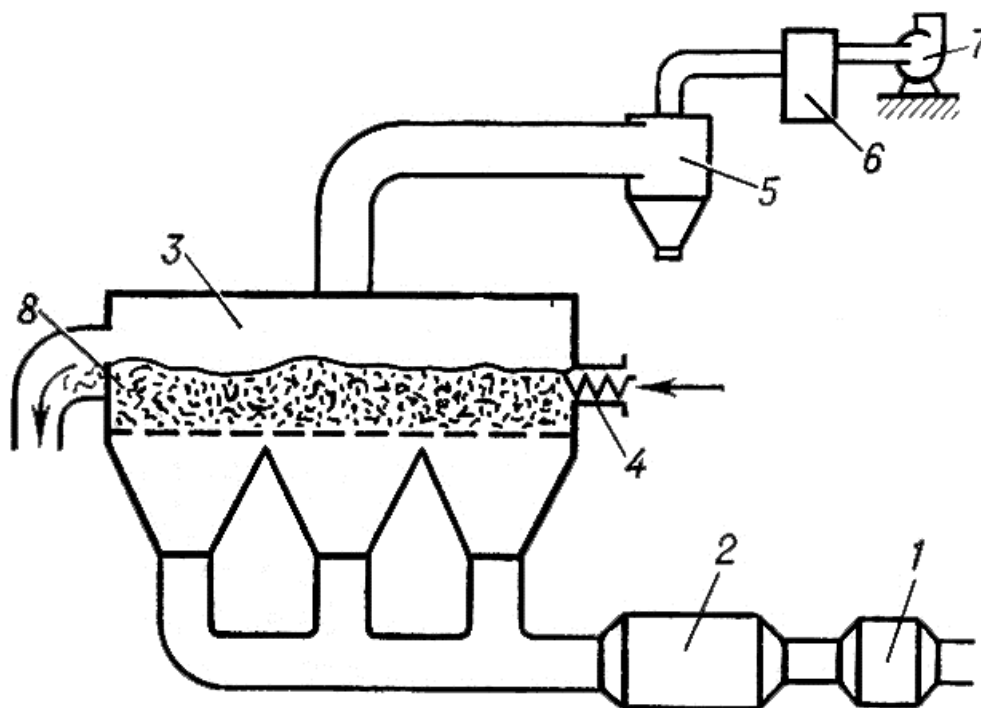


Рисунок 2.1 – Киплячий шар

До недоліків апаратів з киплячим шаром відносяться стирання частинок твердого матеріалу, винесення їх потоком зріджуючого агенту, ерозія апаратури, обмежений діапазон швидкостей зріджуючого агенту [4].

Основні теоретичні положення

Зернистий матеріал, який складається з окремих близьких за розміром твердих часток (зерен), здебільшого доводиться обробляти в газовому або рідкому середовищі. Таку теплову або дифузійну обробку зернистого матеріалу доцільно проводити в так званому псевдозрідженому (завислому) стані, що утворюється при певних швидкостях подачі рухомого суцільного середовища.

У повітряному потоці завислий шар зернистого матеріалу утворюється в разі використання близьких за розміром округлих часток з еквівалентним діаметром від сотих часток міліметра (борошно, крохмаль) до кількох сантиметрів (драже, сухі дріжджі, соя, волоські горіхи). Для того щоб усі частинки матеріалу переходили в завислий стан одночасно і

не утворювали окремих зон застоювання або інтенсивного фонтанування, потрібно дотримуватися вимоги, щоб маса окремих частинок відрізнялась не більш як на порядок, тобто, щоб лінійний розмір (еквівалентний діаметр) частинок при однаковій густині не відрізнявся більш ніж у $\sqrt[3]{10} = 2.14$ рази.

Псевдозріджений шар, тобто шар завислих у газовому (повітряному) потоці твердих частинок, отримують, продуваючи повітря знизу вгору крізь розміщений на ґратах шар зернистого матеріалу з досить близькими за розміром частинками. При досягненні певної швидкості повітря шар розширюється, і частинки в його межах приходять в хаотичний рух, що зовні нагадує процес кипіння. Тому такий шар ще називають киплячим, або завислим.

Спостерігають кілька станів псевдозрідженого шару:

- початкове спокійне псевдозрідження з незначним зрушенням частинок матеріалу відносно початкового положення, коли немає помітного впливу газу (повітря) на їхню рухливість (об'єм такого шару дещо збільшується зі зростанням швидкості газу);
- перехідний режим – закипання шару, тобто перехід частинок у хаотичний рух;
- повне псевдозрідження з інтенсивним хаотичним рухом частинок - вихрове кипіння.

Перехід нерухомих частинок у завислий стан відбувається при такій швидкості газу (повітря), коли сила P динамічної дії газового потоку зрівноважує вагу G окремих частинок шару з вирахуванням виштовхувальної (Архімедової) сили A (рисунок 2.2):

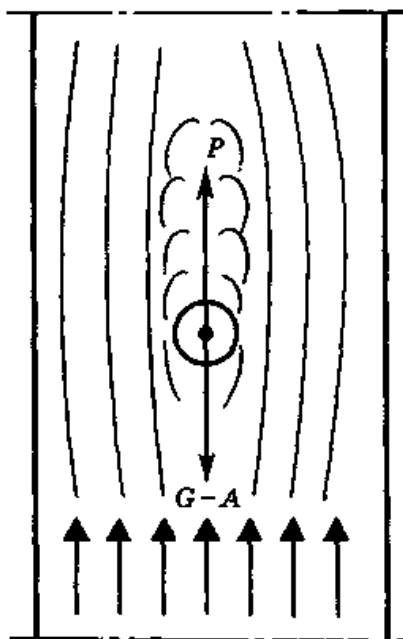


Рисунок 2.2 – Сили, які діють на завислу частинку

На рисунку 2.3,а показано криву ідеального псевдозрідження, характерну для монодисперсних, тобто однакового розміру, сферичних частинок.

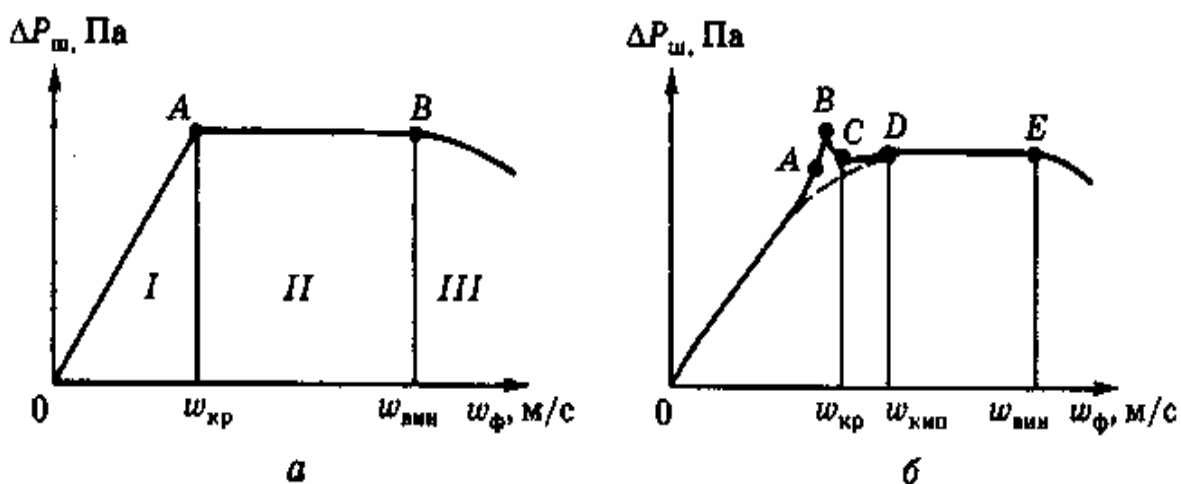


Рисунок 2.3 – Криві псевдозрідження для круглих (а) і не круглих (б) монодисперсних частинок: I – нерухомий шар; II- завислий шар; III – винесення

Висхідна частина кривої ОА відповідає руху повітря крізь нерухомий шар, і вигляд її залежить від режиму руху повітря. Для частинок малого розміру режим руху ламінарний і відрізок ОА прямий. Для частинок більшого розміру згідно із законами перехідного або турбулентного режимів руху повітря відрізок ОА криволінійний.

Перелом кривої в точці А відповідає переходу нерухомого шару в спокійний псевдозріджений стан при критичній швидкості повітря $w_{кр}$, коли сила гідродинамічного тиску газового потоку зрівноважує вагу частинок шару. З подальшим підвищенням швидкості газу перепад тиску в шарі залишається постійним (горизонтальний відрізок АВ).

У точці В, що називається швидкістю винесення $w_{вин}$, швидкість газу досягає такого високого значення, при якому частинки виносяться із шару (настає пневмотранспорт частинок). Внаслідок винесення загальна вага частинок і енергія, потрібна для їх підтримування у завислому стані, зменшуються, тобто перепад тиску $\Delta p_{ш}$ знижується.

На рисунку 2.3,б показано реальну криву псевдозрідження для монодисперсних не круглих частинок. На відрізку ОА шар перебуває в нерухомому стані, а його опір зростає із збільшенням швидкості повітря.

З наближенням швидкості повітря до критичної підіймальна сила потоку, що діє на зерна (частинки), зростає настільки, що їх взаємний тиск зникає. Внаслідок неправильної форми зерен центр прикладання підіймальної сили здебільшого не збігається з центром ваги зерен. Обертовий момент, що виникає, трохи зрушує зерна і орієнтує їх у напрямку струменів повітря. Зернистий шар набрякає (відрізок АВ), збільшуючись в об'ємі на 3...5 %, залежно від форми зерен.

У точці В, коли опір набряклого шару досягає максимального значення, відбувається переорієнтація всіх зерен після чого опір шару досить різко падає на незначну величину (ділянка ВС). Зниження опору

пояснюється деяким збільшенням перерізу каналів, якими проходить повітря між зернами.

Швидкість повітря в точці С вважають критичною. Вона відповідає початку псевдозрідження, коли частинки в основному ще малорухомі, але в окремих місцях шару виникають локальні осередки псевдозрідження (руху частинок).

Поступове збільшення швидкості повітря понад $w_{кр}$ сприяє виникненню все нових осередків кипіння (перехідний режим), інтенсивність руху зерен у шарі зростає, кипіння стає більш рівномірним. Опір шару дещо збільшується (відрізок CD), а потім з деякого значення швидкості кипіння $w_{кип}$ характеризує досягнення повного псевдозрідження шару – стану вихрового кипіння, при якому зерна матеріалу перебувають у неусталеному інтенсивному хаотично-циклічному русі. У стані кипіння здійснюються технологічні процеси оброблення зернистого матеріалу, оскільки в цьому режимі досягається найповніший контакт між твердими частинками і газовим потоком.

На реальній кривій псевдозрідження лінії прямого і зворотного ходів, отримані відповідно при поступовому збільшенні й поступовому зменшенні швидкості газу, поблизу точки С не збігаються (гістерезис). Лінія зворотного ходу (штрихова) не має ділянки підвищення тиску і розміщується нижче. Лінія зворотного ходу добре відтворюється в усіх експериментах, тоді як лінія прямого ходу в різних експериментах збігається гірше й може мати вигляд ламаної лінії, особливо в разі утворення каналів у зернистому шарі.

Залежно від конструкції апарата і газорозподільних ґрат (решітки) можуть виникати різні режими руху шару: фонтанування або переміщення частинок по контуру (вихровий режим). Рівномірне псевдозрідження досягається досить рідко: якщо розподільник газу має вигляд пористої

перегородки або в разі утворення псевдозрідженого шару у рідкому середовищі.

2.2 Переваги та недоліки застосування псевдозрідження

До основних переваг псевдозрідженого стану системи відносять:

- її особливі властивості, подібні до властивостей рідини – індивідуальна густина, текучість, в'язкість, теплоємність, теплопровідність та ін.;
- можливість використання у процесі частинок різних розмірів (від 50 мкм до декількох мм) різної фізичної природи та різної густини і щільності;
- інтенсивне перемішування взаємодіючих фаз в об'ємі зернистого шару;
- циркуляція та класифікація частинок в шарі залежно від величини частинок, їх густини, а також від властивостей середовища;
- високорозвинена поверхня контакту фаз (так звана рівнодоступність поверхні зерен до середовища);
- високі інтенсивності міжфазового тепло- і масообміну;
- відносна простота будови апаратів з псевдозрідженим шаром, можливість їхньої автоматизації і автоматизованого управління.

Ці переваги псевдозрідженого зернистого шару широко використовуються в промисловості як прогресивний технологічний засіб, що забезпечує високоінтенсивне безперервне протікання різних процесів в умовах активної гідродинамічної взаємодії фаз, вирівнювання полів температур і концентрацій.

Метод псевдозрідженого шару широко використовують в хімічній та багатьох інших галузях промисловості при розчиненні та кристалізації солей, висушуванні різних речовин, вологих мінеральних руд і кам'яного вугілля, при адсорбції газів і пари летких розчинників, при випалюванні руд кольорових металів, при спалюванні низькокалорійного твердого палива, при каталітичному окислюванні продуктів нафто- та органічного синтезу та багатьох ін.

Псевдозрідженому шару властиві також і недоліки, серед яких найбільш вагомими є стирання частинок та пилоутворення, підвищений ерозійний знос стінок обладнання, утворення статичних зарядів електрики, що може призвести до вибухонебезпечних ситуацій та ін.

2.3 Апарати з псевдозрідженим шаром

Стан псевдооживлення зернистого матеріалу настає, коли через шар пропускають газ з так зване критичної швидкістю, при якій він роз'єднує частки зернистого матеріалу і зменшує тертя між ними. Шар сипучого матеріалу набуває властивостей рідин: має свою "в'язкість", "питома вага", постійний рівень і може текти по жолобу. Поверхня матеріалу нагадує киплячу рідину.

В умовах псевдооживлення надзвичайно інтенсифікуються процеси тепло- і масообміну між частинками твердого матеріалу і газом, тому апарати з псевдозрідженим (киплячим) шаром знаходять все більш широке застосування в різних галузях промисловості. При продуванні газу через шар сипучого матеріалу спостерігаються такі режими:

- 1) фільтрація – газ проходить по каналах між нерухомими частинками матеріалу;

2) псевдозрідження – інтенсивне перемішування частинок, що супроводжується "спухання шару" – збільшенням його обсягу на 20...50%;

3) фонтанування – газ проривається через шар матеріалу великими бульбашками, відбувається підкидання матеріалу;

4) винесення матеріалу з потоком газу (режим пневмотранспорту).

На рис. 2.4 наведено варіанти руху газу через шар сипкого матеріалу.

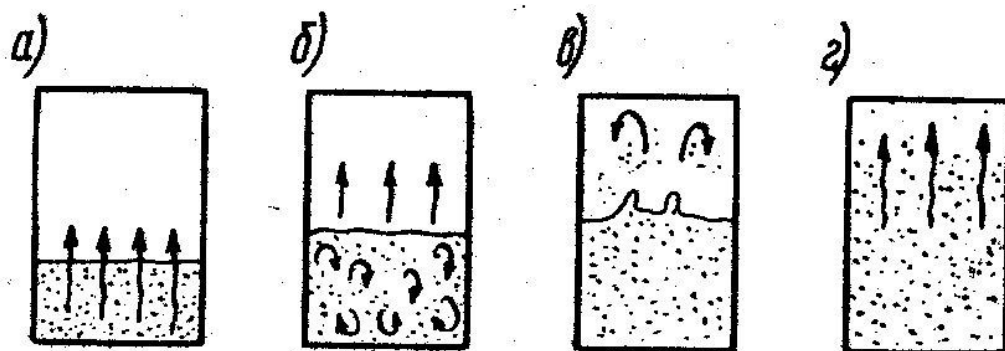


Рисунок 2.4 – Рух газу через шар сипкого матеріалу

а) – фільтрація газу, б) – псевдозрідження, в) – фонтанування,

г) – пневмотранспорт

Швидкість газу, віднесена до вільного перетину апарата, відповідна початку псевдооживлення, називається критичною. Апарати з псевдозрідженим шаром працюють в порівняно вузькому інтервалі швидкостей повітря, що продувається або газу. Ця швидкість повинна бути більше критичної, але менше швидкості виносу частинок.

Мінімальна товщина шару, що забезпечує стійку роботу апарату, 150...200 мм. Для збільшення продуктивності апарату і розміщення теплообмінних елементів в шарі матеріалу товщину іноді збільшують до 700...800 мм. Подальше збільшення шару не рекомендується, так як при

цьому зростає гідравлічний опір системи. Висота вільного простору над шаром матеріалу повинна перевищувати висоту зльоту частинок при випадкових викидах.

Гідравлічний опір киплячого шару залишається постійним незалежно від швидкості газу.

Апарати з псевдозрідженим шаром працюють, як правило, безперервно, хоча в деяких випадках їх застосовують для періодичних процесів. Вони є апаратами ідеального змішування: внаслідок інтенсивного перемішування у всіх точках встановлюється практично однаковий склад матеріалу і однакова температура.

Ці апарати не рекомендується використовувати для обробки злипаються матеріалів. Їх застосовують для сушіння зернистих, порошкоподібних і пастоподібних матеріалів.

Апарати з псевдозрідженим шаром виконуються у вигляді круглої або прямокутної камери з плоским дном як з постійним перетином, так і з камерою в вигляді усіченого конуса або усіченої піраміди, що розширюються догори. У дні камери є сопла (отвори), через які в шар сипучого матеріалу вдувають газ. Є, однак, конструкції, в яких плоске дно відсутня, а газ вводиться через сопло в нижній частині конічного бункера або через кільцеву щілину.

Конструкції апаратів з псевдозрідженим шаром надзвичайно різноманітні. Вони залежать від цілого ряду специфічних властивостей продуктів і вимог до даного процесу [5].

2.4 Різновиди деяких процесів у псевдозрідженому шарі

Віброкиплячий зернистий шар. Як зазначалось, для утворення псевдозрідженого шару потрібно під газорозподільчу решітку, на якій знаходиться зернистий шар, подавати газ зі швидкістю, що перевищує

першу критичну. В такому процесі значно зростають об'ємні витрати середовища, а також енергетичні витрати. Крім того, якщо зернистий шар складається із полідисперсних частинок, то дрібні частинки переходять у зважений стан при швидкостях потоку значно менших, ніж великі частинки і, отже, в той час як великі частинки ще залишаються нерухомими, дрібні починають виноситись потоком із апарата.

Одним із позитивних напрямків створення оптимальних умов для проведення багатьох процесів є використання вібраційної техніки одночасно з використанням позитивних властивостей киплячого шару, що дозволило створити велику групу енергозберігаючого технологічного обладнання, у якому процеси проводять з використанням віброкиплячого шару.

Віброкиплячий шар у хіміко-технологічних процесах утворюється в результаті комбінованого впливу вібраційних коливань певної частоти і амплітуди, утворюваних спеціальними пристроями, з подачею газу через розподільну решітку під шар зернистого матеріалу. В цьому разі за рахунок вібраційних коливань зернистий шар відривається від решітки і набуває плинних властивостей, а газовий потік продуває шар і взаємодіє з зернистим матеріалом (охолоджує або нагріває його, висушує або окислює частинки, й ін.).

При використанні віброкиплячого шару вплив газового потоку, як псевдозріджуючого агента, перестає бути вирішальною, і отже витрата газу майже цілком визначається балансовими співвідношеннями між взаємодіючими фазами. Крім того, віброкиплячий шар можна використовувати при подачі газу зверху вниз (що неможливо в процесах з псевдозрідженим шаром), або у вакуумних установках з циркулюючим інертним газом.

Аерофонтануючий зернистий шар. Серед багатьох методів обробки зернистих матеріалів газовим середовищем застосовують

аерофонтануючий зернистий шар, утворюваний в результаті подачі з високою швидкістю струмини газу в шар зернистого матеріалу. Звичайно швидкість струмини, що витікає через трубу (чи отвір), значно перевищує другу критичну швидкість для найбільших частинок зернистого матеріалу, в результаті чого центральна струмина газового потоку створює локальну зону, захоплює в неї зернистий матеріал і виносить його на поверхню зернистого шару у вигляді фонтана. Потім тверді частинки осипаються і рухаються униз разом із усім шаром зернистого матеріалу. Таким чином в апараті створюється рухомий зернистий шар, центральна частина якого складається з розрідженого зернистого шару, що рухається уверх у режимі винесення зерен в надшаровий простір. Периферійна зона шару рухається униз з невеликою швидкістю в режимі щільного зернистого шару і отже в апараті утворюється циклічний рух зернистого шару з центральним розрідженим ядром – фонтаном і кільцевого ущільненого зернистого шару, що рухається униз.

Аерофонтанні процеси реалізують переважно в апаратах циліндроконічної форми, у яких нижня частина має конічну форму, а верхня – циліндричну.

Перевагами аерофонтанних процесів у першу чергу є набагато менша витрата газового середовища, можливість використання високого шару зернистого матеріалу з крупнозернистими частинками та ін.

Аерофонтанні апарати застосовують у процесах висушування розчинів на інертних зернистих частинках, а також у виробництві гранульованих мінеральних добрив та багатьох ін. [6].

2.5 Рух рідини через псевдозріджений шар

Структура нерухомого шару зернистого матеріалу характерна тим, що взаємне розташування твердих частинок залишається незмінним (рисунок 2.5,а).

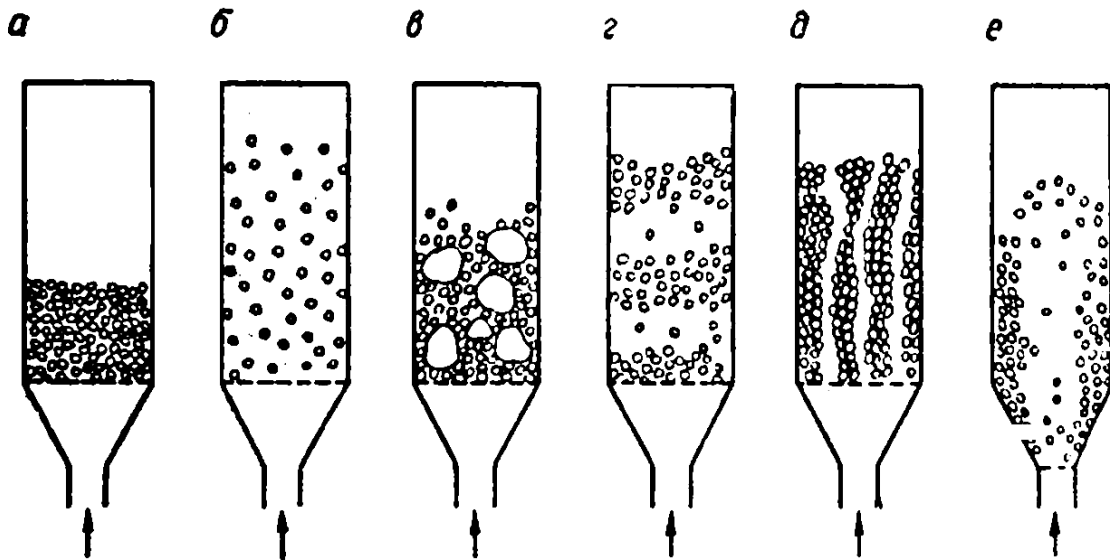


Рисунок 2.5 – Зважений шар (різні стани системи газ-тверде тіло)

При збільшенні швидкості потоку газу або рідини вище деякого критичного значення шар перейде у зважений стан, причому структура його при цьому може бути різною. При порівняно низьких швидкостях може утворитися зважений шар з рівномірним розподілом твердої фази незалежно від тривалості процесу і розмірів апарату. Такий шар називають однорідним, він порівняно легко організовується при однакових розмірах і формі твердих частинок (рисунок 2.5,б). При русі великих бульбашок газу зовнішня поверхня шару розривається і частки переміщуються разом з бульбашками по висоті шару, сприяючи інтенсивного перемішування твердої фази (рисунок 2.5,в). В апаратах малого діаметра бульбашки, що утворюються поблизу розподільчої решітки, часто зливаються в один великий міхур, що заповнює всі перетин апарату, і шар частинок, розташований вище такого міхура, піднімається вгору, як поршень

(рисунок 2.5,г). «Поршні» з частинок повільно переміщуються вгору, розпадаючись на окремі частинки, які знову падають вниз. При збільшенні швидкості газу відстань між «поршнями» збільшується, і весь шар пульсує без зміни структури потоку в «порушених». При подальшому збільшенні швидкості потоку виникають наскрізні прориви газу і струменя газу рухаються по утворився каналах як через нерухомий шар (рисунок 2.5, д). Різновидом зваженого шару є і так званий «фонтанує» шар, утворюється при подачі висхідного потоку газу в шар через розподільну решітку, площа якої значно менше площі перетину апарату (рисунок 2.5,е). При цьому струмінь газу фонтанує уздовж вертикальної осі апарату, захоплюючи частину шару вгору. При переході з конічної частини апарату в циліндричну швидкість газу зменшується, рух твердих частинок сповільнюється і вони, рухаючись по спіралі, осідають на стінах апарату до самого дна, де знову підхоплюються висхідним потоком газу.

Зважений шар дрібнозернистого матеріалу зазвичай підтримується в апараті за допомогою решітки, що служить також і для рівномірного розподілу газового потоку. Однак існує ряд апаратів (сушарки, труби пневмо- і гідротранспорту), що працюють без решітки в гідродинамічному режимі, відповідному виносу матеріалу з апарату газовим потоком.

Якщо шар зернистого твердого матеріалу необхідно привести у зважений стан, то при визначенні необхідної швидкості газового або рідинного потоку слід врахувати, що в залежності від величини швидкості існує три режими, що характеризують взаємодію потоку і шару зернистого матеріалу: 1) фільтрація; 2) зважений шар; 3) винесення [7].

2.6 Порізність псевдозрідженого шару

Порізність псевдозрідженого шару є важливою характеристикою стану системи і визначає не тільки ступінь розширення шару, а отже, і його висоту, тим самим встановлюючи вибір розмірів апарату, а й інтенсивність процесів тепло - і масообміну – входячи в різні розрахункові формули.

За даними Н.І. Гельперіна, порізність псевдозрідженого шару нерівномірна за обсягом і висоті шару. У псевдооживленом шарі можна виділити дві зони: нижню, що характеризується постійністю порізності, і верхню, порізність в якій змінюється монотонно зі збільшенням висоти. У верхній частині порізність практично не змінюється по перетину апарату, а її залежність від висоти близька до експоненційної. Порізність шару в цій частині в залежності від висоти зростає тим швидше, чим більше швидкість зріджують агента.

У міру подальшого збільшення швидкості газового потоку зростаюча порізність псевдозрідженого шару, в кінці кінців, перестає компенсувати збільшується зі швидкістю гідродинамічний вплив потоку на частинки. Дійсно, швидкість газу збільшувати, в принципі, можна скільки завгодно, але при порізності шару $\sim 0.9 \dots 0.95$ частки будуть знаходитися один від одного в середньому на відстані в кілька тисяч їхніх діаметрів. Швидкість і при високій порізності шару можна ще збільшити в кілька разів, але порізно шару вже не може збільшуватися настільки, щоб поперечний переріз пустот між частинками збільшилася також в кілька разів, бо порізність може лише прагнути до одиниці, коли в шарі вже не залишається жодної частинки і псевдозрідженим шаром практично не буде.

Багато дослідників помітили, що існує зв'язок між пористістю або порізністю псевдозрідженого шару і його технологічними особливостями.

Дослідженню порізності псевдозрідженого шару приділено багато уваги. Були розроблені і використані трьома різними способами вимірювання порізності: п'єзометричний, електрокондуктометричний і метод, заснований на просвічуванні шару жорстким випромінюванням радіоактивного ізотопу кобальту. Різноманітність використаних методів не випадкова.

У моделі Мюррея все результати знаходяться аналітично. Його рішення ґрунтується на використанні лінеаризованих рівнянь гідромеханіки псевдозрідженим шаром, з яких, зокрема, випливає, що порізність псевдозрідженого слою постійна. При цьому умова сталості тиску газу на поверхні пазиря, як і в моделі Джексона, виконується лише локально в околиці точки набігання потоку твердих частинок.

У моделі Джексона, на відміну від моделі Девідсона, враховується змінність порізності псевдозрідженого шару. Слід зазначити, що в моделі Джексона отримані результати мають більш складну форму, зокрема, для знаходження поля порізності псевдозрідженого шару необхідно залучення чисельного інтегрування рівнянь [8].

2.7 Кожухотрубчасті теплообмінники

Кожухотрубчасті теплообмінники відносяться до найбільш поширених теплообмінних апаратів, що обумовлено, перш за все, надійністю конструкції, великим набором варіантів виконання для різних умов експлуатації, широким діапазоном застосування по тиску, температурного режиму, потоковим середах, високу ремонтпридатність.

У кожухотрубчасті теплообмінник один з теплоносіїв протікає по трубах, інший – по міжтрубному простору. Теплота від одного теплоносія іншого передається через поверхню стіною труб.

Кожухотрубчасті теплообмінники бувають одноходові, тут обидва теплоносія не змінюючи напрямку рухаються по всьому перетину (один по трубному, інший по міжтрубному), і багатоходовими, в яких потоки за допомогою додаткових перегородок послідовно змінюють напрямок, тим самим, збільшуючи коефіцієнт тепловіддачі і швидкість потоку.

На рис. 2.6 наведено типи кожухотрубчастих теплообмінників.

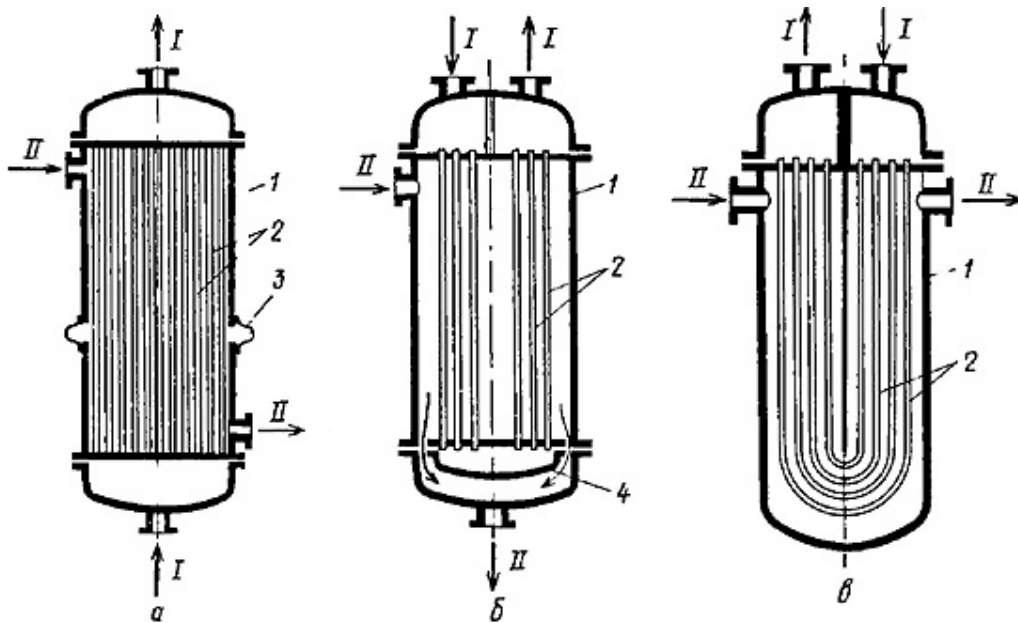


Рисунок 2.6 – Кожухотрубчасті теплообмінники з компенсацією неоднаковості температурних подовжень труб і кожуха:

а – теплообмінник з лінзовим компенсатором (напівжорска конструкція), б – апарат з плаваючою головкою, в – апарат з U-подібними трубами;

1 – кожухи, 2 – труби, 3 – лінзовий компенсатор, 4 – плаваюча головка, I і II – теплоносії.

Якщо різниця температур труб і кожуха досить велика, то труби і кожух подовжуються неоднаково, що призводить до значних напруженням в трубних решітках, порушення щільності з'єднання труб з трубними решітками, а це може привести до змішування теплоносіїв або деформації

труб. Тому при значній різниці температур труб і кожуха застосовують теплообмінники нежорсткої конструкції, в яких можливе переміщення труб по відношенню до кожуха апарату.

В теплообміннику з лінзовим компенсатором температурні деформації компенсуються осьовим стисненням або розширенням компенсатора. Такі теплообмінники застосовують при невеликих температурних деформаціях ($\sim 10\ldots 15$ мм) і невисоких тисках в міжтрубних просторах.

Теплообмінник з плаваючою головкою застосовують при значних відносних переміщеннях труб і кожуха, оскільки в ньому одна з ґрат не з'єднана з кожухом і може вільно переміщатися уздовж осі при температурних подовженнях.

В теплообміннику з U-подібними трубами обидва кінці труб закріплені в одній трубної решітці, що дозволяє трубам вільно подовжуватися.

Теплообмінники з нерухомими решітками типів ТН, ТК, ХН, ХК, КН, КК, ІН, ІК виготовляються по ТУ 3612-024-00220302-02 «Апарати теплообмінні з нерухомими трубними решітками та кожухотрубчасті з температурним компенсатором на кожусі»

Теплообмінники з компенсацією неоднаковості температурного розширення труб і кожуха типів ТП, ХП, КП, ТУ виготовляються по ТУ 3612-023-00220302-01. «Апарати теплообмінні з плаваючою головкою, кожухотрубчасті з U-подібними трубами і трубні пучки до них» [9].

Переваги і недоліки кожухотрубних теплообмінників

Кожухотрубні агрегати останнім часом користуються високим попитом, і більшість споживачів віддають перевагу саме цей тип агрегату. Такий вибір не випадковий – кожухотрубні агрегати мають безліч переваг.

Основним, і найбільш вагомим гідністю є висока стійкість даного типу агрегатів до гідроударів. Більшість вироблених сьогодні видів теплообмінників такою якістю не володіють.

Другою перевагою є те, що кожухотрубні агрегати не потребують чистому середовищі. Більшість приладів в агресивних середовищах працюють нестабільно. Наприклад, пластинчасті теплообмінники такою властивістю не володіють, і здатні працювати виключно в чистих середовищах.

Третім вагомою перевагою кожухотрубних теплообмінників є їх висока ефективність. За рівнем ефективності його можна порівняти з пластинчастим теплообмінником, який за більшістю параметрів є найбільш ефективним. Таким чином, можна з упевненістю говорити про те, що кожухотрубні теплообмінники є одними з найнадійніших, довговічних і високоефективних агрегатів.

Незважаючи на всі плюси, дані пристрої мають і деякі недоліки, про які також варто згадати.

Перший, і найбільш значний недолік – великі розміри. У деяких випадках від використання таких агрегатів доводиться відмовлятися саме через великі габарити.

Другий недолік – висока металоємність, яка є причиною високої ціни кожухотрубних теплообмінників.

Теплообмінники з U-подібніми трубами

У кожухотрубних апаратах цієї конструкції забезпечується вільне подовжений труб, що виключає можливість виникнення температурних напружень.

Такі апарати (рис. 2.7) складаються з кожуха 2 і трубного пучка, що має одну трубну решітку 3 і U-образні труби 1. трубний решітка разом з розподільною камерою 4 кріпиться до кожуха апарату на фланці.

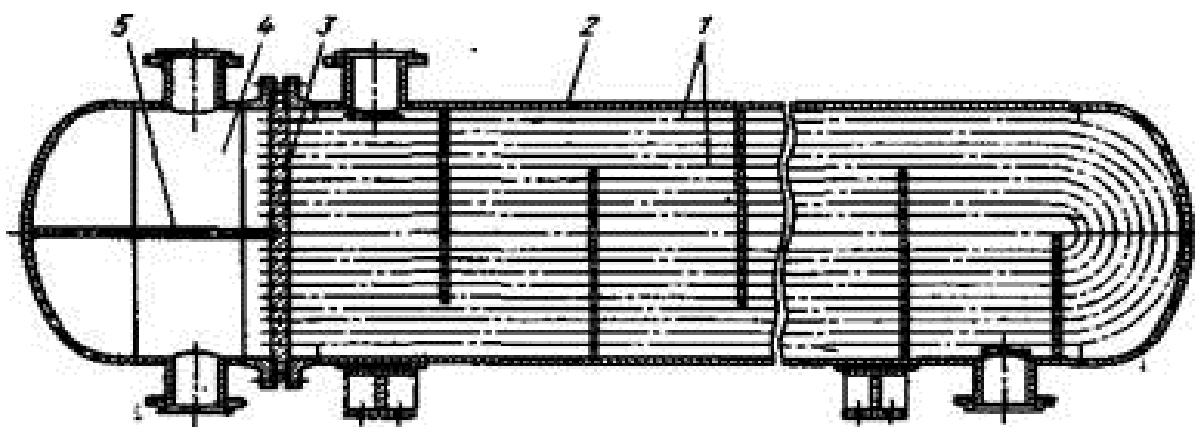


Рисунок 2.7 – Теплообмінник з U-подібними трубами

Для забезпечення роздільного введення і виведення циркулюючого по трубах теплоносія в розподільній камері передбачена перегородка 5.

Теплообмінники типу У є Двоходові по трубному простору і одно- або двоходові по міжтрубному просторі. В останньому випадку (рис. 2.8) в апараті встановлена поздовжня перегородка 2, яку видобувають із кожуха 1 разом з трубним пучком. Для виключення перетікання теплоносія в зазорах між кожухом апарату (рис. 2.9) і перегородкою 2 у стінки кожуха встановлюють гнучкі металеві пластини 3 (рис. 2.9,а) або прокладку 3 (рис. 2.9,б) з прогумованого азбестового шнура, покладену в паз перегородки 2.

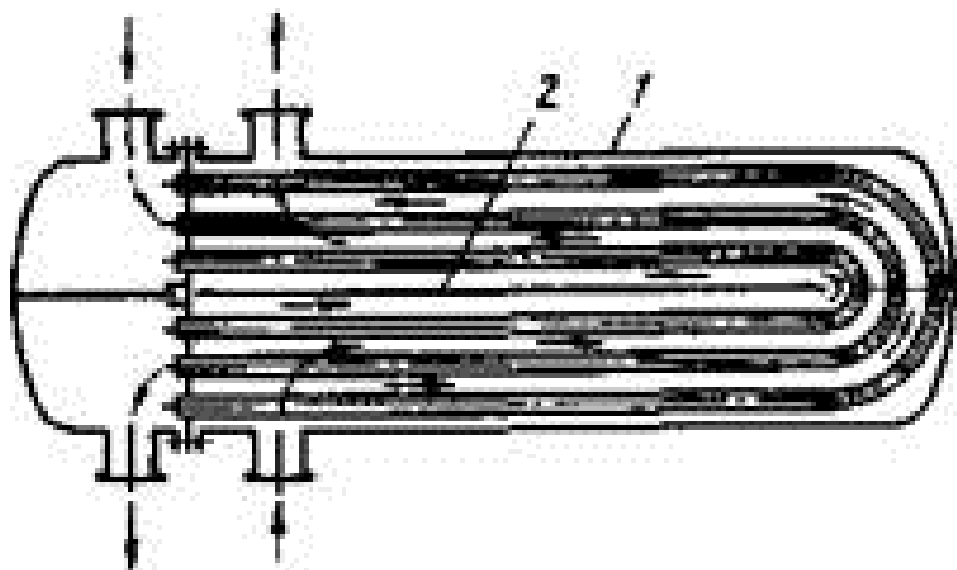


Рисунок 2.8 – Двоходовий теплообмінник з U-подібними трубами

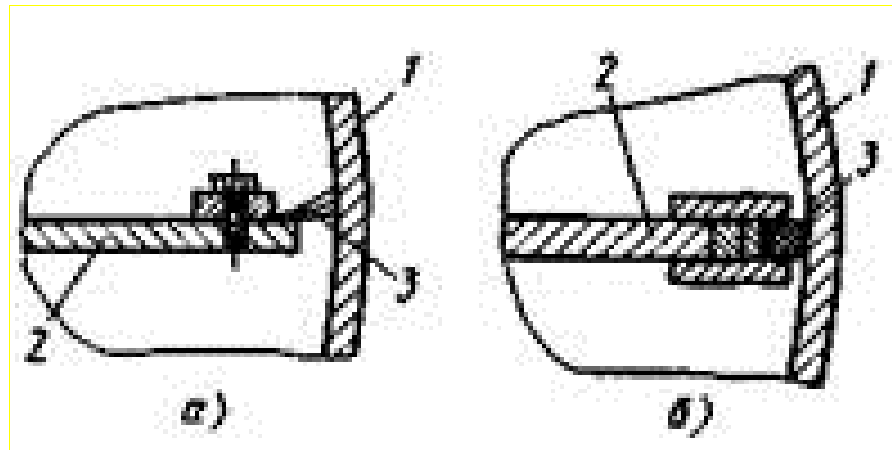


Рисунок 2.9 – Варіанти ущільнення простору між перегородкою і кожухом:

а – гнучкою металевою пластинкою; б – шнуром

В апаратах типу У забезпечується вільне температурне подовження труб: кожна труба може розширюватися незалежно, від кожуха і сусідніх труб. Різниця температур стінок труб по ходам в цих апаратах не повинна перевищувати 100°C . В іншому випадку можуть виникнути небезпечні температурні напруги в трубній решітці внаслідок температурного стрибка на лінії стику двох її частин.

Перевага конструкції апарату типу У – можливість періодичного вилучення трубного пучка для очищення зовнішньої поверхні труб або повної заміни пучка. Однак слід зазначити, що зовнішня поверхня труб в цих апаратах незручна для механічного очищення.

Оскільки механічна очистка внутрішньої поверхні труб в апаратах типу У практично неможлива, в трубне простір таких апаратів слід направляти середовище, не утворить відкладень, які вимагають механічної очистки.

Внутрішню поверхню труб в цих апаратах очищають водою, водяною парою, гарячими нафтопродуктами або хімічними реагентами. Іноді використовують гідравлічний спосіб (подача в трубне простір потоку рідини, що містить абразивний матеріал, тверді кулі та ін.).

Кріплення фланця 4 розподільної камери до фланця 1 кожуха апарату показано на рис. 2.10. Спеціальна шпилька 3 з конічним стопорним виступом дозволяє знімати розподільну камеру без порушення з'єднання трубної решітки 2 з кожухом.

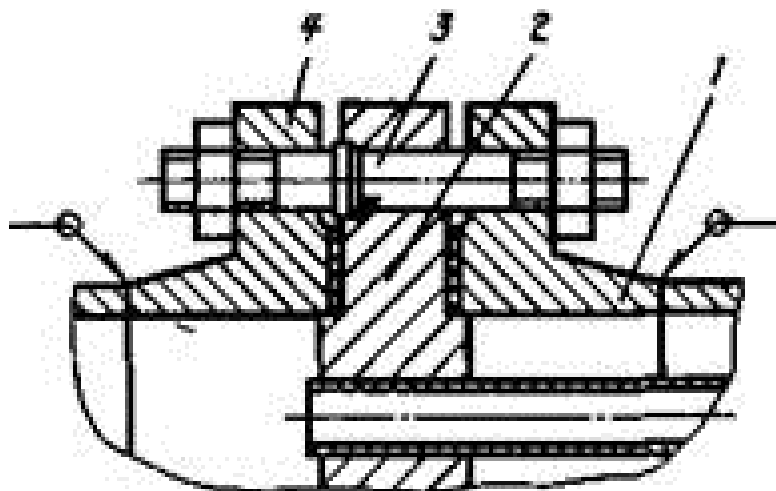


Рисунок 2.10 – Спосіб кріплення розподільної камери до кожуха теплообмінника

Один з найбільш поширених дефектів кожухотрубчасті теплообмінника типу У – порушення герметичності вузла з'єднання труб з трубною решіткою через досить значних згинальних напружень, що виникають від маси труб і протікає в них середовища. У зв'язку з цим теплообмінні апарати типу У діаметром від 800 мм і більше для зручності монтажу і зменшення згинальних напружень в трубному пучку постачають роликівими опорами.

Переваги і недоліки U-подібних теплообмінників

Перевагою конструкції апарату типу ТУ є можливість періодичного вилучення трубного пучка для очищення зовнішньої поверхні труб або повної заміни пучка. Однак слід зазначити, що зовнішня поверхня труб в цих апаратах незручна для механічного очищення. Оскільки механічна очистка внутрішньої поверхні труб в апаратах типу ТУ практично неможлива, в трубне простір таких апаратів слід направляти середовище, не утворює відкладень, які вимагають механічної очистки. Внутрішню поверхню труб в цих апаратах очищають водою, водяною парою, гарячими нафтопродуктами або хімічними реагентами. Іноді використовують гідравлічний спосіб (подача в трубне простір потоку рідини, що містить абразивний матеріал, тверді кулі та ін.).

Один з найбільш поширених дефектів кожухотрубчасті теплообмінника типу ТУ – порушення герметичності вузла з'єднання труб з трубною решіткою через досить значних згинальних напружень, що виникають від маси труб і протікає в них середовища. У зв'язку з цим теплообмінні апарати типу ТУ діаметром від 800 мм і більше для зручності монтажу і зменшення згинальних напружень в трубному пучку постачають роликівими опорами.

До недоліків теплообмінних апаратів типу ТУ слід віднести відносно погане заповнення кожуха трубами через обмеження, обумовлених вигином труби. Зазвичай U-подібні труби виготовляють з гнучкою труб в холодному або нагрітому стані [10].

3 ФІЗИКО – МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В РОБОТІ

Зернистий матеріал – синій поліетилен у вигляді луски еліптичної форми.

Густина поліетилену – 914 [кг/м³].

Насипна густина розраховується як

$$\rho_{\text{н}} = \frac{m - m_{\text{ст}}}{V_{\text{ст}}} = \frac{0.114 - 0.016}{200 \cdot 10^{-6}} = 490 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right],$$

де m – маса мірного стакана з насипним матеріалом, [кг];

$m_{\text{ст}}$ – маса мірного стакана, [кг];

$V_{\text{ст}}$ – об'єм мірного стакана, [м³].

За розмірами гранули зернистого матеріалу можна поділити на три фракції:

велика (5 шт.), розміри 6.2 x 4.4 x 2.0 [мм];

середня (65 шт.), розміри 5.6 x 4.2 x 1.5 [мм];

дрібна (27 шт.), розміри 4.9 x 3.4 x 1.4 [мм].

Для спрощення подальших розрахунків з незначною похибкою приймемо, що лусочки мають форму циліндра. Відповідно до фракцій:

велика (5%), розміри $d = 5.3$ [мм], $h = 2.0$ [мм];

середня (67%), розміри $d = 4.9$ [мм], $h = 1.5$ [мм];

дрібна (28%), розміри $d = 4.2$ [мм], $h = 1.4$ [мм].

4. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Схема дослідної установки

На рис. 4.1 наведено модель трубчатого реактора.

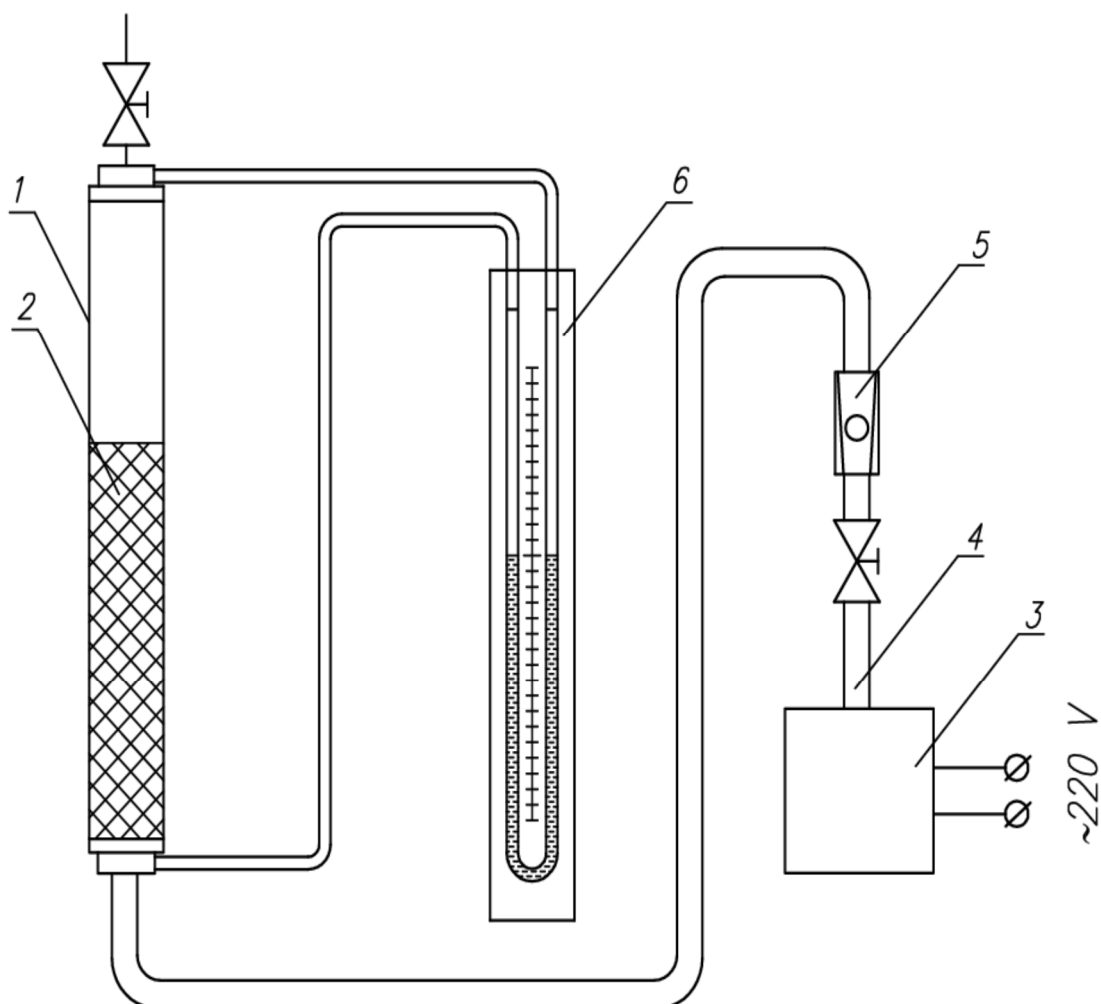


Рисунок 4.1 – Модель трубчатого реактора

1 – реакторна колонка, 2 – сипкий матеріал, 3 – газодувка, 4 – основний хід газу, 5 – витратомір (ротаметр), 6 – водяний дифманометр.

Повітря всмоктується газодувкою (3), надходить у витратомір (5), потім потрапляє у нижню частину реакторної колонки (1) далі рухається вгору через сипкий матеріал (2), водяним дифманометром визначається перепад тиску (6).

Фотографії експериментальної установки представлені на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Фотографії експериментальної установки

а) – реакторна колонка з водяним дифманометром, б) – витратомір

5 ПЛАН И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ

Опис проведення експерименту

За шкалою витратоміра змінювали витрату повітря від –2 мм і до 78 мм. Градування витратоміра наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Шкала градування витратоміра

1	Шкала рогаме гра	Скоро сть газа, м/с	Объём ный расход, м3/с
2	0	0,784	0,002
3	5	0,947	0,0024
4	10	1,11	0,0028
5	15	1,275	0,0033
6	20	1,44	0,0037
7	25	1,635	0,0042
8	30	1,83	0,0047
9	35	1,96	0,005
10	40	2,09	0,0053
11	45	2,22	0,0057
12	50	2,35	0,006
13	55	2,55	0,0065
14	60	2,75	0,007
15	65	2,945	0,0075
16	70	3,14	0,008
17	75	3,335	0,0085
18	80	3,53	0,009
19	85	3,635	0,0093
20	90	3,74	0,0095
21	95	4,025	0,0103
22	100	4,31	0,011

Встановлювали витрату вентилем, що дорівнює приблизно однієї десятої діапазону змін. Визначали значення перепаду тиску за допомогою

водяного дифманометра для кожного значення витрат, результати записували.

Проводили експеримент при збільшенні витрати від мінімальної до максимальної та при зменшенні витрати від максимальної до мінімальної.

Встановлювали максимальне значення витрати до початку виносу сипучого матеріалу.

Результати експериментів заносили у таблицю.

6 ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Планування, проведення експериментальної частини роботи

Розрахунок необхідної кількості експериментів

Вихідні дані:

α – рівень значущості (поняття математичної статистики, що відображає степінь імовірності помилкового виводу щодо статистичної гіпотези про розподіл ознаки, що перевіряється на основі вибірових даних);

G^* – передбачуване значення відносної дисперсії G .

Необхідно визначити мінімальну кількість вибірок k та обсяг кожної вибірки n , що достатньо для підтвердження гіпотези про однорідність ряду дисперсій.

Обираємо $\alpha = 0.05$, $G_\alpha^* = 0.25$.

Необхідно визначити k та n .

Розв'язок.

Попереднє визначений діапазон зміни вхідного параметра – витрат повітря від повітродувки – від 0 до 16 [діл. шк.].

Розділяємо цей діапазон на зручну кількість інтервалів $k = 11$.

Для заданого G^* і k у таблиці критерію Кохрена [10] необхідно знайти кількість степенів волі n .

Застосувавши метод кускове-лінійної апроксимації, як результат отримали кількість ступенів волі $n = 8$. Відповідно, кількість реалізацій експерименту має бути не менш як $n_e = 9$, оскільки $(n_e - 1) = 8$.

Таким чином, для перевірки гіпотези про однорідність ряду дисперсій (розглядаємо вибірки в кожному з $(k = 11)$ інтервалів) обсягом не менш $n_e = 9$ кожна. Для отримання більш надійного результату збільшимо кількість реалізацій експерименту до $(n_e = 14)$, і в кожному інтервалі будемо мати чотирнадцять точок.

7 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ

Проведені чотирнадцять експериментів, вони записані в таблицю (додаток Б). Всі експерименти записуються в єдину таблицю, розбиваються на інтервали за величиною витрати газу та упорядковуються відповідно до збільшення витрати газу.

Одержані в експериментах дані по шкалі ротаметра відповідно до таблиці 1 переводяться в об'ємні витрати газу, [м³/с].

Дані щодо перепаду тиску, які одержані по шкалі дифманометра, переводяться у систему одиниць СІ.

8 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

8.1 Попередня обробка даних

Відповідно до плану, експеримент проводився як при збільшенні керуючого параметра, так і при його зменшенні. Для подальшої обробки даних необхідно отсортувати дані, що отримані при зменшенні керуючого параметра від максимального значення до мінімального у зворотному порядку [10].

Після цього зводимо дані усіх експериментів в одну таблицю.

Зведену таблицю сортуємо за збільшенням показників керуючого параметру (витрати повітря) – значеннями шкали ротаметру.

Після сортування даних, розбиваємо їх інтервали. Серединою кожного інтервалу є фіксовані значення витрат повітря, для яких проводилися вимірювання.

Після цього дані готові для подальшої обробки.

8.2 Перевірка однорідності дисперсій серій експериментів

Перевірка гіпотези про однорідність ряду дисперсій (критерій Кохрена)

Обробка даних починається з того, що весь діапазон зміни x на поле кореляції розбивається на 11 рівних інтервалів $\Delta = 14$ одиниць.

Все точки, що потрапили в інтервал Δx_j , відносять до його середини x_j . Після цього підраховують часткові середні \bar{y}_j для кожного інтервалу:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} y_{ji}, \quad (8.1)$$

тут n_j – кількість точок в інтервалі Δx_j .

$$\sum_{j=1}^{11} n_j = 154, \quad (8.2)$$

де k – кількість інтервалів розбиття;

N – обсяг вибірки (кількість даних експериментів).

Для кожного інтервалу розраховуємо дисперсію

$$s_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{n_j - 1}, \quad (8.3)$$

де n_j – кількість даних, що потрапили до інтервалу x_j ;

i – номер точки в інтервалі x_j .

Наступним кроком розраховуємо та аналізуємо послідовності величин G_i :

$$G_j = \frac{s_j^2}{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_k^2}, \quad (8.4)$$

де j – номер вибірки;

k – кількість вибірок (інтервалів розбиття діапазону x).

За результатами розрахунків отримуємо максимальне значення $G_{max} = 0.1734$, воно належить восьмому інтервалу ($s_8^2 = 263156$).

Тепер для $k = 11$ і $(n_1 - 1) = 13$ знайдемо табличне значення $G_{0.05}$ для степені значущості $\alpha = 0.05$.

Оскільки наші дані не точно відповідають табличним, застосуємо метод кусково-лінійної інтерполяції. Підсумкове табличне значення $G_{0.05} = 0.2171$.

Порівняння результатів показує, що розрахункове значення менше табличного ($G_{max} = 0.1734$) < ($G_{0.05} = 0.2171$). Робимо висновок, що гіпотеза про однорідність результатів експериментів підтверджується з імовірністю 0.95. Результати експериментів занесені в таблицю (Додаток Б).

8.3 Пошук викидів експериментальних даних.

Статистична перевірка гіпотез при оцінці членів вибірки, що різко виділяються

Критерій типу r

Оцінка однорідності дисперсій вимірювальних інтервалів показала, що критерій G для першого інтервалу більше табличного значення. Відповідно, для першого інтервалу треба оцінити члени вибірки, статистичні показники яких суттєво відрізняються. Якщо такі будуть знайдені, їх треба відкинути і знову перевірити однорідність дисперсій.

Для перевірки статистичних показників розрахуємо для експериментальних значень характеристику r :

$$r = \frac{|\bar{x} - x_i|}{s_n \cdot \sqrt{\frac{n-1}{n}}},$$

де

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}.$$

В таблиці [10] знаходимо значення критерію r для рівня значущості $\alpha = 0.05$ і числа ступенів волі $n - 1 = 13$.

$$r_\alpha = 2.493.$$

Вибірка даних не має жодного інтервалу, значення критерію r в якому більше за табличне.

Це означає, що вибірка не має даних, які мають занадто значні відхилення від найбільш очікуваного значення (так званих викидів).

9 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ

Для розрахунку витрат газу в промисловому апараті приймемо, що стан течії газу в дослідному апараті та промисловому мають бути однаковими. Ця умова буде виконуватися, якщо будуть дорівнюватися відповідні критерії, а саме, критерії Рейнольдса:

$$Re_{да} = Re_{па}, \quad (9.1)$$

де $Re_{да}$ – критерій Рейнольдса у дослідному апараті;

$Re_{па}$ – критерій Рейнольдса у промисловому апараті.

Критерій Рейнольдса визначається за формулою:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (9.2)$$

де v – швидкість речовини;

d – діаметр каналу;

ρ – густина речовини;

μ – динамічна в'язкість.

Після підстановки відомих складових величин у критерії для дослідного та промислового апаратів (9.2) у формулу (9.1) можна знайти величину швидкості газу у промисловому апараті:

$$v_{па} = \frac{v_{да} \cdot d_{да} \cdot \rho_{да} \cdot \mu_{па}}{\mu_{да} \cdot d_{па} \cdot \rho_{па}}. \quad (9.3)$$

Вихідні дані для дослідного апарату (газ – повітря):

Температура газу:	20 [°C]
Густина газу:	1.205 $\left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right]$
Динамічна в'язкість газу:	18.1 · 10 ⁻⁶ [Па · с]
Внутрішній діаметр апарату:	57 · 10 ⁻³ [м]
Лінійна швидкість газу в апараті:	3.5916 $\left[\frac{\text{М}}{\text{с}}\right]$

Вихідні дані для промислового апарату (газ – повітря):

Робоча температура газу:	500 [°C]
Робочий тиск:	1 [МПа]
Густина газу при атмосферному тиску та робочій температурі (500 [°C]):	0.456 $\left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right]$
Густина газу при робочому тиску та температурі*:	4.56 $\left[\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}\right]$
Динамічна в'язкість газу при робочій температурі (500 [°C])**:	36.2 · 10 ⁻⁶ [Па · с]
Внутрішній діаметр апарату:	0.4 [м]

* Для розрахунку значення густини газу при робочому тиску, скористаємося рівнянням Клапейрона у вигляді

$$\frac{\rho_1 \cdot T_1}{P_1} = \frac{\rho_2 \cdot T_2}{P_2}.$$

Індексом «1» тут буде позначено, наприклад, початкові значення параметрів, а індексом «2» буде позначено шукані значення параметрів.

$$T_1 = T_2 = 500 \text{ [°C];}$$

$P_1 = 10^5$ [Па] – атмосферний тиск;

$P_2 = 10^6$ [Па] – робочий тиск в апараті.

Звідси знаходимо

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{T_1 \cdot P_2}{P_1 \cdot T_2}.$$

Оскільки температура не змінюється, рівняння набуде вигляду

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{P_2}{P_1} = 0.456 \cdot \frac{10^6}{10^5} = 4.56 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right].$$

** Тиск до 10 атмосфер на величину динамічної в'язкості практично не впливає.

Підставляємо висхідні дані у рівняння (9.3) і розраховуємо лінійну швидкість газу (повітря) у реакційної частині промислового апарату

$$\begin{aligned} v_{\text{па}} &= \frac{v_{\text{да}} \cdot d_{\text{да}} \cdot \rho_{\text{да}} \cdot \mu_{\text{па}}}{\mu_{\text{да}} \cdot d_{\text{па}} \cdot \rho_{\text{па}}} = \frac{3.5916 \cdot 57 \cdot 10^{-3} \cdot 1.205 \cdot 36.2 \cdot 10^{-6}}{18.1 \cdot 10^{-6} \cdot 0.4 \cdot 4.56} = \\ &= 0.27 \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]. \end{aligned}$$

Тепер можна розрахувати об'ємні витрати газу у промисловому апараті при температурі 500 [°C] і тиску 1 [МПа]

$$F_{\text{па}}^{\text{об}} = v_{\text{па}} \cdot S_{\text{па}} = v_{\text{па}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{па}}^2}{4} = 0.27 \cdot \frac{3.14159 \cdot (0.4)^2}{4} = 0.0339 \left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right].$$

де $S_{\text{па}}$ – площа поперечного перерізу промислового апарату.

Зважаючи на умови в апараті, можна розрахувати масові витрати газу:

$$F_{\text{Па}}^{\text{мас}} = \rho_{\text{Па}} \cdot F_{\text{Па}}^{\text{об}} = 4.56 \cdot 0.0339 = 0.1546 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right].$$

Величина масових витрати газу, на відміну від об'ємних витрат, не залежить від зовнішніх умов, а саме, тиску та температури. Виходячи з цього, можна розрахувати об'ємні витрати на вході газового компресора, що подає повітря у теплообмінник і, в подальшому, до реактора. Густина повітря при 20 [°C] дорівнює 1.205 [кг/м³].

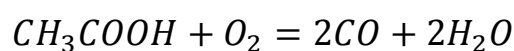
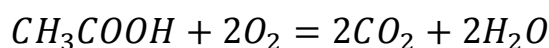
$$F_{\text{вхід}}^{\text{об}} = \frac{F_{\text{Па}}^{\text{мас}}}{\rho_{\text{вхід}}} = \frac{0.1546}{1.205} = 0.128 \left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right].$$

10 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ У ЧАСТИНІ ПІДГРІВУ ГАЗУ ПЕРЕД РЕАКТОРОМ

10.1 Процес глибокого окиснення органічних відходів

Технологія знешкодження рідких відходів із застосуванням рідких реагентів-відновлювачів відбувається з процесами випару рідини безпосередньо в реакційній зоні на поверхні часток диспергованого матеріалу. Застосування псевдозрідженого шару часток диспергованого матеріалу дозволяє здійснювати хімічну взаємодію речовин незалежно від їхнього агрегатного стану.

Процес описується наступними сумарними рівняннями:



Рідина (без попереднього випару) уводиться безпосередньо в шар псевдозрідженого каталізатора. Перевагою реактора, розробленого для реалізації такого процесу, є сполучення зон випару й реакції в одному апараті. При цьому тепло реакції окиснення повністю або частково використовується для випару рідини й нагрівання реагентів.

Можливість здійснення такого технічного рішення впливає з особливостей явища псевдозрідження твердих часток. У шарі каталізатора відбувається вирівнювання градієнта температур. При безпосередньому контакті рідкого реакційного потоку з розігрітою каталітичною масою відбувається інтенсифікація массо- і теплообмінних процесів і вирівнювання температури реагентів і каталізатора. У цьому й полягає основна перевага застосування псевдозрідженого шару каталізатора перед стаціонарним, тому що для останнього характерний певний градієнт

температур по перерізу й висоті шару каталізатора, що знижує ефективність процесу.

Розробка технології термокаталітичного окиснення органічних речовин у реакторі із псевдозрідженим шаром дозволила ефективно знешкоджувати промислові стічні води з різним змістом органіки в інтервалі температур 400 ... 600[°C] . Для процесу застосовуються міднохромові каталізатори, нанесені на сферичний оксид алюмінію. Окиснення органічних складових стоків відбувається до утворення термодинамічне стійких продуктів: діоксиду вуглецю й води. Надлишок кисню підтримується в межах 1.05...1.1.

Вибухобезпечність технології забезпечується застосуванням псевдозрідженого шару твердого матеріалу, що має властивості гасити виникаюче полум'я. Рекомендоване значення порізності псевдозрідженого шару каталізатора становить 0.56...0.58 при діаметрі часток каталізатора не більш 2 [мм].

Для зіставлення активності ряду каталітичних систем при окисненні різних класів органічних сполук уведене поняття граничного навантаження по вуглецю. Граничне навантаження – це величина, що забезпечує концентрацію монооксиду вуглецю в газах, що відходять, до 20 [мг/м³] (ПДК робочої зони) [11].

10.2 Опис технологічної схеми пілотної установки

На рис. 10.1 наведено запропоновану технологічну схему пілотної установки із підігрівачем повітря.

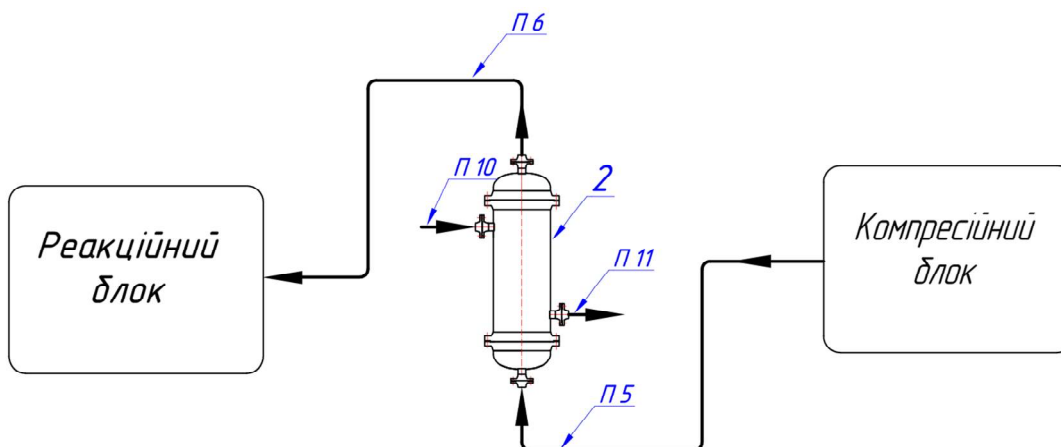


Рисунок 10.1 – Технологічна схема пілотної установки із підігрівачем повітря

Технологічні потоки схеми установки із підігрівачем повітря наведено у таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Технологічні потоки схеми

Технологічні потоки:		
П5	–	повітря з виходу ресивера на вхід підігрівача повітря;
П6	–	повітря з виходу підігрівача повітря на вхід реактора;
П10	–	вхід димових газів у підігрівач повітря;
П11	–	вихід димових газів з підігрівача повітря.

У компресійному блоці відбувається перший етап підготовки повітря для подальшого використання у технологічній схемі. Після компресійного блоку повітря має бути нагріто до температури реакції – 430 [°C]. Під час стиснення у компресійному блоці відбувається нагрів повітря до температури 180[°C]. Стисле повітря надходить до теплообмінників, де

підігрівається димовими газами до температури реакції. У підігрівачі повітря (2) стисле повітря за допомогою димових газів нагрівається від температури 300 [°C] до температури 430 [°C] і подається до реактора (1). У реактор також подаються каталізатор та рідкий агент. Реакція проходить під тиском в псевдозрідженному шарі.

11 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ

Таблиця 11.1 – Вихідні дані для розрахунку теплообмінника 600ТУ-1,6-М1/25Г-6-Т-2-У ТУ 3612-023-00220302-01

Внутрішній діаметр теплообмінника, [мм]	600
Матеріал корпусу теплообмінника	16ГС
Матеріал камер теплообмінника	16ГС
Матеріал фланців теплообмінника	16ГС
Матеріал трубних решіток	16ГС
Розрахункова температура у трубному просторі, [°С]	450
Розрахункова температура у міжтрубному просторі, [°С]	450
Робочий тиск у трубному просторі, [МПа]	1.0
Робочий тиск у міжтрубному просторі, [МПа]	1.6
Робоча температура у трубному просторі, [°С]	
вхід	300
вихід	430
Робоча температура у міжтрубному просторі, [°С]	
вхід	450
вихід	370
Допустиме напруження для сталі 16ГС при товщині до 32мм при розрахунковій температурі 450 [°С], [МПа]	71
Допустиме напруження для сталі 16ГС при товщині до 32мм при температурі 20 [°С], [МПа]	196
Допустиме напруження для сталі 16ГС при товщині більше 32мм при розрахунковій температурі 450 [°С], [МПа]	71
Допустиме напруження для сталі 16ГС при товщині більше 32мм при температурі 20 [°С], [МПа]	183
Група апарату за СОУ МПП 71.120-217:-2009	1

11.1 Визначення товщини стінки обичайки кожуха [12]

На рис. 11.1 наведено ескіз кожухотрубчастого теплообмінного апарату

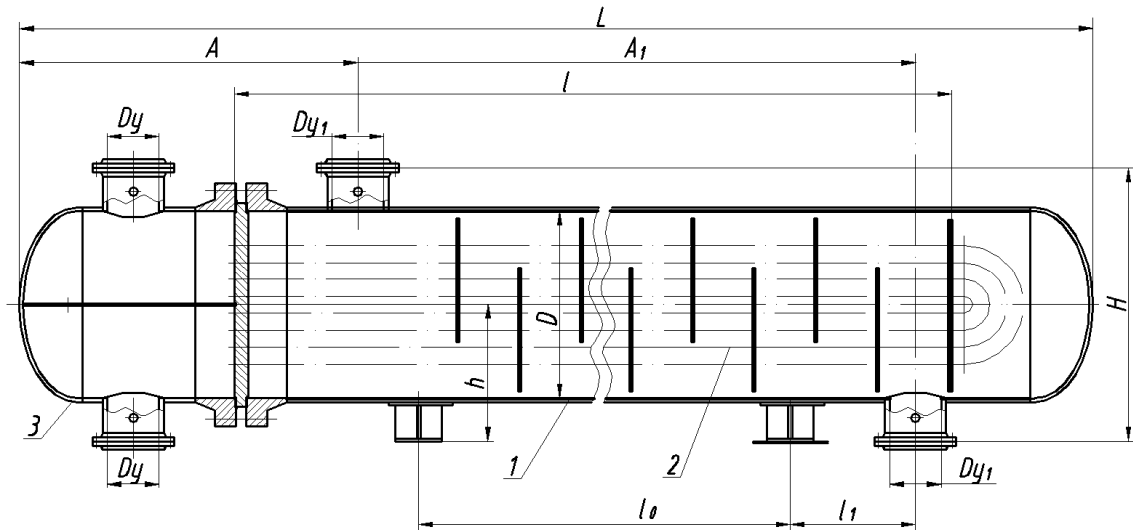


Рисунок 11.1 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат із U-подібними трубами горизонтальний двоходовий по трубах:

1 – кожух, 2 – трубний пучок, 3 – камера

Розрахункову товщину стінки обичайки кожуха визначаємо за формулою:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (11.1)$$

де φ_p – коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів кожуха.

Коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів кожуха φ_p приймаємо відповідно групі апарату. Для 1 групи апарату $\varphi_p = 1$.

Розрахункова товщина стінки обичайки кожуха

$$S_p = \frac{1.6 \cdot 600}{2 \cdot 71 \cdot 1 - 1.6} = 6.84 \text{ [мм]}.$$

Виконавчу товщину стінки верхньої обичайки реактора визначаємо за формулою:

$$S \geq S_p + C, \quad (11.2)$$

де S_p – розрахункова товщина стінки обичайки, [мм];

C – сума добавок до розрахункової товщини стінки, [мм].

Сума добавок до розрахункової товщини стінки обичайки складає

$$C = C_1 + C_2, \quad (11.3)$$

де C_1 – добавка для компенсації корозії і ерозії до розрахункової товщини стінки обичайки, [мм];

C_2 – добавка для компенсації мінусового допуску на товщину сталевого листа, [мм].

$$C = 2 + 0.8 = 2.8 \text{ [мм]}.$$

Виконавчу товщину стінки обичайки кожуха визначаємо по розрахунковій товщині, враховуючи що вона є найбільшою:

$$S \geq 6.84 + 2.8 = 9.64 \text{ [мм]}.$$

Приймаємо:

$$S = 10 \text{ [мм]}.$$

Для прийнятого значення товщини стінки S розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск в робочих умовах за формулою:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}. \quad (11.4)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 71 \cdot 1 \cdot (10 - 2.8)}{600 + (10 - 2.8)} = 1.68 \text{ [МПа]}.$$

Умова міцності:

$$P \leq [P]. \quad (11.5)$$

$P = 1.6[\text{МПа}] < [P] = 1.68 [\text{МПа}]$ – умова виконується.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$\frac{S_1 - C}{D} < 0.1, \quad (11.6)$$

$(10 - 2.8)/600 = 0.012 < 0.1$ – умова виконується.

11.2 Розрахунок еліптичного днища кожуха

Розрахункову товщину стінки еліптичного днища визначаємо за формулою

$$S_{1p} = \frac{P_1 \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_1}, \quad (11.7)$$

де P_1 – внутрішній надлишковий тиск, [МПа];

R – радіус кривизни в вершині днища по внутрішній поверхні, [мм] (для стандартних еліптичних днищ $R = D$);

φ – коефіцієнт міцності зварних швів;

$[\sigma]$ – допустиме напруження матеріалу при розрахунковій температурі, [МПа];

$$S_{1p} = \frac{1.6 \cdot 600}{2 \cdot 71 \cdot 1 - 0.5 \cdot 1.6} = 6.8 [\text{мм}].$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S_1 \geq S_{1p} + C, \quad (11.8)$$

$$S_1 = 6.8 + 2.8 = 9.6 \text{ [мм]} .$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки еліптичного днища:

$$S_1 = 10 \text{ [мм]} .$$

Визначення допустимого внутрішнього надлишкового тиску, [МПа]

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot (S_1 - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0.5 \cdot (S_1 - C)}, \quad (11.9)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot (10 - 2.8) \cdot 1 \cdot 71}{600 + 0.5 \cdot (10 - 2.8)} = 1.7 \text{ [МПа]} .$$

Умова міцності:

$$P \leq [P] ,$$

$$P = 1.6 \text{ [МПа]} < [P] = 1.7 \text{ [МПа]} - \text{умова виконується.}$$

Перевірка умови застосування розрахункових формул:

$$0.002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0.1, \quad (11.10)$$

$$0.002 \leq (10 - 2.8)/600 = 0.012 \leq 0.1 - \text{умова виконується.}$$

11.3 Розрахунок на міцність та жорсткість елементів теплообмінних апаратів з U-подібними трубами

13.3.1 Визначення товщини трубної решітки

Товщину трубної решітки S_p у центральній частини визначають за формулою:

$$S_p \geq S_{pp} + C_p, \quad (11.11)$$

де S_{pp} – розрахункова товщина трубної решітки, [мм];

C_p – сума добавок до розрахункової товщини решітки, [мм].

Розрахункову товщину нерухомої трубної решітки визначають за формулою

$$S_{pp} \geq 0.238 \cdot D_{cn} \cdot \sqrt{\frac{P}{\varphi_e \cdot [\sigma]_p}}, \quad (11.12)$$

де D_{cn} – середній діаметр прокладки, [мм];

P – розрахунковий тиск, [МПа];

φ_e – ефективний коефіцієнт ослаблення решітки;

Розрахунковий тиск визначають за формулою

$$P = \max\{|P_T|; |P_k|; |P_T - P_k|\}, \quad (11.13)$$

де P_T – розрахунковий тиск в трубному просторі, [МПа];

P_k – розрахунковий тиск у міжтрубному просторі, [МПа].

$$P = \max\{|1.0|; |1.6|; |1.0 - 1.6|\} = 1.6 \text{ [МПа]}.$$

Ефективний коефіцієнт ослаблення решітки визначають за формулою

$$\varphi_e = 1 - \frac{d_e}{t_p}, \quad (11.14)$$

де d_e – ефективний діаметр отвору в трубній решітці, [мм];

t_p – крок розташування отворів в решітці, [мм].

$$t_p = 32 \text{ [мм]} .$$

Ефективний діаметр отвору в трубній решітці d_e з трубами, розвальцьованими на частину її товщини розраховують за формулою

$$d_e = d_o - S_T , \quad (11.15)$$

де d_o – номінальний діаметр отвору в трубній решітці, [мм];

S_T – товщина стінки труби, [мм].

$$d_o = 25.25 \text{ [мм]}; \quad S_T = 2 \text{ [мм]};$$

$$d_e = 25.25 - 2 = 23.25 \text{ [мм]} .$$

$$\varphi_e = 1 - \frac{23.25}{32} = 0.7266 ,$$

$$D_{cn} = 650$$

$$S_{pp} \geq 0.238 \cdot 650 \cdot \sqrt{\frac{1.6}{0.7266 \cdot 71}} = 27.2 \text{ [мм]};$$

$$S_p \geq 27.2 + 2 = 29.2 \text{ [мм]} .$$

Приймаємо товщину трубної решітки $S = 30 \text{ [мм]}$.

Якщо до жорсткості трубної решітки пред'являються спеціальні вимоги, її розрахункову товщину визначають за формулою

$$S_{pp} \geq 0.82 \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{\frac{P}{\varphi_e \cdot [\sigma]_p}} \times \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{[2 \cdot \alpha_1 + 1.5 \cdot D_{cn} \cdot (D_{cn} - 2 \cdot \alpha_1) / \alpha_1] \cdot \varphi_e}{D_{cn} - 2 \cdot \alpha_1 \cdot (1 - \varphi_e)} + \frac{P}{\varphi_e \cdot [\sigma]_p}} \right\} , \quad (11.16)$$

де α_1 – відстань від кожуха до осі найбільш віддаленої труби, [мм];

D_{cn} – середній діаметр прокладки, [мм].

$$\alpha_1 = 279 \text{ [мм] ,}$$

$$S_{pp} \geq 0.82 \cdot 279 \cdot \sqrt{\frac{1.6}{0.7266 \cdot 1}} \times$$

$$\times \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{[2 \cdot 279 + 1.5 \cdot 650 \cdot (650 - 2 \cdot 279)/279] \cdot 0.7266}{650 - 2 \cdot 279 \cdot (1 - 0.7266)} + \frac{1.6}{0.7266 \cdot 1}} \right\}$$

$$= 53 \text{ [мм].}$$

$$S_p \geq 53 + 2 = 55 \text{ [мм] .}$$

З двох значень приймаємо більше.

Товщина трубної решітки $S = 56$ [мм] .

13.3.2 Визначення товщини перегородки між ходами по трубному простору

Товщина перегородки S_{Π} повинна відповідати умові

$$S_{\Pi} \geq 0.71 \cdot b_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P' \cdot f_{\Pi}}{[\sigma]_{\Pi}}} + C_9 + C_{10} , \quad (11.17)$$

де $b_{\text{пер}}$ – ширина перегородки, [мм];

f_{Π} – безрозмірний коефіцієнт;

$[\sigma]_{\Pi}$ – допустиме напруження для матеріалу перегородки при розрахунковій температурі, [МПа];

$\Delta P'$ – перепад тиску між ходами по трубному простору, який визначається гідравлічним розрахунком, [МПа];

C_9 – добавка до розрахункової товщини перегородки для компенсації корозії та ерозії, [мм];

C_{10} – добавка до розрахункової товщини перегородки для компенсації мінусового допуску, [мм].

$$b_{\text{пер}} = 600 \text{ [мм]}; \quad [\sigma]_{\Pi} = 71 \text{ [МПа]}; \quad \Delta P' = 0.3 \text{ [МПа]}.$$

Коефіцієнт f_{Π} визначають за формулою

$$f_{\Pi} = \frac{1}{1 + b_{\text{пер}}/L_{\text{пер}} + (b_{\text{пер}}/L_{\text{пер}})^2}, \quad (11.18)$$

де $L_{\text{пер}}$ – довжина перегородки, [мм].

$$L_{\text{пер}} = 665 \text{ [мм]}$$

$$f_{\Pi} = \frac{1}{1 + 600/665 + (600/665)^2} = 0.368.$$

$$S_n \geq 0.71 \cdot 600 \cdot \sqrt{\frac{0.03 \cdot 0.368}{71}} + 2 = 7.3 \text{ [мм]}.$$

Приймаємо товщину перегородки між ходами по трубному простору

$$S_n = 8 \text{ [мм]}.$$

12 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ

Правила безпеки життєдіяльності при проведенні навчального процесу у комп'ютерних лабораторіях

1 Загальні положення

1.1 Дана інструкція розроблена відповідно до вимог державних санітарних правил та норм ДСанПіН 5.5.6.009-98 "Влаштування и обладнання кабінетів комп'ютерної техніки в навчальних закладах та режим праці учнів на персональних комп'ютерах", затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України 30.12.1998 р. № 9.

1.2 Вимоги цієї інструкції з безпеки поширюються на студентів під час проведення навчального процесу в комп'ютерних лабораторіях кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП).

1.3 До роботи із засобами обчислювальної техніки допускаються особи, які пройшли медичний огляд і інструктаж з питань охорони праці та безпеки життєдіяльності: вступний – при зарахуванні до університету; первинний - перед початком занять в комп'ютерній лабораторії; плановий - при зміні умов виконання навчальних завдань, при порушенні студентами вимог нормативно-правових актів про охорону праці.

1.4 Студенти, які не пройшли медичний огляд і інструктаж з питань охорони праці та безпеки життєдіяльності у встановлені терміни, до занять в лабораторіях не допускаються.

1.5 Забороняється приступати до роботи із засобами обчислювальної техніки в стані алкогольного, наркотичного та токсичного сп'яніння.

1.6 Небезпечними і шкідливими виробничими факторами при роботі із засобами обчислювальної техніки є:

- електромагнітне і рентгенівське випромінювання;
- продукти аероіонізації;
- електростатичне поле між екраном монітора і користувачем.

1.7 Дотримання цієї інструкції обов'язково.

1.8 Робочі місця студентів при роботі із засобами обчислювальної техніки в комп'ютерних лабораторіях кафедри МОПП повинні бути організовані відповідно до таких вимог:

1.8.1 Вимоги до приміщення:

- а) приміщення, обладнане комп'ютерною технікою, має мати підлоги з поверхнею, пристосованої до вологого прибирання;
- б) площа на одного студента, який працює з персональним комп'ютером, повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, обсяг - не менше 20 м^3 ;
- в) вікна повинні мати регульовані жалюзі або штори.

1.8.2 Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць:

- а) приміщення комп'ютерних лабораторій повинно мати природне і штучне освітлення;
- б) природне освітлення повинно відповідати вимогам ДБН В 2.2-3-97 "Будинки та споруди навчальних закладів";
- в) штучне освітлення в приміщеннях комп'ютерних лабораторій повинно здійснюватися системою загального освітлення; в якості джерел світла при штучному освітленні повинні застосовуватися переважно люмінесцентні лампи;
- г) необхідно проводити очищення вікон і світильників не рідше двох разів на рік, а також заміну перегорілих ламп по мірі їх виходу з ладу;

д) необхідно передбачити обмеження прямої блескості джерел природного та штучного освітлення; заходом захисту від прямої блескості є правильне розміщення робочих місць відносно джерел світла.

1.8.3 Вимоги до мікроклімату:

а) в приміщенні комп'ютерних лабораторій температура повітря повинна бути $19,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$; відносна вологість повітря $60 \pm 5\%$, швидкість руху повітря не більше $0,1 \text{ м/с}$;

б) для охолодження і очищення повітря від пилу необхідно встановлювати побутові кондиціонери.

1.8.4 Вимоги до обладнання та організації робочого місця:

а) основним обладнанням робочого місця з персональним комп'ютером є монітор, клавіатура, стілець (крісло), робочий стіл, допоміжним - пюпітр, підставка для ніг та інше;

б) конструкція робочого столу повинна забезпечувати можливість оптимального розміщення на поверхні столу обладнання, при цьому необхідно враховувати його кількість, конструктивні особливості і характер виконуваної роботи;

1.8.5 Вимоги з електробезпеки:

а) приміщення комп'ютерної лабораторії має бути обладнано автономним контуром захисного заземлення;

б) заземлення персональних ЕОМ здійснюється за допомогою штатного кабелю живлення з заземлювальним провідником і триполюсні розетки;

1.8.6 Вимоги щодо пожежної безпеки. У приміщеннях комп'ютерних лабораторій забороняється:

а) користуватися електронагрівальними приладами;

б) встановлювати на вікнах глухі решітки.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1 Візуально оглянути справність кабелів живлення, вилок, розеток, заземлення.

2.2 Переконатися в достатності освітлення місця роботи.

2.3 При виявленні будь-яких несправностей обладнання, інвентарю, недостатності освітлення повідомити про це викладачеві, який проводить заняття або зав. лабораторією.

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи

3.1 При виконанні роботи на ПЕОМ необхідно перебувати в раціональній позі, яка виключає підвищене навантаження на характерні групи м'язів.

3.2 Забороняється застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам "Правил улаштування електроустановок до переносних електропроводів".

3.3 Забороняється залишати без нагляду включене обладнання та освітлення.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1 Завершити роботу на ПЕОМ.

4.2 Повідомити про закінчення роботи викладачеві, який проводив заняття або зав. лабораторією.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.1 При виникненні будь-якої аварійної ситуації негайно повідомити про те, що трапилося викладачеві, який проводить заняття або зав. лабораторією і діяти тільки за їхньою вказівкою.

Правила безпеки життєдіяльності при виконанні лабораторних робіт

1 Загальні положення

1.1 Дана інструкція розроблена з урахуванням вимог Правил улаштування електроустановок для студентів при виконанні лабораторних робіт у лабораторіях кафедри електронних апаратів.

1.2 Порухення цієї інструкції забороняється.

1.3 До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли медичний огляд і інструктаж з охорони праці та безпеки життєдіяльності в установлені строки:

- вступний - при зарахуванні до інституту;
- первинний - перед початком занять в даній лабораторії;
- позаплановий - при зміні умов виконання навчальних завдань, при порушенні студентами вимог нормативно-правових актів про охорону праці.

1.4 При виконанні лабораторних робіт використовуються електроприлади і електрообладнання: джерела живлення, генератори, осцилографи, частотоміри, вольтметри, амперметри, телевізори, відеомагнітофони, електричні шафи, комбіновані прилади, кондиціонери, подовжувачі мережеві і розетки.

1.5 Необхідно пам'ятати, що напруга вище 36 В змінного струму є небезпечним для життя.

1.6 Студенти допускаються до виконання робіт тільки під керівництвом викладача.

1.7 Небезпечним виробничим фактором при виконанні лабораторних робіт на кафедрі електронних апаратів є ураження електричним струмом.

1.8 Студенти зобов'язані знати заходи надання першої допомоги потерпілому при ураженні електричним струмом і вміти надавати її при необхідності.

1.9 Студенти зобов'язані знати місце розташування первинних засобів пожежогасіння та вміти ними користуватися при необхідності.

2 Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1 Візуально перевірити справність обладнання, проводки, вилок, розеток.

2.2 Перевірити достатність освітлення робочих місць.

2.3 Візуально перевірити цілісність заземлюючих провідників і надійність заземлюючих контактів на робочих столах і на контурі захисного заземлення.

2.4 При виявленні будь-яких несправностей до роботи не приступати, негайно повідомити викладачеві, зав. лабораторією.

3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

3.1 Працювати тільки на справному обладнанні.

3.2 Підключати і відключати електроприлади необхідно тільки тримаючись за вилку.

3.3 Забороняється торкатись електрообладнання та електроприладів мокрими або вологими руками.

3.4 Студентам забороняється виконувати будь-які ремонтні роботи на електрообладнанні і електроприладах.

3.5 Забороняється переміщати з місця на місце включені в мережу електроприлади.

4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1 Відключити електроприлади та електрообладнання.

4.2 Привести до ладу робоче місце.

5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.1 При роботі з електрообладнанням і приладами можливі наступні аварійні ситуації:

- загоряння горючих матеріалів;
- ураження електричним струмом.

5.2 Причинами займання горючих матеріалів можуть бути перегрів електронних компонентів схем, проводів, утворення електричних іскор і дуг.

5.3 У випадку загоряння слід негайно знеструмити електрообладнання загальним автоматичним вимикачем і приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння. Доповісти про спалах викладача, зав. лабораторією і надалі діяти за їх вказівці.

Правила охорони праці при роботі на електрообладнанні, вимірювальних приладах і персональному комп'ютері

1 Загальні положення

1.1 Дана інструкція призначена для працівників кафедри МОПП і студентів при роботі на персональному комп'ютері, приладах і другому електрообладнанні, розташованому в лабораторіях кафедри.

1.2 До електроустаткування кафедри відносяться: персональні комп'ютери, монітори, принтери, джерела живлення, генератори, осцилографи, частотоміри, вольтметри, амперметри, телевізори, відеомагнітофони, електричні шафи, комбіновані прилади, кондиціонери, подовжувачі мережеві і розетки.

1.3 Напруга вище 36 V змінного струму і 110 V постійного струму є небезпечним для життя. При роботі на електроустановках до 1000 V потрібно суворо дотримуватися правил техніки безпеки. За порушення вимог цієї інструкції винні притягуються до відповідальності.

1.4 До роботи з електрообладнанням в лабораторіях допускаються особи не молодше 18 років, які мають відповідну кваліфікацію, пройшли медичний огляд і визнані придатними до виконання даних робіт.

1.5 До роботи з електрообладнанням допускаються особи, які пройшли інструктаж, навчання та перевірку знань з питань охорони праці.

1.6 Працівники, зайняті на роботах з електрообладнанням і приладами на кафедрі МОПП, повинні мати 2 групу з електробезпеки.

1.7 Студенти допускаються до виконання робіт тільки під керівництвом викладача.

1.8 Працівники, зайняті на роботах у діючих електроустановках, повинні щорічно проходити медичний огляд і перевірку знань з питань охорони праці.

1.9 Забороняється приходити на роботу в нетверезому стані, вживати алкогольні напої, наркотичні та токсичні речовини під час роботи і після закінчення роботи на території інституту.

1.10 Працівники, зайняті на роботах з електрообладнанням і приладами на кафедрі МОПП, повинні бути забезпечені спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до норм: халат бавовняний - 12 міс.

1.11 Спецодяг та інші засоби індивідуального захисту повинні зберігатися в спеціально відведеному місці. Користуватися тільки особистої спецодягом. Забороняється перебувати в лабораторії в верхньому одязі і класти одяг на лабораторні столи та обладнання.

1.12 Працівники кафедри МОПП зобов'язані дотримуватися правил особистої гігієни. Мити руки перед їжею. Забороняється приймати їжу на робочому місці.

2 Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1 Одягнути спецодяг.

2.2 Перед початком роботи повинні бути перевірені з'єднання обладнання з контуром захисного заземлення, справність обладнання, інструменту, автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність первинних засобів пожежогасіння.

2.3 Перед підключенням обладнання до мережі необхідно перевірити ланцюг захисного заземлення в мережевих розетках.

2.4 Підключення системного блоку комп'ютера і монітора до мережі змінного струму здійснювати за допомогою спеціальної розетки, що має заземлюючий контакт.

2.5 Заземлювальні контакти розеток повинні бути надійно з'єднані з контуром захисного заземлення.

3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

3.1 Працівникам і студентам дозволяється працювати тільки на справних вимірювальних приладах, персональних комп'ютерах і іншому електрообладнанні.

3.2 При роботі з електрообладнанням і електроприладами можливі випадки ураження людей електричним струмом. Причинами цього можуть бути:

- одночасний дотик руками або металевим предметом до корпусу електрообладнання і оголених проводів;
- робота на несправному електрообладнанні;
- порушення правил користування електрообладнанням.

3.3 Працівникам і студентам забороняється працювати на вимірювальних приладах, персональному комп'ютері при знятому кожусі, з'єднувачі сполучати ривками, докладаючи значних зусиль.

3.4 Забороняється висмикувати штепсельні роз'єми, вилки і фішки, взявшись за провід. Відключення виробляти тільки взявшись за роз'єм, вилку або фішку, щоб уникнути короткого замикання і можливого при цьому нещасного випадку (опіку).

3.5 Забороняється працювати на вимірювальних приладах, персональному комп'ютері у вологому одязі, вологими руками, перебувати від монітора або телевізора на відстані менше 50 см, перекривати вентиляційні отвори в корпусі системного блоку і приладах, встановлювати на корпус персонального комп'ютера і іншу оргтехніку сторонні предмети.

3.6 Куріння в лабораторіях заборонено.

3.7 Роботи по ремонту вузлів, блоків персонального комп'ютера і приладів безпосередньо в лабораторії не допускаються. Ремонт електрообладнання та вимірювальних приладів повинні виконувати працівники кафедри і в окремих приміщеннях.

3.8 Забороняється залишати без нагляду, ремонтувати і переносити включене в мережу електрообладнання.

3.9 Забороняється підключати кілька споживачів електроенергії до однієї

4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1 Після закінчення роботи вимкнути прилади, персональні комп'ютери, стенди.

4.2 Вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити використовувані подовжувачі мережі 220 V.

4.3 Забороняється проводити очищення від пилу і бруду включене в мережу 220 V електрообладнання.

4.4 Зняти спецодяг, помістити її в спеціально відведене місце.

5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.1 При роботі з електрообладнанням і вимірювальними приладами на кафедрі МОПП можливі наступні аварійні ситуації:

- загоряння горючих матеріалів;
- поразка електричним струмом.

5.2 Джерелами загоряння в лабораторіях, комп'ютерному класі можуть бути електронні вузли приладів і блоки комп'ютерів, принтерів,

приладів, пристроїв електроживлення, електропаяльники, де в результаті різних порушень перегріваються електронні компоненти схем, дроти, утворюються електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

5.3 При пожежі:

- негайно знеструмити все електрообладнання загальним автоматичним вимикачем;
- негайно евакуювати в безпечне місце постраждалих людей;
- повідомити по телефону 101 до служби порятунку;
- видалити в безпечне місце неушкоджені комп'ютери та прилади;

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи:

- ознайомився зі способами псевдозрідження сипких матеріалів;
- розроблений план проведення експерименту;
- провели експерименти та обробили результати експериментів;
- на основі критеріальних рівнянь визначили основні параметри пілотної установки;
- розроблена частини загальної технологічної схеми, а саме, схеми підігріву технологічного газу перед подачею до реактора;
- розрахований основний апарату схеми підігріву – кожухотрубчастий теплообмінник.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Наукові дослідження [електронний ресурс] http://bookwu.net/book_organizaciya-nauchnyh-issledovaniy_801/3_nauchnye-issledovaniya-celi-metody-vidy
2. Математическое моделирование технологических процессов и производств: учебное пособие / В.И. Гузеев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 102 с.
3. Псевдоожигение / Под ред. В. Г. Айнштейна, А. П. Баскакова. - М.: Химия, 1991. - 400 с.
4. Дэвидсон Дж., Харрисон Д. Псевдоожигение: Пер. с англ. - М.: Химия, 1974. - 725 с.
5. Н.А. Галактионова, Промышленная экология: Учебное пособие для студентов заочного отделения / Международный независимый эколого-политологический университет, 2002. – 235 с.
6. Переваги та недоліки кожухотрубчастих теплообмінників [електронний ресурс] <http://79w.ru/otoplenie/otopitelnoe-oborudovanie/kozhухotrubbyj-teploobmennik-soveti>
7. Гельперин Н. И., Айнштейн В. Г., Кваша В. Б., Основы техники псевдоожигения, М., 1967. – 664 с.
8. Порізність [електронний ресурс] <https://www.ngpedia.ru/id292506p1.html>
9. Властивості теплообмінників [електронний ресурс] <https://montajnik-k.all.biz/teploobmennik-kozhухotrubbyj-s-u-obraznymi-g12166956>
10. Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романенков Ю.И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. М., Атомиздат, 1978, 232 с.
11. Гликин М.А. Гетерогенный газофазный аэрозольный нанокатализ: монография / М.А. Гликин, И.М. Гликина. – Х.: Изд-во «Підручник НТУ «ХП»», 2015.–472 с.

12.Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів / Укл. В.В. Іванченко, О.І Барвін, Ю.М Штонда. Навч. посібник.– Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2006. – 208 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Результати проведення експерименту

Номер інтервалу	Положення поплавка ротаметра, [см]	Показник по шкалі ротаметра, [ед. шкали]	Витрати газу, [м ³ /с]	Перепад тиску по шкалі дифманометра, [см.вод.ст.]	Перепад тиску, [Па]	Висота псевдозріженого шару, [см]
1	0,50	1,43	0,002040	28,00	2745,91	106,00
1	0,50	1,43	0,002040	28,00	2745,91	106,00
1	0,50	1,43	0,002040	30,00	2942,04	104,00
1	0,50	1,43	0,002040	24,00	2353,63	106,00
1	0,50	1,43	0,002040	24,00	2353,63	106,00
1	0,50	1,43	0,002040	24,00	2353,63	108,00
1	0,50	1,43	0,002040	30,00	2942,04	105,00
1	0,50	1,43	0,002040	26,00	2549,77	105,00
1	0,50	1,43	0,002040	26,00	2549,77	105,00
1	0,50	1,43	0,002040	24,00	2353,63	106,00
1	0,50	1,43	0,002040	28,00	2745,91	104,00
1	0,50	1,43	0,002040	28,00	2745,91	106,50
1	0,50	1,43	0,002040	28,00	2745,91	106,50
1	0,50	1,43	0,002040	24,00	2353,63	106,50
2	1,00	2,86	0,002164	32,00	3138,18	106,00
2	1,00	2,86	0,002164	30,00	2942,04	106,00
2	1,00	2,86	0,002164	33,00	3236,25	104,00
2	1,00	2,86	0,002164	25,00	2451,70	107,00
2	1,00	2,86	0,002164	30,00	2942,04	106,00
2	1,00	2,86	0,002164	26,00	2549,77	108,00
2	1,00	2,86	0,002164	33,00	3236,25	105,00
2	1,00	2,86	0,002164	27,00	2647,84	105,00
2	1,00	2,86	0,002164	33,00	3236,25	105,00
2	1,00	2,86	0,002164	28,00	2745,91	107,00
2	1,00	2,86	0,002164	30,00	2942,04	104,00
2	1,00	2,86	0,002164	29,00	2843,97	107,00
2	1,00	2,86	0,002164	30,00	2942,04	106,00
2	1,00	2,86	0,002164	27,00	2647,84	107,00
3	1,50	4,29	0,002289	36,00	3530,45	106,00

3	1,50	4,29	0,002289	32,00	3138,18	106,50
3	1,50	4,29	0,002289	36,00	3530,45	104,00
3	1,50	4,29	0,002289	28,00	2745,91	108,00
3	1,50	4,29	0,002289	32,00	3138,18	106,00
3	1,50	4,29	0,002289	28,00	2745,91	109,00
3	1,50	4,29	0,002289	36,00	3530,45	105,00
3	1,50	4,29	0,002289	32,00	3138,18	106,50
3	1,50	4,29	0,002289	35,00	3432,38	105,50
3	1,50	4,29	0,002289	30,00	2942,04	107,50
3	1,50	4,29	0,002289	34,00	3334,31	104,00
3	1,50	4,29	0,002289	30,00	2942,04	107,00
3	1,50	4,29	0,002289	32,00	3138,18	106,00
3	1,50	4,29	0,002289	30,00	2942,04	107,00
4	2,00	5,71	0,002413	40,00	3922,72	106,00
4	2,00	5,71	0,002413	33,00	3236,25	107,00
4	2,00	5,71	0,002413	38,00	3726,59	104,00
4	2,00	5,71	0,002413	30,00	2942,04	108,50
4	2,00	5,71	0,002413	38,00	3726,59	106,00
4	2,00	5,71	0,002413	32,00	3138,18	109,50
4	2,00	5,71	0,002413	39,00	3824,65	105,00
4	2,00	5,71	0,002413	35,00	3432,38	106,50
4	2,00	5,71	0,002413	39,00	3824,65	106,00
4	2,00	5,71	0,002413	33,00	3236,25	108,00
4	2,00	5,71	0,002413	37,00	3628,52	104,00
4	2,00	5,71	0,002413	32,00	3138,18	107,50
4	2,00	5,71	0,002413	34,00	3334,31	106,50
4	2,00	5,71	0,002413	32,00	3138,18	108,00
5	2,50	7,14	0,002537	44,00	4314,99	106,00
5	2,50	7,14	0,002537	34,00	3334,31	108,00
5	2,50	7,14	0,002537	42,00	4118,86	104,00
5	2,50	7,14	0,002537	34,00	3334,31	109,00
5	2,50	7,14	0,002537	40,00	3922,72	106,50
5	2,50	7,14	0,002537	34,00	3334,31	110,00
5	2,50	7,14	0,002537	42,00	4118,86	105,50
5	2,50	7,14	0,002537	38,00	3726,59	107,00
5	2,50	7,14	0,002537	41,00	4020,79	106,00
5	2,50	7,14	0,002537	34,00	3334,31	108,50

5	2,50	7,14	0,002537	40,00	3922,72	104,00
5	2,50	7,14	0,002537	34,00	3334,31	108,00
5	2,50	7,14	0,002537	38,00	3726,59	106,50
5	2,50	7,14	0,002537	34,00	3334,31	108,50
6	3,00	8,57	0,002662	47,00	4609,20	106,00
6	3,00	8,57	0,002662	36,00	3530,45	108,50
6	3,00	8,57	0,002662	45,00	4413,06	104,50
6	3,00	8,57	0,002662	36,00	3530,45	110,00
6	3,00	8,57	0,002662	44,00	4314,99	106,50
6	3,00	8,57	0,002662	37,00	3628,52	111,00
6	3,00	8,57	0,002662	45,00	4413,06	106,00
6	3,00	8,57	0,002662	40,00	3922,72	107,00
6	3,00	8,57	0,002662	45,00	4413,06	106,50
6	3,00	8,57	0,002662	35,00	3432,38	109,00
6	3,00	8,57	0,002662	44,00	4314,99	104,00
6	3,00	8,57	0,002662	36,00	3530,45	109,00
6	3,00	8,57	0,002662	42,00	4118,86	106,50
6	3,00	8,57	0,002662	36,00	3530,45	109,50
7	3,50	10,00	0,002786	50,00	4903,40	107,00
7	3,50	10,00	0,002786	40,00	3922,72	109,00
7	3,50	10,00	0,002786	48,00	4707,27	104,50
7	3,50	10,00	0,002786	38,00	3726,59	110,50
7	3,50	10,00	0,002786	48,00	4707,27	107,00
7	3,50	10,00	0,002786	36,00	3530,45	112,00
7	3,50	10,00	0,002786	49,00	4805,33	106,50
7	3,50	10,00	0,002786	44,00	4314,99	107,50
7	3,50	10,00	0,002786	46,00	4511,13	106,50
7	3,50	10,00	0,002786	38,00	3726,59	110,00
7	3,50	10,00	0,002786	48,00	4707,27	105,00
7	3,50	10,00	0,002786	40,00	3922,72	110,00
7	3,50	10,00	0,002786	44,00	4314,99	107,00
7	3,50	10,00	0,002786	39,00	3824,65	110,00
8	4,00	11,43	0,002911	51,00	5001,47	107,50
8	4,00	11,43	0,002911	42,00	4118,86	109,00
8	4,00	11,43	0,002911	54,00	5295,68	105,00
8	4,00	11,43	0,002911	39,00	3824,65	111,00
8	4,00	11,43	0,002911	50,00	4903,40	107,50

8	4,00	11,43	0,002911	38,00	3726,59	114,00
8	4,00	11,43	0,002911	51,00	5001,47	106,50
8	4,00	11,43	0,002911	48,00	4707,27	107,50
8	4,00	11,43	0,002911	49,00	4805,33	114,00
8	4,00	11,43	0,002911	40,00	3922,72	110,00
8	4,00	11,43	0,002911	50,00	4903,40	105,50
8	4,00	11,43	0,002911	42,00	4118,86	112,00
8	4,00	11,43	0,002911	46,00	4511,13	107,00
8	4,00	11,43	0,002911	42,00	4118,86	110,50
9	4,50	12,86	0,003035	52,00	5099,54	110,50
9	4,50	12,86	0,003035	45,00	4413,06	109,50
9	4,50	12,86	0,003035	52,00	5099,54	114,00
9	4,50	12,86	0,003035	42,00	4118,86	113,00
9	4,50	12,86	0,003035	52,00	5099,54	122,00
9	4,50	12,86	0,003035	44,00	4314,99	115,00
9	4,50	12,86	0,003035	54,00	5295,68	108,00
9	4,50	12,86	0,003035	52,00	5099,54	108,00
9	4,50	12,86	0,003035	50,00	4903,40	111,00
9	4,50	12,86	0,003035	43,00	4216,93	112,00
9	4,50	12,86	0,003035	52,00	5099,54	116,00
9	4,50	12,86	0,003035	46,00	4511,13	112,00
9	4,50	12,86	0,003035	49,00	4805,33	112,00
9	4,50	12,86	0,003035	46,00	4511,13	110,50
10	5,00	14,29	0,003160	54,00	5295,68	111,00
10	5,00	14,29	0,003160	50,00	4903,40	110,00
10	5,00	14,29	0,003160	50,00	4903,40	115,00
10	5,00	14,29	0,003160	46,00	4511,13	114,00
10	5,00	14,29	0,003160	54,00	5295,68	124,00
10	5,00	14,29	0,003160	48,00	4707,27	115,00
10	5,00	14,29	0,003160	58,00	5687,95	108,50
10	5,00	14,29	0,003160	58,00	5687,95	109,00
10	5,00	14,29	0,003160	52,00	5099,54	115,00
10	5,00	14,29	0,003160	44,00	4314,99	114,00
10	5,00	14,29	0,003160	53,00	5197,61	113,00
10	5,00	14,29	0,003160	48,00	4707,27	112,50
10	5,00	14,29	0,003160	52,00	5099,54	112,50
10	5,00	14,29	0,003160	50,00	4903,40	111,00

11	5,50	15,71	0,003284	58,00	5687,95	126,00
11	5,50	15,71	0,003284	58,00	5687,95	126,00
11	5,50	15,71	0,003284	50,00	4903,40	115,00
11	5,50	15,71	0,003284	50,00	4903,40	115,00
11	5,50	15,71	0,003284	55,00	5393,74	117,00
11	5,50	15,71	0,003284	55,00	5393,74	117,00
11	5,50	15,71	0,003284	60,00	5884,08	125,00
11	5,50	15,71	0,003284	60,00	5884,08	125,00
11	5,50	15,71	0,003284	53,00	5197,61	123,00
11	5,50	15,71	0,003284	53,00	5197,61	123,00
11	5,50	15,71	0,003284	54,00	5295,68	114,00
11	5,50	15,71	0,003284	54,00	5295,68	114,00
11	5,50	15,71	0,003284	56,00	5491,81	118,00
11	5,50	15,71	0,003284	56,00	5491,81	118,00

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Перевірка однорідності дисперсій за критерієм Кохрена

Інтервальні середні $Y_{j \text{ сер}}$	Квадрати різниць	Інтервальні дисперсії S_j^2	Інтервальна відносна дисперсія G_j	Табличне значення критерія Кохрена
2605,81	19627,23	49883,37	0,0329	0,2171
	19627,23			
	113052,86			
	63592,24			
	63592,24			
	63592,24			
	113052,86			
	3140,36			
	3140,36			
	63592,24			
	19627,23			
	19627,23			
	19627,23			
	63592,24			
2893,01	60108,40	67691,31	0,0446	
	2404,34			
	117812,47			
	194751,22			
	2404,34			
	117812,47			
	117812,47			
	60108,40			
	117812,47			
	21639,02			
	2404,34			
	2404,34			
	2404,34			
	60108,40			
3159,19	137832,24	77202,97	0,0509	
	441,61			

	137832,24		
	170806,00		
	441,61		
	170806,00		
	137832,24		
	441,61		
	74632,55		
	47154,43		
	30667,55		
	47154,43		
	441,61		
	47154,43		
	226890,82		
	44161,27		
	78508,93		
	254368,94		
	78508,93		
	94995,81		
3446,39	143082,53	103360,03	0,0681
	196,27		
	143082,53		
	44161,27		
	33170,02		
	94995,81		
	12561,43		
	94995,81		
	371396,32		
	137832,24		
	170806,00		
	137832,24		
	47154,43		
3705,57	137832,24	133427,44	0,0879
	170806,00		
	441,61		
	99362,87		
	137832,24		
	47154,43		

	137832,24		
	441,61		
	137832,24		
3978,76	397451,47	187485,37	0,1235
	200982,87		
	188617,71		
	200982,87		
	113052,86		
	122670,21		
	188617,71		
	3140,36		
	188617,71		
	298530,22		
	113052,86		
	200982,87		
	19627,23		
	200982,87		
4258,96	415312,25	222995,56	0,1469
	113052,86		
	200982,87		
	283417,25		
	200982,87		
	530720,38		
	298530,22		
	3140,36		
	63592,24		
	283417,25		
	200982,87		
	113052,86		
	3140,36		
	188617,71		
4497,12	254368,94	263155,90	0,1734
	143082,53		
	637688,80		
	452211,45		
	165065,03		
	593723,80		

	254368,94		
	44161,27		
	94995,81		
	329933,79		
	165065,03		
	143082,53		
	196,27		
	143082,53		
4756,30	117812,47	156466,79	0,1031
	117812,47		
	117812,47		
	406332,79		
	117812,47		
	194751,22		
	290924,66		
	117812,47		
	21639,02		
	290924,66		
	117812,47		
	60108,40		
	2404,34		
	60108,40		
5022,49	74632,55	160060,09	0,1055
	14180,68		
	14180,68		
	261483,81		
	74632,55		
	99362,87		
	442839,45		
	442839,45		
	5937,24		
	500543,51		
	30667,55		
	99362,87		
	5937,24		
	14180,68		
5407,75	78508,93	95962,07	0,0632

	78508,93		
	254368,94		
	254368,94		
	196,27		
	196,27		
	226890,82		
	226890,82		
	44161,27		
	44161,27		
	12561,43		
	12561,43		
	7065,80		
	7065,80		

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Пошук викидів даних за критерієм типу г

Табличне значення критерію г – 2,493

Номер інтервалу j	Номер точки i	Сортова ні значення перепаду тиску Y_{ji} [Па]	Інтервальні середні $Y_{j \text{ сеп}}$ [°C]	Квадрати різниць	Інтервальні дисперсії S_j^2	Інтервальне середнє квадратичне відхилення S_j	Значення критерію г (min, max)
1	1	2353,63	2605,81	63592,24	58953,07	242,80	1,078
1	2	2353,63		63592,24			
1	3	2353,63		63592,24			
1	4	2353,63		63592,24			
1	5	2353,63		63592,24			
1	6	2549,77		3140,36			
1	7	2549,77		3140,36			
1	8	2745,91		19627,23			
1	9	2745,91		19627,23			
1	10	2745,91		19627,23			
1	11	2745,91		19627,23			
1	12	2745,91		19627,23			
1	13	2942,04		113052,86			
1	14	2942,04		113052,86			1,437
2	1	2451,70	2893,01	194751,22	79998,82	282,84	1,619
2	2	2549,77		117812,47			
2	3	2647,84		60108,40			
2	4	2647,84		60108,40			
2	5	2745,91		21639,02			
2	6	2843,97		2404,34			
2	7	2942,04		2404,34			
2	8	2942,04		2404,34			
2	9	2942,04		2404,34			
2	10	2942,04		2404,34			
2	11	3138,18		60108,40			
2	12	3236,25		117812,47			

2	13	3236,25		117812,47			
2	14	3236,25		117812,47			1,259
3	1	2745,91	3159,19	170806,00	91239,87	302,06	1,420
3	2	2745,91		170806,00			
3	3	2942,04		47154,43			
3	4	2942,04		47154,43			
3	5	2942,04		47154,43			
3	6	3138,18		441,61			
3	7	3138,18		441,61			
3	8	3138,18		441,61			
3	9	3138,18		441,61			
3	10	3334,31		30667,55			
3	11	3432,38		74632,55			
3	12	3530,45		137832,24			
3	13	3530,45		137832,24			
3	14	3530,45		137832,24			1,275
4	1	2942,04	3446,39	254368,94	122152,76	349,50	1,498
4	2	3138,18		94995,81			
4	3	3138,18		94995,81			
4	4	3138,18		94995,81			
4	5	3236,25		44161,27			
4	6	3236,25		44161,27			
4	7	3334,31		12561,43			
4	8	3432,38		196,27			
4	9	3628,52		33170,02			
4	10	3726,59		78508,93			
4	11	3726,59		78508,93			
4	12	3824,65		143082,53			
4	13	3824,65		143082,53			
4	14	3922,72		226890,82			1,414
5	1	3334,31	3705,57	137832,24	157686,98	397,10	0,970
5	2	3334,31		137832,24			
5	3	3334,31		137832,24			
5	4	3334,31		137832,24			
5	5	3334,31		137832,24			
5	6	3334,31		137832,24			
5	7	3726,59		441,61			

5	8	3726,59		441,61			
5	9	3922,72		47154,43			
5	10	3922,72		47154,43			
5	11	4020,79		99362,87			
5	12	4118,86		170806,00			
5	13	4118,86		170806,00			
5	14	4314,99		371396,32			1,593
6	1	3432,38	3978,76	298530,22	221573,62	470,72	1,205
6	2	3530,45		200982,87			
6	3	3530,45		200982,87			
6	4	3530,45		200982,87			
6	5	3530,45		200982,87			
6	6	3628,52		122670,21			
6	7	3922,72		3140,36			
6	8	4118,86		19627,23			
6	9	4314,99		113052,86			
6	10	4314,99		113052,86			
6	11	4413,06		188617,71			
6	12	4413,06		188617,71			
6	13	4413,06		188617,71			
6	14	4609,20		397451,47			1,390
7	1	3530,45	4258,96	530720,38	263540,21	513,36	1,473
7	2	3726,59		283417,25			
7	3	3726,59		283417,25			
7	4	3824,65		188617,71			
7	5	3922,72		113052,86			
7	6	3922,72		113052,86			
7	7	4314,99		3140,36			
7	8	4314,99		3140,36			
7	9	4511,13		63592,24			
7	10	4707,27		200982,87			
7	11	4707,27		200982,87			
7	12	4707,27		200982,87			
7	13	4805,33		298530,22			
7	14	4903,40		415312,25			1,303
8	1	3726,59	4497,12	593723,80	311002,43	557,68	1,434
8	2	3824,65		452211,45			

8	3	3922,72		329933,79			
8	4	4118,86		143082,53			
8	5	4118,86		143082,53			
8	6	4118,86		143082,53			
8	7	4511,13		196,27			
8	8	4707,27		44161,27			
8	9	4805,33		94995,81			
8	10	4903,40		165065,03			
8	11	4903,40		165065,03			
8	12	5001,47		254368,94			
8	13	5001,47		254368,94			
8	14	5295,68		637688,80			1,486
9	1	4118,86	4756,30	406332,79	184915,30	430,02	1,538
9	2	4216,93		290924,66			
9	3	4314,99		194751,22			
9	4	4413,06		117812,47			
9	5	4511,13		60108,40			
9	6	4511,13		60108,40			
9	7	4805,33		2404,34			
9	8	4903,40		21639,02			
9	9	5099,54		117812,47			
9	10	5099,54		117812,47			
9	11	5099,54		117812,47			
9	12	5099,54		117812,47			
9	13	5099,54		117812,47			
9	14	5295,68		290924,66			1,302
10	1	4314,99	5022,49	500543,51	189161,92	434,93	1,688
10	2	4511,13		261483,81			
10	3	4707,27		99362,87			
10	4	4707,27		99362,87			
10	5	4903,40		14180,68			
10	6	4903,40		14180,68			
10	7	4903,40		14180,68			
10	8	5099,54		5937,24			
10	9	5099,54		5937,24			
10	10	5197,61		30667,55			
10	11	5295,68		74632,55			

10	12	5295,68		74632,55			
10	13	5687,95		442839,45			
10	14	5687,95		442839,45			1,588
11	1	4903,40	5407,75	254368,94	113409,72	336,76	1,554
11	2	4903,40		254368,94			
11	3	5197,61		44161,27			
11	4	5197,61		44161,27			
11	5	5295,68		12561,43			
11	6	5295,68		12561,43			
11	7	5393,74		196,27			
11	8	5393,74		196,27			
11	9	5491,81		7065,80			
11	10	5491,81		7065,80			
11	11	5687,95		78508,93			
11	12	5687,95		78508,93			
11	13	5884,08		226890,82			
11	14	5884,08		226890,82			1,468