

РЕФЕРАТ

Звіт 90 с., 4 табл., 13 рис., 3 дод., 13 літ. джерел

МОДЕЛЮВАННЯ, ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, РЕАКТОР, КИПЛЯЧИЙ ШАР, ЕКСПЕРИМЕНТИ, ТЕХНОЛОГІЧНА УСТАНОВКА, ДИСПЕРСІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – експериментальна установка з псевдозрідженим шаром.

Мета роботи – визначення оптимальних параметрів пілотної установки реактора із псевдозрідженим шаром каталізатора.

Методи дослідження – експериментальні та розрахункові.

У результаті роботи було виконано:

- ✓ ознайомлення зі способами псевдозрідження сипких матеріалів;
- ✓ розробка експериментальної установки апарату з псевдозрідженим шаром;
- ✓ розробка плану проведення експерименту;
- ✓ проведення експерименту;
- ✓ обробка результатів експерименту;
- ✓ на основі критеріальних рівнянь визначення основних параметрів пілотної установки;
- ✓ визначення оптимальних параметрів пілотної установки реактора із псевдозрідженим шаром каталізатора;
- ✓ розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів реактора.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Передмова | 5 |
| 1. Мета і задачі роботи | 8 |
| 2. Аналітичний огляд | 9 |
| 2.1. Загальні відомості процесу псевдозрідження | 9 |
| 2.2. Переваги та недоліки застосування псевдозрідження | 11 |
| 2.3. Реактори з псевдозрідженим шаром | 12 |
| 2.4. Характеристики псевдозрідженого шару | 17 |
| 2.5. Механізм псевдозрідження | 20 |
| 2.6. Порізність псевдозрідженого шару | 21 |
| 2.7. Методи виготовлення елементів апаратів під тиском | 23 |
| 3. Фізико-механічні властивості речовин, що використовуються в роботі | 40 |
| 4. Опис експериментальної установки | 42 |
| 5. План і порядок проведення експериментальних робіт | 44 |
| 6. Визначення необхідної кількості експериментів | 46 |
| 7. Результати проведення експериментальних робіт | 47 |
| 8. Обробка результатів експериментів | 48 |
| 8.1. Попередня обробка даних | 48 |
| 8.2. Перевірка однорідності дисперсій серій експериментів | 48 |
| 8.3. Пошук викидів експериментальних даних | 51 |
| 9. Моделювання | 53 |
| 9.1. Апроксимація залежностей методом найменших квадратів | 53 |
| 9.2. Вибір виду моделі | 55 |
| 9.3. Оптимізація технологічних параметрів | 58 |
| 10. Визначення основних параметрів технологічної установки | 59 |
| 11. Розробка технологічної схеми пілотної установки | 63 |
| 12. Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів реактора | 65 |

| | |
|--|----|
| | 7 |
| 13. Техніка безпеки під час роботи в лабораторії | 81 |
| 14. Висновки | 88 |
| Література | 89 |
| Додаток А | |
| Додаток Б | |
| Додаток В | |

ПЕРЕДМОВА

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

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

Однією з найважливіших вимог, що висуваються до наукового дослідження, є наукове узагальнення, що дозволить встановити залежність і зв'язок між досліджуваними явищами і процесами і зробити наукові висновки. Чим глибші висновки, тим вищий науковий рівень дослідження.

Наукові дослідження розділяються на фундаментальні й прикладні.

Під фундаментальними науковими дослідженнями розуміють експериментальну або теоретичну діяльність, спрямовану на отримання нових знань про основні закономірності побудови, функціонування й розвитку людини, суспільства, навколишнього природного середовища. Прикладні наукові дослідження визначаються як дослідження, спрямовані переважно на застосування нових знань для досягнення практичних цілей і вирішення конкретних завдань. За джерелом фінансування розрізняють наукові дослідження: бюджетні, госпдоговірні і нефінансовані. Бюджетні дослідження фінансуються з коштів бюджету України. Госпдоговірні дослідження фінансуються організаціями - замовниками з господарських договорів. Нефінансовані дослідження можуть виконуватися з ініціативи вченого, індивідуального плану викладача.

За тривалістю наукові дослідження можна розділити на довгострокові, короткострокові й експрес-дослідження.

У науці можна виділити емпіричний і теоретичний рівні дослідження й організації знання. Теоретичний рівень наукового знання припускає наявність особливих абстрактних об'єктів і поєднуючих їх теоретичних законів, що створюються з метою ідеалізованого опису й пояснення емпіричних ситуацій, тобто з метою пізнання сутності явищ. Їх мета - розширити знання суспільства й допомогти більш глибоко зрозуміти закони природи. Такі розробки використовують в основному для подальшого розвитку нових теоретичних досліджень, які можуть бути довгостроковими, бюджетними й ін.

Елементами емпіричного знання є факти, що отримуються за допомогою спостережень і експериментів і констатуючі якісні й кількісні характеристики об'єктів і явищ. Стійка повторюваність і зв'язки між емпіричними характеристиками виражаються за допомогою емпіричних законів, що часто мають імовірнісний характер[1].

Економічна ефективність, якісні та кількісні показники технологічних процесів і обладнання значною мірою залежать від доцільності та обґрунтованості схем і режимів функціонування розроблюваних систем, які вибрали проектувальники, їхнього вміння прогнозувати поведінку систем у складних умовах виробництва з багатогранною взаємодією факторів у просторі та часі. Традиційні методи прийняття виробничих рішень, базованих на набутому досвіді, часто вступають у протиріччя із швидким розвитком техніки. Це спричиняє розтягування строків проектування, збільшення затрат, часто тільки у вторинних зразках чи системах, після експериментальних досліджень на об'єкті досягають більш-менш оптимальних рішень.

Специфіка технологічних процесів і обладнання окремих галузей виробництва зумовлює свої особливості, пов'язані з використанням складних

фізичних і хімічних явищ, мініатюризацією або іншими особливостями виробів, забезпеченням високої точності механізмів тощо.

Застосування та розширення моделювання явищ і процесів, механізмів і обладнання, систем керування процесами й виробництвом, особливо із застосуванням електронно-обчислювальної техніки, дає змогу вже на перших етапах проектування перевірити пропоновані технічні рішення, вибрати найкращі з них.

Моделювання – основний метод дослідження таких технологічних процесів, для яких неможливо визначити експериментально їхні основні характеристики у виробничих умовах. Крім того, тепер значно збільшилась важливість значення абстрактно-теоретичних методів дослідження. Без складання моделі в сучасних умовах виробництва практично неможливо одержати оптимальне рішення.

Моделювання дає можливість спеціалістам підвищити ефективність їхніх суджень та інтуїції, може слугувати засобом узагальнення й осмислення реальності. Цим пояснюється інтерес спеціалістів до моделювання як прикладної науки. Досягненню істотних результатів у цій галузі сприяють широкі знання методів моделювання та вміння застосовувати їх на практиці [2].

1. МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Метою роботи є визначення оптимальних параметрів піотної установки реактора із псевдозрідженим шаром каталізатора.

Досягнення мети відбувається шляхом вирішення таких задач:

1. Ознайомлення зі способами псевдозрідження сипких матеріалів.
2. Розробка експериментальної установки апарату з псевдозрідженим шаром.
3. Розробка плану проведення експерименту.
4. Проведення експерименту.
5. Обробка результатів експерименту.
6. На основі критеріальних рівнянь визначення основних параметрів піотної установки.
7. Визначення оптимальних параметрів піотної установки реактора із псевдозрідженим шаром каталізатора.
8. Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів реактора.
9. Формулювання висновків.

2. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

2.1. Загальні відомості процесу псевдозрідження.

Псевдозрідження - це процес, при якому по суті тверда статична маса переводиться в псевдостан, подібне станом рідкої маси. На відміну від скраплення в псевдорідину стан перекладається не газ, а сипуча (при певних обставинах) маса.

Як правило цей процес, коли рідина (крапельна рідина або газ) рухається вгору через зернистий матеріал. Даний процес псевдозрідження заснований на дії (протидії) сил: аеродинамічного лобового опору і гравітаційних сил.

Так само створення псевдозрідженого шару можливо в результаті дії (протидії) сил: аеродинамічного лобового опору і відцентрових сил.

Коли потік газу вводиться через дно суміші зернистого матеріалу з рідиною або газом, цей потік буде рухатися вгору через порожнечі між зернами матеріалу. При низьких швидкостях газу, сили аеродинамічного лобового опору кожного з зерен, діючі з боку потоку газу, також невеликі, і тому шар залишається в зв'язаному стані.

При збільшенні швидкості потоку газу сили аеродинамічного лобового опору, що діють на зерна, ростуть і починають протидіяти силам гравітації, змушує шар до збільшення його обсягу. Останнє обумовлено тим, що тверді зерна прагнуть рухатися один від одного. Подальше збільшення швидкості потоку призводить до того, що обсяг досягає деякого критичного значення, при якому піднімають зерна вгору сили аеродинамічного лобового опору стають рівними гравітаційним силам, тягне зерна вниз. Це призводить зерна до того, що вони «висять» в потоці газу або рідини. При критичному обсязі шар має властивості рідини. При подальшому збільшенні швидкості потоку газу, «єдина щільність» («середня щільність») шару буде продовжувати

зменшуватися, і процес псевдозрідження ставатиме більш інтенсивним доти, поки зерна не перестануть утворювати єдиний шар і частки не почнуть підніматися вгору, що захоплюються потоком газу [3].

Псевдозріджений шар настає при підвищенні швидкості потоку рідини, що проходить знизу вгору, до величини, при якій зерна розширеного шару починають інтенсивно і безладно переміщатися в обсязі шару, що зберігає, однак, постійну для даної швидкості висоту. Для псевдозрідження шару інертного матеріалу можливо застосовувати перегрітий водяний пар і суміш продуктів згорання з повітрям. Швидкість псевдозрідження шару зростає при збільшенні висоти апаратів для забезпечення необхідного часу контакту води з адсорбентом.

Псевдозрідженим шар поводить себе подібно рідини або газу. Подібно воді у відрі шар буде приймати форму займаної ємності, його поверхня залишається перпендикулярним гравітаційним силам; зерна з щільністю, меншою ніж «єдина щільність» шару будуть підніматися на поверхню, в той час як об'єкти з щільністю більш високою ніж «єдина щільність» шару опускаються на дно. Ці властивості дозволяють транспортувати масу з твердих зерен по трубах як рідини, не вдаючись до допомоги механічного транспорту (зокрема, стрічкових конвеєрів). Властивості псевдозрідненої маси зерен використовуються також в системах вивантаження розчину цементу в автоцементовозах.

Процес псевдозрідження використовується для збагачення корисних копалин в киплячому шарі [4].

Киплячий шар - являє собою суміш рідкої і твердої фаз, яка має властивості, подібні до властивостей рідини. Зокрема, верхня поверхня киплячого шару є відносно горизонтальною, що аналогічно поведінці рідин, що знаходяться в спокої. Киплячий шар можна розглядати як неоднорідну суміш рідкої і твердої фаз, яка може бути представлена як псевдорідину з деякою усередненою щільністю. Частилки з більш високою щільністю, ніж

середня щільність киплячого шару будуть опускатися вниз, а частинки, що мають щільність меншу середньої щільності киплячого шару, будуть підніматися. Тобто, киплячий шар можна розглядати як рідина, для якої справедливий закон Архімеда.

У міру того, як середня щільність киплячого шару може змінюватися (шляхом зміни співвідношення кількості газоподібної і твердої фази), частки з різною щільністю в порівнянні із середньою щільністю киплячого шару будуть підніматися або опускатися.

Киплячий шар використовується як однорідна щільне середовище для поділу (збагачення, класифікації) мінеральної сировини, а також для забезпечення інтенсивного тепло-масообміну (наприклад, в печі киплячого шару). В установках з киплячим шаром виробиться, наприклад, цементация сталевих заготовок.

Також в печі киплячого шару проводять окислювальний випал сульфідних руд, відновний випал концентратів і т. п.

Є широкі перспективи і діючі установки, де киплячий шар застосовується як середовище для спалювання твердих палив, у тому числі низькосортних, в топках енергетичних котлів.

При виробництві поліетилену низького тиску в реакторах порошок поліетилену знаходиться в псевдозрідженому киплячому шарі[5].

2.2. Переваги та недоліки застосування процесу псевдозрідження

Завдяки інтенсивному хаотичного руху частинок каталізатора в шарі реактори з псевдозрідженим шаром мають ряд переваг: можливість безперервного відводу каталізатора практично з будь-якої точки його шару, висока теплопровідність в наслідок перенесення тепла самими частинками і малий гідравлічний опір.

Недоліки псевдозрідженого шару: швидке стирання частинок в шарі; більш низька інтенсивність процесу в порівнянні з нерухомим шаром внаслідок того, що продукти реакції змішуються з вступником сировиною; нерівномірність газового потоку по поперечного перерізу шару; великий винесення каталізатора газом.

2.3. Реактори з псевдозрідженим шаром

В останні роки широкого поширення набули апарати, в яких зернистий каталізатор перекладається контактують газом в стан псевдозрідження (кипіння).

Псевдозрідженим (киплячий) шар каталізатора має деякі властивості, аналогічні властивостям киплячій рідини: плинність, "в'язкість", здатність приймати форму вміщує його судини, сплески на поверхні, проскоки бульбашок.

Для псевдозрідженого шару використовуються зернистий (розмір часток від 4 до 0,1 мм) і пилоподібний (розмір частинок менше 0,1 до 0,01 мм) каталізатори.

Реактори з псевдозрідженим шаром каталізатора є циліндричні судини з газорозподільною решіткою знизу.

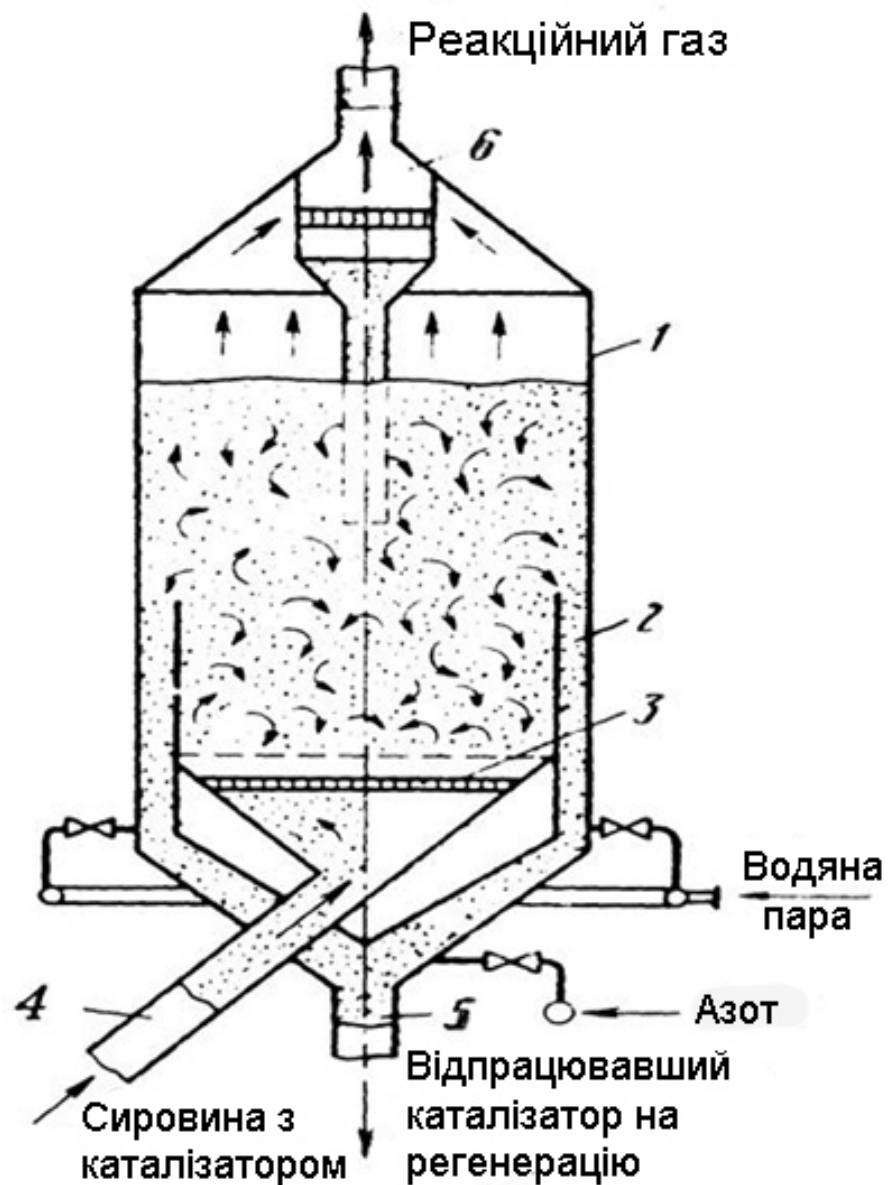


Рисунок 1 - Реактор з псевдозрідженим шаром пилоподібного каталізатора

1-циліндричний корпус; 2 - псевдозріджений шар; 3 - газорозподільна решітка; 4 - штуцер подачі сировини і каталізатора; 5 - штуцер для виведення каталізатора на регенерацію; 6 - циклони.

Реактори з псевдозрідженим шаром каталізатора є циліндричні судини з газорозподільною решіткою знизу. На рисунку 1 дана схема одного з реакторів цього типу. У нижній частині циліндричного корпусу 1 закріплена газорозподільна решітка 3, поверх якої знаходиться псевдозріджений шар каталізатора. Необхідний для псевдозрідження каталізатора газ (в даному

випадку сировина) подається під газорозподільну решітку через штуцер 4. Разом з цією сировиною в реактор безперервно вводиться свіжий каталізатор. Точно така ж кількість каталізатора виводиться з реактора через штуцер 5 на регенерацію. У відпарній секції 2 реактора відходить на регенерацію каталізатор відпарює від вихідних і кінцевих продуктів. З цією метою сюди подають гострий пар. В основі днища подається азот, що створює газовий затвор, що перешкоджає проникненню в регенератор реакційних газів і сировини. Реакційні гази, вийшовши з псевдозрідженим шаром каталізатора, проходять циклонний сепаратор 6, де звільняються від віднесеного з шару пилу каталізатора. Цей пил по спускній трубі повертається назад в псевдозріджений шар.

З розглянутої схеми ясно, що реактор з псевдозрідженим шаром має наступні зони: зону введення і розподілу сировини, реакційну зону, відстійну зону, зону циклонних пристроїв і відпарну зону.

Розподільний пристрій найчастіше являє собою ґрати з рівномірно розподіленими отворами діаметром 35 ... 50 мм. Загальна площа отворів складу 2 - 5% всієї площі решітки. Товщина решітки 20 ... 40 мм. Ґрати виготовляють, з легованої сталі, так як вона краще протистоїть ерозії (т. е. Стирання частинками каталізатора).

У реакційній зоні реактора зазвичай немає будь-яких спеціальних пристроїв. Найчастіше тут встановлюють трубчасті або змієвикові теплообмінники для відведення тепла реакції.

Відстійна зона (від поверхні псевдозрідженим шаром до вхідних штуцерів циклонів) служить для осадження дрібниці, винесеною з псевдозрідженим шаром. Зазвичай висота її дорівнює 4 - 5 м.

Циклонна зона служить для очищення реакційних газів від каталізаторного пилу. Залежно від розміру часток встановлюють одне або двоступеневі циклони. Відсепарована дрібниця відводиться з циклонів по

окремих стояках. На нижній частині стояків є клапани-заслінки, які відкриваються під тиском певної сили тяжіння (ваги) каталізатора в стояку і перешкоджають прориву сировини по стояку в циклон.

У тих випадках, коли необхідно повністю вловити каталізатор, замість циклонів при-міняють фільтри з склотканини, пористої кераміки і металокераміки, розбиті на декілька секцій, періодично продуваються зворотним струмом газу.

Відпарна зона служить для видалення з каталізатора продуктів реакції і сировини. Її виконують всередині апарату шляхом установки кільцевої або іншої форми перегородки, через яку перетікає каталізатор. Іноді відпарну секцію розташовують внизу апараті, де встановлюють для цієї мети каскадні тарілки. При перетікання каталізатора з тарілки на тарілку він відпарює гострою парою. Реактори з псевдозрідженим каталізатора, що працюють до температури , виконуються зазвичай з вуглецевої сталі з зовнішньою теплоізоляцією. При більш високих температурах корпус захищають зсередини шаром теплоізоляційної футеровки так само, як і реактори з компактним рухомим шаром. Залежно від потужності виробництва реактори бувають діаметром 2,5 ... 12 м і висотою 10 ... 16 м. Введення сировини, виведення продуктів реакції з апарату проводиться по трубах великого діаметра (близько 1 м). Щоб при нагріванні ці труби не передавали великих навантажень на корпус реактора, вони з'єднані з ним через лінзовий компенсатор.

Регенерацію каталізатора ведуть в апаратах-регенераторах, які за принципом й наслідком і по конструкції мало відрізняються від реакторів.

На рисунку 2 показаний регенератор, який використовується в нафтопереробній промисловості. Корпус 1 регенератора - циліндричний посудину з днищем і кришкою конічної форми. Зсередини апарат забезпечений футеровкою 2 і захисної облицюванням 3 із сталевих листів товщиною 6 мм. Внизу змонтована газорозподільна решітка 4, під якою

перебуває короб 5 для розподілу повітря, що подається через введення I діаметром 800 мм спільно з каталізатором.

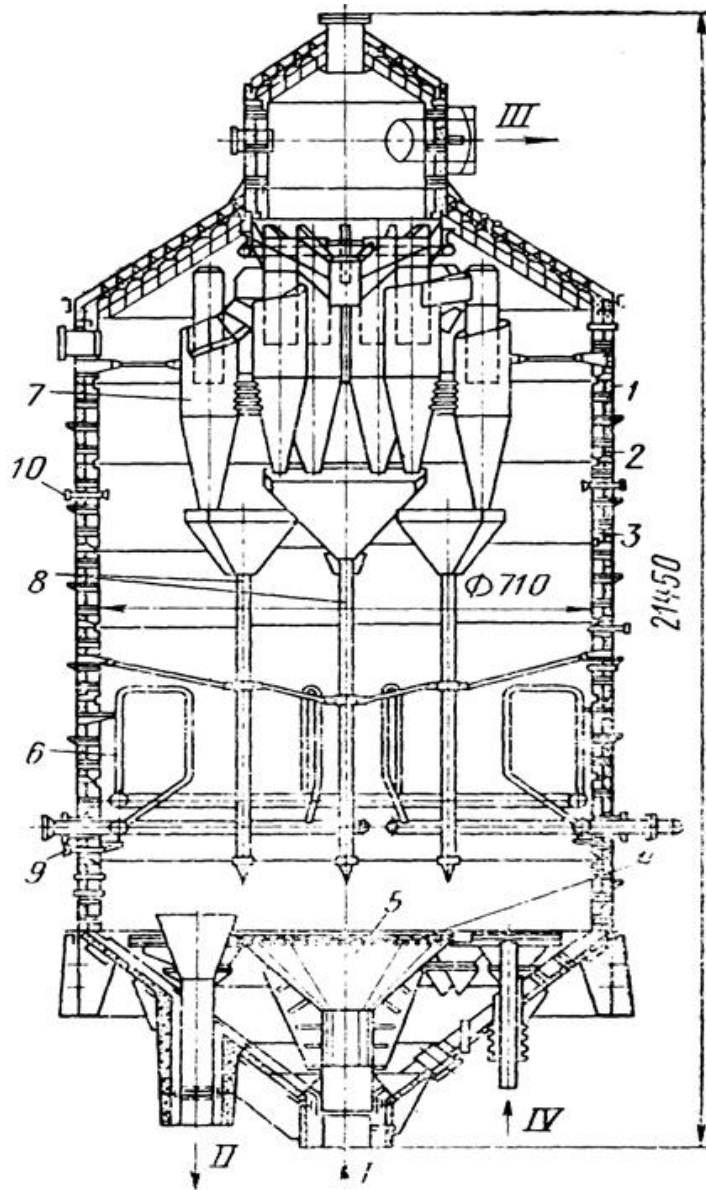


Рисунок 2 - Регенератор з псевдозрідженим шаром пилоподібного каталізатора

У регенераційної частини апарату, тобто в зоні псевдозрідженого шару, встановлений змійовик 6 пароводяного охолодження. За допомогою цього змійовика можна відводити надлишок тепла, що виникає при випалі вуглецю з поверхні частинок каталізатора. Змійовик виконаний з труб діаметром 57 мм.

У верхній частині регенератора підвішені дванадцять циклонів 7, з'єднаних попарно в шість груп. Під циклонами підвішені конусоподібні бункера для збору уловленого каталізатора. З них каталізатор по стояках 8 опускається назад в псевдозріджений шар. Стояки прикриті внизу клапанами-заслінками. З циклонів другого ступеня димові гази збираються в збірнику, звідки через два штуцери III діаметром 800 мм видаляються з регенератора.

Для розігріву регенератора в пусковий період змонтовані форсунки 9, в яких спалюється паливо. Щоб каталізатор не перегрівався в верхній частині регенератора через догорання СО, всередину регенератора впорскують водяний конденсат через форсунки 10. Відпрацьований каталізатор видаляється через штуцер II.

У даній конструкції регенератора відпарна зона винесена в окремий апарат. До-виконавчими кількість повітря вводиться під ґрати через штуцер IV.

Реактор і регенератор з'єднані за допомогою трубопроводів в єдину систему. Для транспортування каталізатора з одного апарату в інший використовуються пари сировини, димові гази або повітря [6].

2.4. Характеристики псевдозрідженого шару

У технологічних апаратах багатьох виробництв часто використовують процесиміжфазної взаємодії висхідного потоку газу або рідини з зернистим шаром твердих частинок. Характеристики, зовнішній вигляд і властивості зернистого шару в таких процесах залежать від напрямку руху середовища (висхідний або низхідний потік), агрегатного стану і властивостей взаємодіючих фаз, швидкості потоку, віднесеної до вільного поперечного перерізу апарата. При низхідній течії потік рухається у міжзернових каналах

нерухомого зернистого шару у режимі фільтрування, при висхідній течії стан зернистого шару частинок залежить від швидкості руху середовища.

Звичайно при малих швидкостях висхідної течії середовища через зернистий шар останній залишається нерухомим, бо при цьому газ або рідина рухаються усередині каналів і проміжків між частинками. Ця течія проходить, як правило, у ламінарному режимі, властивому процесу фільтрування.

При збільшенні швидкості потоку вище від деякого критичного значення зернистий шар починає розширюватися, бо зі збільшенням витрати середовища вже є недостатньою площа вільного перерізу потоку, збільшується також сила тертя в міжзернових каналах, тому відбувається плавне збільшення об'єму і висоти шару, відповідно збільшується і порізність шару. Швидкість течії потоку, за якої зернистий шар починає змінювати свої характеристики, називається першою критичною швидкістю псевдозрідження або швидкістю початку переходу зерен в псевдозріджений стан.

При швидкостях течії потоку середовища більших за першу критичну зернистий шар переходить в завислий (псевдозріджений) стан, що характеризується особливими властивостями, причому останні залежать від форми і величини зерен, від фізико-хімічних властивостей середовища, що проходить через зернистий шар. У технічній літературі для характеристики стану завислого зернистого шару використовують декілька назв, а саме: киплячий шар, псевдозріджений шар, замулений шар, бо саме такі назви певною мірою відображають фізичну суть стану і поведінки зернистого шару в різних умовах проведення процесів.

У тонкому прошарку при псевдозрідженні зерен вузького гранулометричного складу газ рівномірно проходить через газорозподільну решітку і товщу шару, тому поверхня шару подібна до поверхні киплячої рідини, саме за це такий стан зернистого шару часто називають киплячим.

У високих псевдозріджених шарах дрібнодисперсних частинок газовий потік проривається через шар окремими пухирцями або окремими струмками, такий стан отримав назву барботажного або толокольного псевдозрідження.

У зернистому шарі, складеному із зерен вузького гранулометричного складу та переведеному в завислий стан рідиною, частинки на дуже коротких відстанях роз'єднуються між собою тонкими прошарками рідини в усьому об'ємі, шар розширюється рівномірно, і тому такий стан отримав назву однорідного псевдозрідження, найбільш подібного до завислого шару з чітко визначеною поверхнею розділення зернистого шару з середовищем. Однорідний псевдозріджений шар (ПШ) характеризується майже постійною концентрацією твердих частинок у всіх точках об'єму апарата (за сталої витрати середовища) незалежно від розмірів циліндричного апарата і часу.

На рисунку 3 показано різний стан зернистого шару твердих частинок у залежності від швидкості руху висхідного потоку середовища.

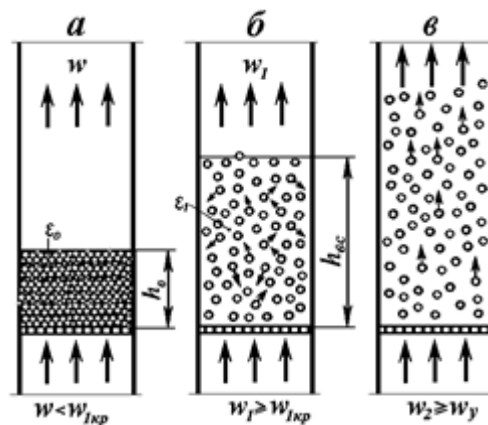


Рисунок 3 – Різний стан зернистого шару при взаємодії з середовищем:
 а – вільно засипаний нерухомий шар; б – псевдозріджений – завислий стан з фіксованим верхнім рівнем; в – завислий стан в режимі винесення – пневмотранспорту

При переході зернистого шару в завислий стан зі збільшенням швидкості руху середовища зростають порізність і висота шару, при цьому

знижується об'ємна концентрація твердої фази, збільшується відстань між окремими частинками, посилюється вплив на шар гідродинаміки потоку.

2.5.Механізм псевдозрідження

Серед багатьох фізичних моделей гідродинамічної взаємодії фаз у однорідному псевдозрідженому шарі відома стохастична модель “елементарних комірок”, відповідно до якої увесь об'єм однорідного псевдозрідженого шару розглядають як суму елементарних комірок, у центрі яких знаходиться тверда частинка, оточена прошарком рухомого середовища – рідини. В результаті висхідного руху середовища у зернистому шарі на частинки діють такі сили: масові (гравітаційні), виштовхувальні (архімедові) та інерційні сили, а також сили тертя (в'язкісні) з середовищем та сили зіткнення, під впливом яких частинка коливається і переміщується в об'ємі комірки. Всі енергетичні впливи на частинку і середовище через рідинний прошарок передаються іншим частинкам, у результаті чого в зернистому шарі відбуваються перерозподіл впливаючих сил, локальні пульсації частинок, їхнє переміщення, зміни порізності шару та ін.

Отже, в об'ємі псевдозрідженого шару відбуваються безперервні локальні флуктуації параметрів потоків, і в той же час в циліндричному апараті середня швидкість руху середовища та середня порізність шару залишаються незмінними.

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 інші [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 псевдозрідженому 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 псевдозрідженим шаром, 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 $e = 0,9 \dots 0,95$ 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 порізності 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.

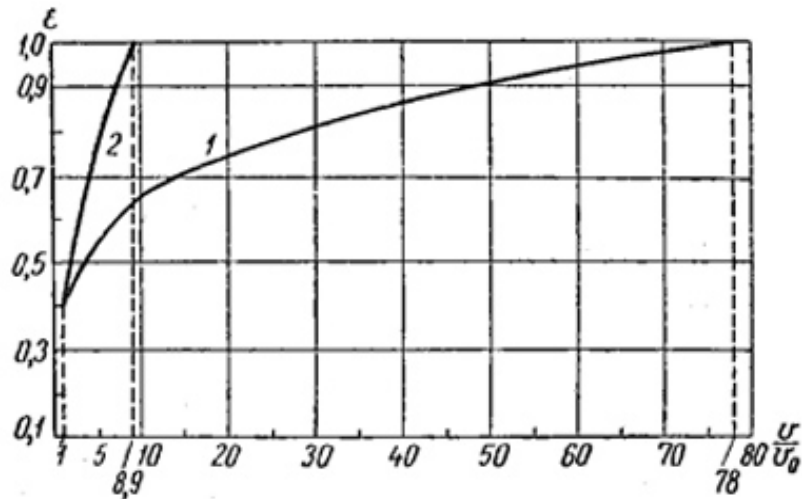


Рисунок 4 – Графік залежності порізності від числа псевдозрідження.

1 - ламінарний режим; 2 - турбулентний режим.

З графіка видно, що при ламінарному режимі порізність псевдозрідженого шару збільшується значно повільніше, ніж при турбулентному режимі. Експерименти підтверджують цей теоретичний висновок[8].

Процеси псевдозрідження проводяться в реакторах, які складаються як правило з циліндричних обичайок і еліптичних кришки та днища.

2.7.Методи виготовлення елементів апаратів під тиском

Незалежно від наявності специфічних пристроїв переважна більшість технологічних посудин і апаратів мають такі типові елементи: корпус, днище (днища), накривку, штуцери, люки, опори, зварні й фланцеві з'єднання та деталі, виготовлені з труб.

Основним елементом будь-якого апарата (посудини) є корпус, який складається з однієї або кількох обичайок.

Виготовлення обичайок

Обичайка—це оболонка замкнутого профілю, відкрита з торців. Незважаючи на те, що в хімічному апаратобудуванні застосовують

обичайки не круглого поперечного перерізу (еліптичного, прямокутного, квадратного зі закругленими кутами та ін.), найбільшого поширення щодо міцності, жорсткості, уніфікації та матеріаломісткості набули циліндричні обичайки.

Циліндричні обичайки



Рисунок 5 - Циліндрична обичайка

Обичайка це деталь циліндричної форми з незаглушеними торцями. Поперечний переріз обичайки найчастіше представляє собою кільце, або в окремих випадках розтин може мати квадратну, трикутну, лекальну форму. Ми здійснюємо виробництво обичайок, як методом холодного вальцювання, так і з попереднім підігрівом матеріалу («нагорячо»). За індивідуальним замовленням ми готові зробити обичайки за допомогою лиття полуобичайок з їх наступним зварюванням.

Матеріал

Для виготовлення обичайок застосовується матеріал, піддається холодній деформації. У випадках, коли матеріал схильний до утворення

дефектів при холодному формоутворенні (зокрема поява тріщин, зламів), застосовують метод гарячої вальцювання.

Для виробництва обичайок, поряд з іншими елементами судин, використовуються високоякісні матеріали російського виробництва, відповідні ГОСТ або ТУ, і імпорتنі матеріали, відповідні AISI:

- вуглецеві і низьколеговані сталі: Ст3, 09Г2С, 20, 13ХФА і ін.
- котельні сталі по ГОСТ 5520-79: 09Г2С, 20К, 17Г1С, 12ХМ та ін.
- корозійно-стійкі та жаростійкі сталі: 08 (12) Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 20Х23Н17 та ін.
- закордонні аналоги по AISI: 304, 316, 321 і ін.
- двошарові сталі: Ст3 + 08Х18, 09Г2С + 08Х18Н10Т, 09Г2С + 06ХН28МДТ, 10Х2М1А + 12Х18Н10Т і ін.

Заготівка для обичайок

Обичайки виготовляються із цільної заготовки або звареної з 2-х і більше частин відповідно до ГОСТ Р 52630-2012. Обичайки з цільної заготовки мають обмеження в максимальному розмірі, обумовлене розміром вихідного листа металу стандартного розкрою. Такий лист має ширину до 2000мм і довжину до 6000мм. У разі необхідності можливе використання листового металу спеціального прокату, шириною до 5000мм і довжиною до 12000мм, при цьому обичайка, виготовлена з цільної заготовки, буде мати максимальний діаметр до 3800мм і ширину до 3000мм. Ширина обичайки в даному випадку обмежена шириною валків листозгинальної машини.

Будь-яка обичайка матиме як мінімум один поздовжній зварний шов. Найбільшого поширення при виробництві обичайок отримали наступні види зварювання:

1. Механізована дугове зварювання в захисному газі
2. Автоматичне дугове зварювання під флюсом

Зварні з'єднання повинні пройти обов'язковий контроль.

Застосовуються наступні методи контролю:

1. Зовнішній огляд і вимірювання
2. Ультразвуковий
3. Радіографічний

За вимогами конструкторської документації здійснюються і інші види контролю.

Формоутворення

Для надання форми при виготовленні обичайки використовують спеціальну листозгинальний машину - вальці. Такі машини представляють собою станину з розташованими на ній робочими органами - валками. Валків може бути від 3-х і більше. Найбільш точну форму обичайки дозволяє отримати чотиривалкова гнучка машина. В процесі виготовлення конічної обичайки заготовка подається в вальці, і за допомогою поступової прокатки з одночасною вертикальною подачею верхнього валка - виробу надається необхідна форма.

Обмеження технологічних параметрів обичайок обумовлено наступними факторами:

- Мінімальний діаметр - обмежений діаметром верхнього валка листозгинальна машини. Ми виготовляємо обичайки діаметром від 120мм.
- Максимальний діаметр - у варіанті секційного складання - не обмежений.
- Мінімальна товщина стінки - не обмежена.
- Максимальна товщина стінки - обмежена межею міцності верхнього валка, який встановлений заводом-виготовлювачем вальців. Ми виготовляємо обичайки товщиною стінки до 150мм.

- Мінімальна висота - не обмежена.
- Максимальна висота - обмежена шириною валків листозгинальної машини. Ми виготовляємо обичайки висотою до 3000мм.

Для того щоб уникнути прямого ділянки в області стикування крайок обичайки використовується набір оправок. В результаті ми отримуємо рівномірний кільцевий переріз обичайки.

Термічна обробка

Для додання необхідних механічних властивостей обичайок виробляють їх термообробку. Необхідність проведення термообробки при виробництві встановлюється вимогами ГОСТ Р 52630-2012 і конструкторської документації.

Механічна обробка

Для подальшого використання обичайки при виготовленні судин і апаратів в ряді випадків необхідно провести механічну обробку, наприклад: обробку торця під приварення днища; під приварку штуцерів, відводів та ін. елементів до обичайки і т.д.

Виробники судин і апаратів, що мають верстатний парк, виконують механічну обробку самостійно. Таким підприємствам обичайки поставляються без механічної обробки торцевої частини.

Конічні обичайки



Рисунок 6 - Конічна обичайка

Конічна обичайка представляє собою деталь форми усіченого конуса з незаглушеними торцями. Поперечний переріз обичайки найчастіше представляє собою кільце, або в окремих випадках розтин може мати квадратну, трикутну, лекальну форму. Ми здійснюємо виробництво конічних обичайок методом холодного вальцювання, гарячої вальцювання, холодного штампування. За індивідуальним замовленням ми готові зробити обичайки за допомогою лиття полуобечаек з їх наступним зварюванням.

Матеріал

Для виготовлення конічних обичайок застосовується матеріал, піддається холодній деформації. У випадках, коли матеріал схильний до

утворення дефектів при холодному формоутворенні (зокрема поява тріщин, зламів), застосовують метод гарячої вальцювання.

Для виробництва конічних обичайок, поряд з іншими елементами судин, використовуються високоякісні матеріали, відповідні ГОСТ або ТУ, і імпорتنі матеріали, відповідні AISI:

- вуглецеві і низьколеговані сталі: Ст3, 09Г2С, 20, 13ХФА і ін.
- котельні сталі по ГОСТ 5520-79: 09Г2С, 20К, 17Г1С, 12ХМ та ін.
- корозійно-стійкі та жаростійкі сталі: 08 (12) Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 20Х23Н17 та ін.
- закордонні аналоги по AISI: 304, 316, 321 і ін.
- двошарові сталі: Ст3 + 08Х18, 09Г2С + 08Х18Н10Т, 09Г2С + 06ХН28МДТ, 10Х2М1А + 12Х18Н10Т і ін.

Заготівка для обичайок

Заготівка для виготовлення конічної обичайки вирізається з листового прокату за допомогою верстата плазмового різання з ЧПУ, і в більшості випадків нагадує форму «підкови». Конічні обичайки, поряд з циліндричними обичайками, виготовляються із цільної заготовки або звареної з 2-х і більше частин відповідно до ГОСТ Р 52630-2012. Конічні обичайки з цільної заготовки мають обмеження в максимальному розмірі, обумовлене розміром вихідного листа металу стандартного розкрою. Такий лист має ширину до 2000мм і довжину до 6000мм. У разі необхідності можливе використання листового металу спеціального прокату, шириною до 5000мм і довжиною до 12000мм, при цьому обичайка, виготовлена з цільної заготовки, буде мати максимальний діаметр до 3800мм і ширину до 3000мм.

Будь-яка обичайка матиме як мінімум один поздовжній зварний шов. Найбільшого поширення при виробництві обичайок отримали наступні види зварювання:

1. Механізована дугове зварювання в захисному газі

2. Автоматичне дугове зварювання під флюсом

Зварні з'єднання повинні пройти обов'язковий контроль.

Застосовуються наступні методи контролю:

1. Зовнішній огляд і вимірювання

2. Ультразвуковий

3. Радіографічний

За вимогами конструкторської документації здійснюються і інші види контролю.

Формоутворення

Розглянемо найбільш популярні способи: холодна вальцювання і холодне штампування.

1. Холодна вальцовка. Для надання форми при виготовленні конічної обичайки методом холодного вальцювання використовують спеціальну листозгинальний машину - вальці. Для виготовлення конічних обичайок вальці повинні мати в своїй конструкції торцевої завзятий ролик, що обмежує поздовжній зсув обичайки в процесі прокатки. В процесі виготовлення конічної обичайки заготовка подається в вальці, і за допомогою поступової прокатки з одночасною вертикальною подачею верхнього валка - виробу надається необхідна форма. Обмеження технологічних параметрів конічних обичайок, отриманих методом вальцювання, обумовлено наступними факторами:

- Мінімальний діаметр - обмежений діаметром верхнього валка листозгинальна машини, а так само залежить від кута між віссю і утворює конуса. Ми виготовляємо конічні обичайки діаметром від 120мм.

- Максимальний діаметр - у варіанті секційного складання - не обмежений.

- Мінімальна товщина стінки - не обмежена.
- Максимальна товщина стінки - обмежена межею міцності верхнього валка, який встановлений заводом-виготовлювачем вальців. Ми виготовляємо обичайки товщиною стінки до 150мм.
- Мінімальна висота - не обмежена.
- Максимальна висота - обмежена шириною валків листозгинальної машини. В даному випадку обмеження поширюється не на висоту конуса, а на довжину його утворює. Ми виготовляємо конічні обичайки висотою до 3000мм.

Для того щоб уникнути прямого ділянки в області стикування крайок конічної обичайки використовується набір оправок. В результаті ми отримуємо рівномірний кільцевий переріз обичайки.

Для здійснення гарячої вальцювання в вищеописаний процес додається підігрів заготовки газовими пальниками перед подачею в листозгинальній машину. Даний метод дозволяє працювати з матеріалами, схильними до утворення тріщин при холодній деформації.

1. Холодне штампування. Для надання форми при виготовленні конічної обичайки методом холодного штампування використовується гідравлічний прес. Заготівля при багаторазовій точковій виштамповці поступово набуває форму кінцевого виробу, при цьому площинність бічній поверхні практично не поступається значенням, отриманим при використанні інших методів виготовлення. Так само деякі типорозміри конічних обичайок виштамповують за допомогою спеціального оснащення, яка вдає із себе набір пуансонів і опорних кілець. Обмеження технологічних параметрів конічних обичайок, отриманих методом холодного штампування, обумовлено наступними факторами:

- Мінімальний діаметр верхнього підстави - не обмежений.

- Мінімальний діаметр нижньої основи - обмежений можливістю доступу робочого органу гідравлічного преса. Ми виготовляємо конічні обичайки з мінімальним діаметром нижньої основи 120мм.

- Максимальний діаметр - у варіанті секційного складання - не обмежений.

- Мінімальна товщина стінки - не обмежена.

- Максимальна товщина стінки - обмежена зусиллям тиску преса, який встановлений заводом-виготовлювачем. Ми виготовляємо обичайки товщиною стінки до 20мм.

- Мінімальна висота - не обмежена.

- Максимальна висота - обмежена відстанню між центром вертикальної подачі пуансона і бічною стійкою преса. В даному випадку обмеження поширюється не на висоту конуса, а на довжину його утворює. Ми виготовляємо конічні обичайки висотою до 1500мм.

Термічна обробка. Для додання необхідних механічних властивостей обичайок виробляють їх термообробку. Необхідність проведення термообробки при виробництві встановлюється вимогами ГОСТ Р 52630-2012 і конструкторської документації.

Механічна обробка. Для подальшого використання конічної обичайки при виготовленні судин і апаратів в ряді випадків необхідно провести механічну обробку, наприклад: обробку торця під приварення днища; під приварку штуцерів, відводів та ін. елементів до обичайки і т.д. Виробники судин і апаратів, що мають верстатний парк, виконують механічну обробку самостійно [9].

Днища еліптичні



Рисунок 7 – Днище еліптичне

Еліптичне днище - невід'ємна частина апаратів, ємностей і посудин, що працюють як під високим тиском так і використовуваних під налив. Даний тип днищ знайшов широке застосування в різних галузях сучасної промисловості: хімічної, нафтохімічної, газової, фармацевтичної, харчової та ін.

Матеріал

Для виготовлення еліптичних днищ підбирається матеріал з урахуванням робочого тиску апарату і кліматичних умов, при яких будуть експлуатуватися днища, а також робочого середовища.

Для виробництва використовуються високоякісні, відповідні ГОСТ або ТУ, і імпорتنі матеріали, відповідні AISI:

- вуглецеві і низьколеговані сталі: Ст3, 09Г2С, 20, 13ХФА і ін.
- котельні сталі по ГОСТ 5520-79: 09Г2С, 20К, 17Г1С, 12ХМ та ін.
- корозійно-стійкі та жаростійкі сталі: 08 (12) Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 20Х23Н17 та ін.
- закордонні аналоги по AISI: 304, 316, 321 і ін.

- двошарові сталі: Ст3 + 08Х18, 09Г2С + 08Х18Н10Т, 09Г2С + 06ХН28МДТ, 10Х2М1А + 12Х18Н10Т і ін.

Заготівка для еліптичних днищ

Еліптичні днища виготовляються з цільної заготовки або звареної з 2-х і більше частин відповідно до ГОСТ Р 52630-2012.

З цільної заготовки штамнують днища невеликого діаметра до 1200 ... 1500 мм. Стандартний лист, як правило, має ширину 1500 або 2000 мм. Для виготовлення еліптичних днищ з цільної заготовки більшого діаметра (до 4000 мм) використовується лист спеціального прокату шириною до 4500 ... 5000 мм.

Найбільшого поширення при виготовленні зварного варіанти заготовок отримали наступні види зварювання:

1. Механізована дугове зварювання в захисному газі
2. Автоматичне дугове зварювання під флюсом

Зварні з'єднання повинні пройти обов'язковий контроль. Застосовуються наступні методи контролю:

1. Зовнішній огляд і вимірювання
2. Ультразвуковий
3. Радіографічний

За вимогами конструкторської документації здійснюються и інші види контролю.

Формоутворення

На підприємстві формоутворення відбувається із застосуванням таких методів:

1. Гаряче штампування
2. Холодне фланкуванням

Гаряче штампування еліптичних днищ:

Перед формоутворенням заготовку нагрівають і витримують певний час в печі. Нагріта заготовка подається на штампувальний прес з попередньо встановленою спеціальним оснащенням. Відбувається формоутворення, після чого отримане днище остигає на повітрі.

Переваги гарячого штампування:

- Висока швидкість формоутворення
- Можливість штампування еліптичних днищ з товщиною стінки до 120 мм і більше

Холодне фланкування еліптичних днищ:

Перед формоутворенням при необхідності збільшення пластичності металу виробляють отжиг заготовки. Заготівля в холодному стані подається на фланжировочну машину. За допомогою роликів відбувається поступове формоутворення за заданою програмою. Після формоутворення для зняття залишкових напруг виробляють термічну обробку.

Переваги холодного фланкуванням:

- Можливість виготовлення еліптичних днищ будь-якого проміжного діаметра в діапазоні від 1000 до 4000 мм
- Можливість виготовлення еліптичних днищ великого діаметру з малою товщиною стінки, наприклад: еліптичне днище з внутрішнім діаметром 3000 мм, товщиною стінки 5 мм зі сталі 12X18H10T.

Термічна обробка

Для додання необхідних механічних властивостей днищ виробляють їх термообробку.

Необхідність проведення термообробки при виробництві встановлюється вимогами ГОСТ Р 52630-2012 і конструкторської документації.

Механічна обробка

Для подальшого використання еліптичних днищ як складальної одиниці при виготовленні судин і апаратів в ряді випадків необхідно провести механічну обробку, наприклад: під приварювання днища до обичайки/корпусу апарату; під приварку штуцерів, відводів та ін. елементів до днища і т.д.

Виробники судин і апаратів, що мають верстатний парк, виконують механічну обробку самостійно. Таким підприємствам днища поставляються без механічної обробки циліндричної частини (далі - борта) або з підрізуванням борту «на рівні».

Уривок борту «на рівні» проводиться з метою зменшення трудомісткості подальшої механічної обробки. Уривок проводиться на верстаті газової або плазмової різки. Різ проводиться в площині перетину борту перпендикулярно осі днища із залишенням припуску 10 ... 15 мм на подальшу механічну обробку.

Очищення від окалини

В процесі виготовлення днищ за технологією гарячого штампування на поверхні днища утворюється окалина. Для подальшого використання проводиться очищення поверхні днищ від окалини: дробеструйна, піскоструминна, хімічна.

Опори типу лапи і стійки

Опори і лапи служать для установки апаратів на фундаменти і несучі конструкції. Тільки прості резервуари не мають лап і встановлюються безпосередньо на фундамент. Розміри і форма опорного пристрою залежать в основному від величини і характеру навантажень, від матеріалу, з якого

виготовлений апарат, від ваги апарату, а також від місця його розташування. Якщо апарат схильний до струсу і динамічним зусиллям, то його опори робляться у вигляді масивної жорсткої рами, яка не тільки передає вагу апарату на опорну поверхню фундаменту, але і служить для поглинання динамічних зусиль і вібрацій.

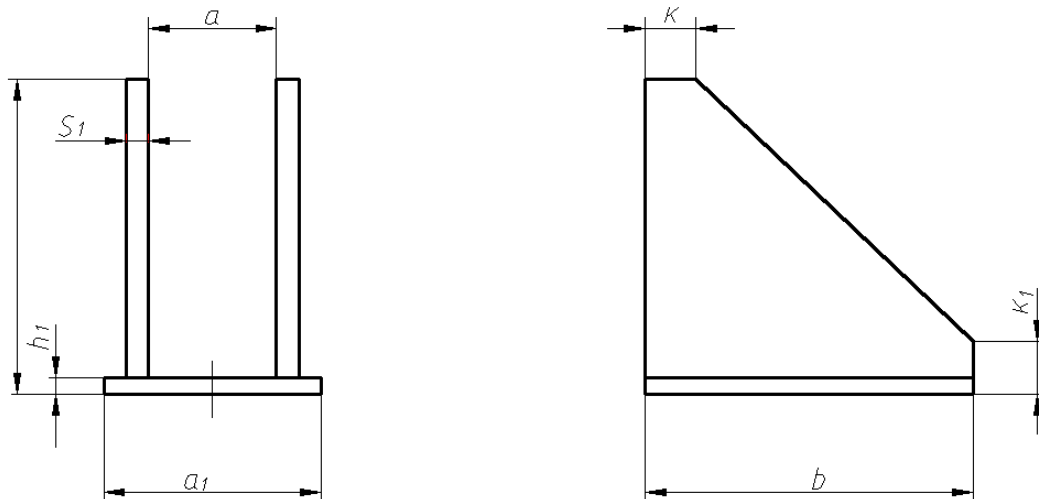


Рисунок 8 - Опора (лапа)

У більшості випадків опори апаратів динамічних навантажень не відчувають.

Залежно від робочого положення апарату розрізняють опори для вертикальних апаратів і опори для горизонтальних апаратів [9].

Конструкції опор

Невисокі вертикальні апарати зазвичай встановлюють на стійках, коли їх розміщують внизу в приміщенні, або на підвісних лапах, коли апарат розміщують між перекриттями в приміщенні або на спеціальних сталевих конструкціях. Число лап на вертикальних апаратах беруть від двох до чотирьох, стійки - не менше трьох.

Конструкції стандартних опор для вертикальних апаратів наведені на рисунку 9.

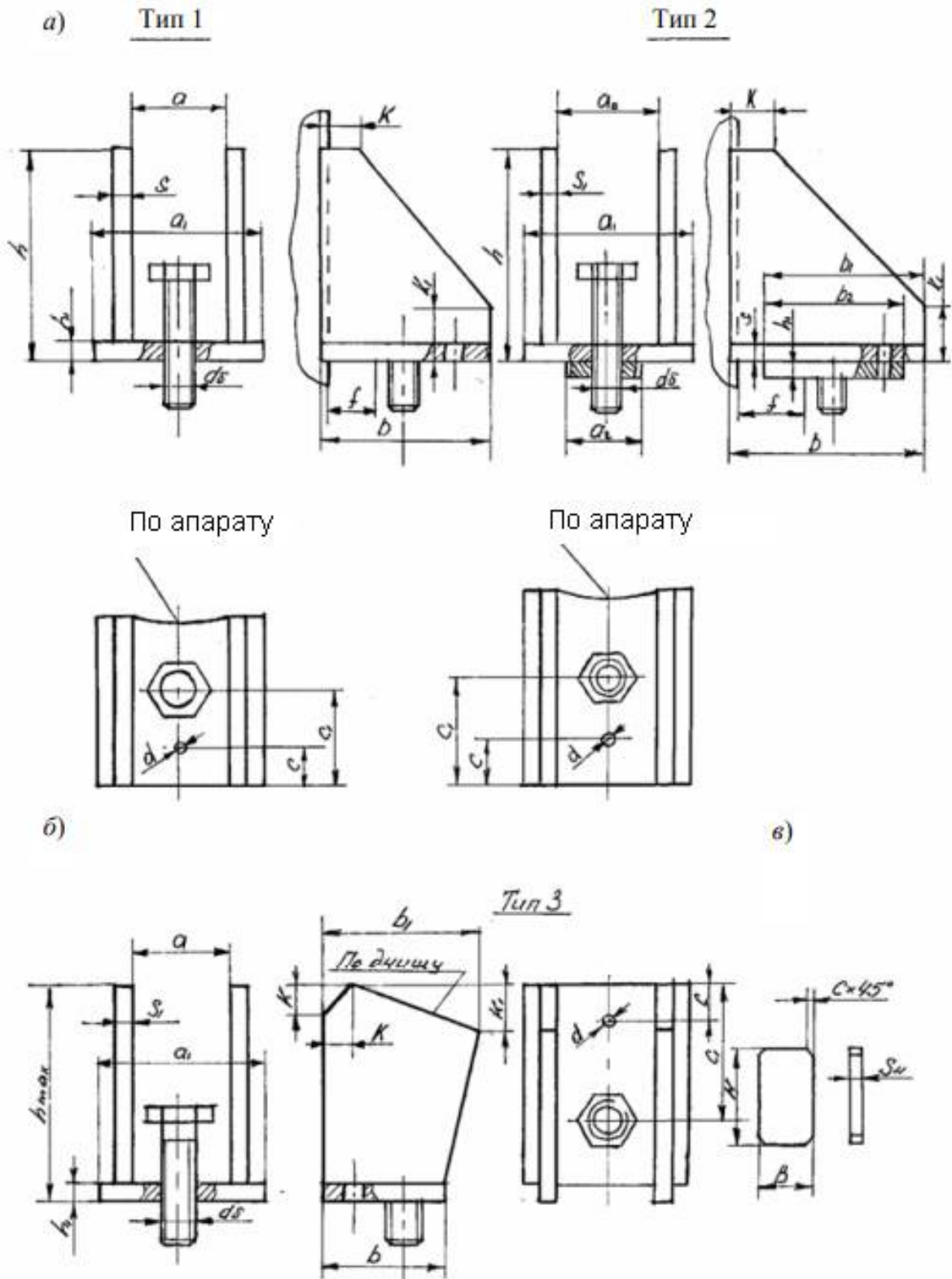


Рисунок 9 - Конструкції стандартних опор

Тип 1 (лапи) служить для апаратів без теплоізоляції, тип 2 (лапи) зі збільшеним вильотом - для апаратів з ізоляцією, тип 3 (стійки) - для апаратів

з еліптичних і конічним днищем. Залежно від товщини стінки корпусу апарату опори приварюються або безпосередньо до корпусу або до накладному листу. Матеріал деталей цих опор вибирається з умов експлуатації.

В опорах є регулювальний болт, службовець для установки вертикальності при монтажі. Після установки вертикальності болт викручується.

Необхідність установки накладного листа визначається після перевірки опори на місці приварювання лапи. Накладні листи приварюються до апарату суцільним швом.

Якщо опори виконані з вуглецевої сталі, а апарат з корозійної сталі, то накладні листи повинні виконуватися зі сталі тієї ж марки, що і корпус апарату.

Обрана стандартна опора розрахунком не перевіряється. Розрахунку підлягає обичайка циліндричного апарату, на яку діють місцеві навантаження, що викликаються опорними лапами[10].

3. ФІЗИКО – МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В РОБОТІ

Зернистий матеріал – синій поліетилен у вигляді луски еліптичної форми.

[ρ]

Густина поліетилену – 914 .

Насипна густина розраховується як

де m – маса мірного стакану з насипним матеріалом, **[Кг]**;

– маса мірного стакану, **[Кг]**;

– об'єм мірного стакану, .

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 $d = 5.3 \text{ [мм]}, \quad h = 2.0 \text{ [мм]};$ |
| середня (67%), | розміри $d = 4.9 \text{ [мм]}, \quad h = 1.5 \text{ [мм]};$ |
| дрібна (28%), | розміри $d = 4.2 \text{ [мм]}, \quad h = 1.4 \text{ [мм]}.$ |

Зважаючи на те, що лусочки мають форму циліндра, визначимо площу поверхні та об'єм лусочок відповідно до фракцій.

Площа поверхні циліндра складається з двох площ кіл та площі бокової поверхні (прямокутник): $S = 2 \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) + \pi \cdot d \cdot h$.

Об'єм циліндра визначається як добуток площі поперечного перерізу (кола) на висоту циліндра: $V = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot h$.

| | |
|----------------|--|
| велика (5%), | розміри $S_{\text{в}} = 77.4 \text{ [мм}^2\text{]}, \quad V_{\text{в}} = 44.1 \text{ [мм}^3\text{]};$ |
| середня (67%), | розміри $S_{\text{с}} = 60.8 \text{ [мм}^2\text{]}, \quad V_{\text{с}} = 28.3 \text{ [мм}^3\text{]};$ |
| дрібна (28%), | розміри $S_{\text{д}} = 46.2 \text{ [мм}^2\text{]}, \quad V_{\text{д}} = 19.4 \text{ [мм}^3\text{]}.$ |

Застосовується повітря при температурі 20 [°C] з густиною 1.205 кг/м³, динамічній в'язкості 18,1 Па·с та кінематичній в'язкості 15,06 м²/с.

4. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Схема дослідної установки

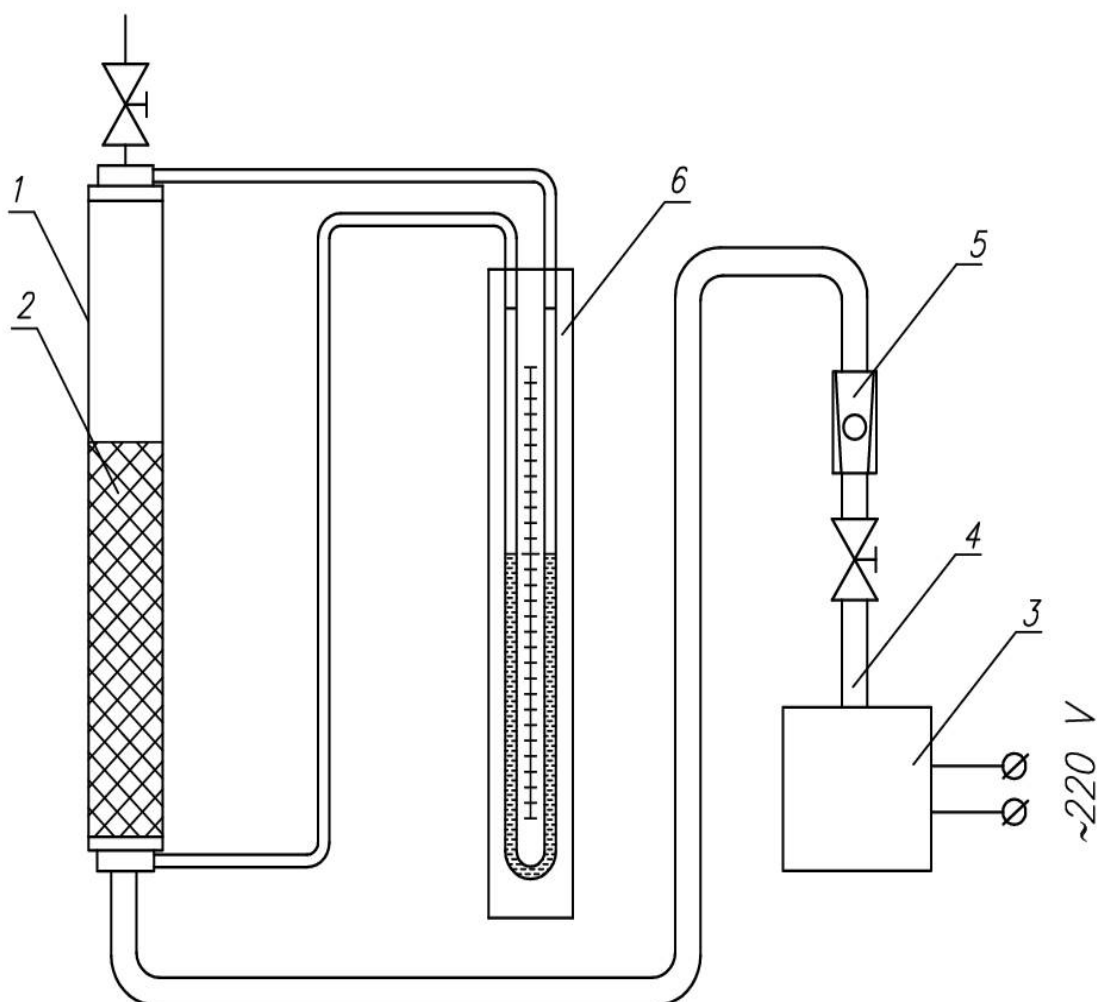


Рисунок 10- Модель трубчатого реактора

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

Повітря забирається газодувкою (3), проходить через ротаметр (5), надходить у нижню частину реакторної колонки (1) і рухається вгору через

сипкий матеріал (2), перепад тиску визначається водяним дифманометром (6).

Фотографії експериментальної установки представлені на рисунку 11.



Рисунок 11 – Фотографії експериментальної установки

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

5. ПЛАН И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ

Опис проведення експерименту.

Витрату повітря змінювали в межах від -2 мм і до 78 ммза шкалою ротаметра. Градування ротаметра[додаток А] наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Шкала градування ротаметра

| | Шкала рота- метра | Скоро- сть газа, м/с | Объем- ный расход, м3/с |
|----|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 | | | |
| 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 |

Вентилем встановлювали витрату, що дорівнює приблизно однієї десятої діапазону змін. Для кожного значення витрат вимірювали значення перепаду тиску за допомогою водяного дифманометра. Результати вимірювань записували в таблицю.

Експеримент проводили як при збільшенні витрати від мінімальної до максимальної, так і при зменшенні витрати від максимальної до мінімальної.

Максимальне значення витрати встановлювалося до початку виносу сипучого матеріалу з колонки.

Результати проведених експериментів заносять 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 їхній обсяг n , що достатньо для підтвердження гіпотези про однорідність ряду дисперсій.

Обираємо $\alpha = 0.05$, $G_{\alpha}^* = 0.2$.

Необхідно визначити k та n .

Розв'язок.

Приймаємо значення $n = 11$.

Для заданого G^* і $n - 1$ у таблиці знаходимо k .

Із таблиці для $\alpha = 0.05$, $G_{\alpha}^* = 0.2$ та $n - 1 = 10$ знаходимо $k \sim 10$.

Таким чином, для підтвердження гіпотези про однорідність ряду дисперсій необхідно мати мінімум десять вибірок ($k = 10$) обсягом не менш $n = 11$ кожна.

7. РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ

Були проведені 12 серій експериментів, вони наведені в таблиці [додаток Б]. Всі експерименти зводяться в єдину таблицю, упорядковуються відповідно до збільшення витрати газу і розбиваються на інтервали за величиною витрати газу.

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.

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 16 рівних інтервалів $\Delta = 5$ 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 .

$$\sum_{j=1}^{16} n_j = 200, \quad (8.2)$$

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 $G_{\max} = 0.1591$, воно належить першому інтервалу ($s_1^2 = 82.21$).

Тепер для $k = 16$ і $(n_1 - 1) = 17$ знайдемо табличне значення $G_{0.05}$ для степені значущості $\alpha = 0.05$.

Оскільки наші дані не точно відповідають табличним, застосуємо метод кусково-лінійної інтерполяції. Шукана величина знаходиться за формулою

$$y_3 = y_1 + (y_2 - y_1) \cdot \frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1}, \quad (8.5)$$

Знаходимо у таблиці величини $G_{0.05}$ для $n = 10$ та $k = 10$ і $k = 20$. Одержуємо значення 0.2353 та 0.1303 відповідно. Для знаходження значення при $k = 16$ застосовуємо формулу

$$G_{0.05}(n = 10) = 0.2353 + (0.1303 - 0.2353) \cdot \frac{16 - 10}{20 - 10} = 0.1723, \quad (8.6)$$

Аналогічно для $n = 36$ одержуємо з таблиці значення $G_{0.05}$: 0.1655 та 0.0879. Застосовуємо формулу

$$G_{0.05}(n = 36) = 0.1655 + (0.0879 - 0.1655) \cdot \frac{16 - 10}{20 - 10} = 0.11894, \quad (8.7)$$

Ми отримали дані для $k = 16$ та $n = 10$ і $n = 36$. Знову застосовуємо формулу для одержання величини $G_{0.05}$ для $n = 17$:

$$G_{0.05} = 0.1723 + (0.11894 - 0.1723) \cdot \frac{17 - 10}{36 - 10} = 0.1579, \quad (8.8)$$

Таким чином, підсумкове табличне значення $G_{0.05} = 0.1579$

Порівняння результатів показує, що розрахункове значення більше табличного ($G_{max} = 0.1591$) > ($G_{0.05} = 0.1579$). Робимо висновок, що

гіпотеза про однорідність результатів експериментів не підтверджується з імовірністю 0.95. Тоді для першого інтервалу треба оцінити члени вибірки, що суттєво відрізняються. Якщо такі будуть знайдені, їх треба відкинути і знову перевірити однорідність дисперсій. Результати експериментів занесені в таблицю 2.

Таблиця2 – Результати експериментів

| 1 | Положение поплавок от нуля шкалы, мм | Y, средний перепад давления, мм. вод. ст. | Сумма S | S ² | G _j | G _{max} | 3*σ |
|----|--------------------------------------|---|----------|----------------|----------------|------------------|---------|
| 2 | 0 | 10,35294118 | 1119,882 | 69,99265 | 0,13918 | 0,13918 | 25,0985 |
| 3 | 5 | 21,25 | 290,25 | 26,38636 | 0,052469 | | |
| 4 | 10 | 23,5 | 257 | 23,36364 | 0,046458 | | |
| 5 | 15 | 26,63636364 | 218,06 | 21,806 | 0,043361 | | |
| 6 | 20 | 29,22727273 | 230,19 | 23,019 | 0,045773 | | |
| 7 | 25 | 30,11538462 | 336,08 | 28,00667 | 0,055691 | | |
| 8 | 30 | 33,88461538 | 331,67 | 27,63917 | 0,05496 | | |
| 9 | 35 | 36,45454545 | 332,76 | 33,276 | 0,066169 | | |
| 10 | 40 | 39 | 360 | 30 | 0,059655 | | |
| 11 | 45 | 43,46428571 | 615,79 | 47,36846 | 0,094192 | | |
| 12 | 50 | 44,70833333 | 584,23 | 53,11182 | 0,105612 | | |
| 13 | 55 | 46,33333333 | 489,68 | 44,51636 | 0,08852 | | |
| 14 | 60 | 46,79166667 | 350,33 | 31,84818 | 0,06333 | | |
| 15 | 65 | 46,95833333 | 176,77 | 16,07 | 0,031955 | | |
| 16 | 70 | 49,26923077 | 210,37 | 17,53083 | 0,03486 | | |
| 17 | 75 | 49,86363636 | 89,59 | 8,959 | 0,017815 | | |

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 :

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

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 [додаток В] знаходимо значення критерію r для рівня значущості $\alpha = 0.05$ і числа ступенів волі $n - 1 = 18$.

$$r_\alpha = 2.600$$

В першому інтервалі даних знаходимо одне значення, що має критерій r , більший табличного $r(18) = 2.777$. Вилучаємо це значення з вибірки. Решта даних укладаються в заданий діапазон.

Перерахунок критерію G для нової вибірки дає значення 0.1373, що менше табличного. Таким чином, ми отримали вибірку даних, що повністю відповідає критерію однорідності і може застосовуватися для подальшої обробки.

9. МОДЕЛЮВАННЯ

9.1. Апроксимація залежностей методом найменших квадратів

Побудова моделі методом найменших квадратів здійснюємо за допомогою пакету прикладних програм MatLab.

Приводимо програмний код розрахунків.

```
% Завантажуємо вихідні дані
```

```
load('Data\Source_data.mat');
```

```
% Апроксимуємо поліном МНК першого ступеня pol1, другого ступеня pol2,  
% третього ступеня pol3
```

```
pol1 = polyfit(X,Y,1);
```

```
pol2 = polyfit(X,Y,2);
```

```
pol3 = polyfit(X,Y,3);
```

```
% Готуємо дані для побудови графіків
```

```
X_plot = 0.5:0.5:3.5;
```

```
Y1 = polyval(pol1,X_plot);
```

```
Y2 = polyval(pol2,X_plot);
```

```
Y3 = polyval(pol3,X_plot);
```

```
% Виводимо графіки вихідних параметрів об'єкта різним кольором на одному  
графіку
```

```
pic = figure;
```

```
hPlot1 = plot(X_plot, Y1, 'g--');
```

```
set(hPlot1, 'LineWidth', 4);
```

```
gridon
```

```
holdon
```

```
hPlot2 = plot(X_plot, Y2, 'r-');
```

```
set(hPlot2, 'LineWidth', 5);
```

```
hPlot3 = plot(X_plot, Y3, 'k:');
```

```
set(hPlot3, 'LineWidth', 5);
```

```
title('Залежність перепаду тиску від швидкості газу');
```

```
ylabel('Перепад тиску, мм.вод.ст.');
```

```
xlabel('Швидкість газу, м/с');
```

```
% Зберігаємо графік на диск
```

```
print(pic, '-djpeg', '-r600', 'Data\Figure.jpg');
```

За результатами розрахунків одержуємо поліноми різного ступеня:

$$pol1 = 14.4144 \cdot x + 6.5998;$$

$$pol2 = -4.517 \cdot x^2 + 32.4462 \cdot x - 8.4707;$$

$$pol3 = 0.7102 \cdot x^3 - 8.7754 \cdot x^2 + 40.1255 \cdot x - 13.4739.$$

На рисунку 12 представлено графічне відображення одержаних функціональних залежностей.

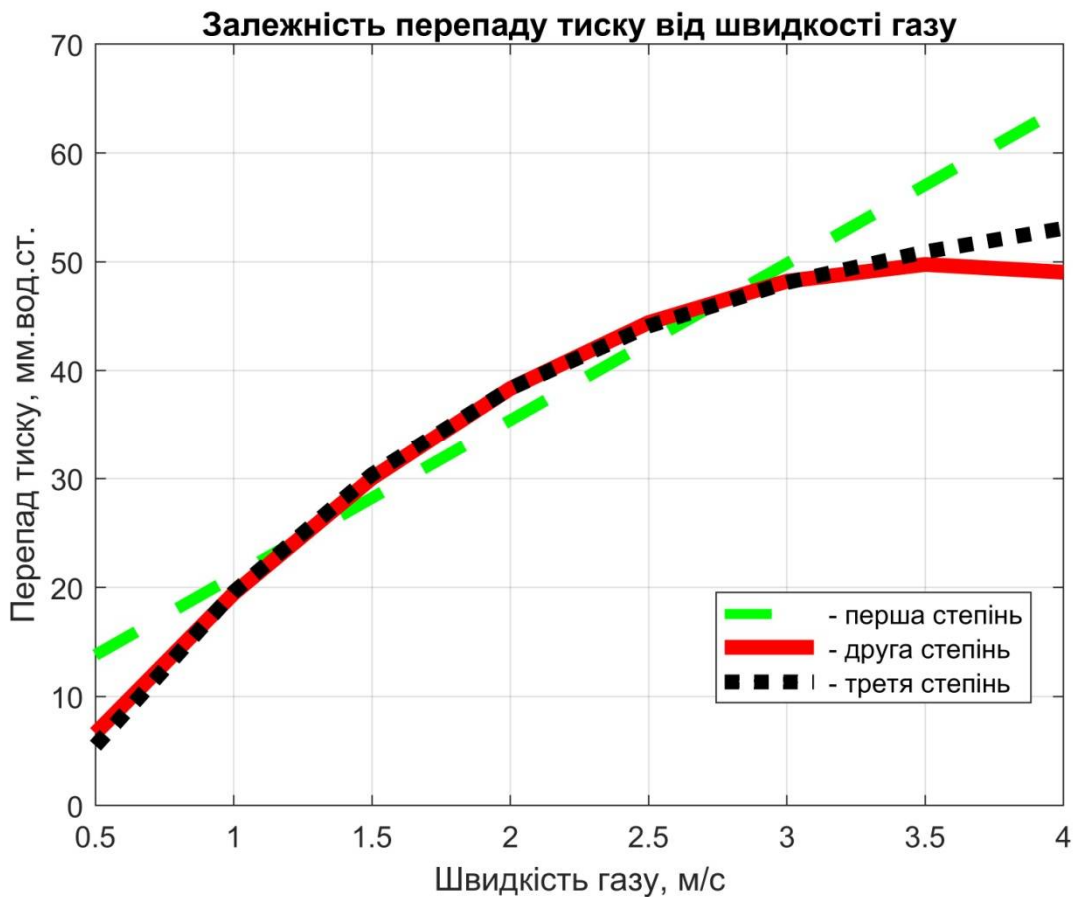


Рисунок 12 – Залежність перепаду тиску від швидкості газу

9.2. Вибір виду моделі

Загальний вид моделі приймається у вигляді

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де y – вихідний параметр;

x_i – вхідні параметри.

Виходячи з інформаційно-логічної схеми установки відповідно до каналів зв'язку вхідних та вихідних параметрів визначаємо види моделей.

Вхідним керуючим параметром є витрати повітря із газодувки.

Вихідними параметрами є тиск на вході колонки (перепад тиску на насадці) та порізність насадки (висота сипкого матеріалу у колонці).

1.) Перший канал зв'язку: витрати повітря із газодувки $(Q) \Rightarrow$ перепад тиску на насадці (ΔP) .

Для вибору виду моделі приймемо припущення: в експерименті діапазон зміни параметрів (тиску) незначний, термодинамічні ефекти при стискуванні повітря малі, ними можна знехтувати.

Тому, використаємо формулу Бернуллі у вигляді

$$F = \alpha \cdot S \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}},$$

де F – об'ємні витрати ;

α – коефіцієнт витікання;

S – площа поперечного перерізу отвору ;

ΔP – перепад тиску [Па];

[кг/м³]

ρ – густина .

Виходячи з формули витікання, залежність параметрів об'єкта має нелінійний вигляд

$$\Delta P \sim F^2.$$

Таким чином, обираємо загальну модель у вигляді поліному другої степені

$$y_1 = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2.$$

2.) Другий канал зв'язку: витрати повітря із газодувки $\omega \Rightarrow$ порізність насадки (V_2).

Не враховуючи додаткових ефектів утворення різних форм течії повітря скрізь насадку, будемо вважати зміну висоти насадки пропорційне витратам повітря з газодувки.

Таким чином, обираємо загальну модель у вигляді поліному першої степені

$$y_2 = b_0 + b_1 \cdot x.$$

Зробимо аналіз результатів з точки зору одержання високої точності апроксимації експериментальних даних при найменшій степені апроксимуючого поліному.

Для визначення поліному, що відповідає обраному критерію, розрахуємо суму квадратів похибок апроксимації в точках вимірювання для кожного апроксимуючого поліному

$$\Delta_{pol_k} = \sum_{i=1}^n \Delta_{pol_{k,i}}$$

де k – степінь полінома;

n – кількість точок вимірювання;

$\Delta_{pol_{k,i}} = (Y_i - Pol_{k,i})^2$ – квадрат похибки в i -ої точці виміру.

Дані вимірювань наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Дані вимірювань похибок

| № з/п | X | Y | Pol 1 | Del 1 | Pol 2 | Del 2 | Pol 3 | Del 3 |
|----------------------|----|--------|--------|----------------|--------|---------------|--------|---------------|
| 1. | 0 | 11,306 | 17,419 | 37,377 | 13,339 | 4,133 | 13,001 | 2,873 |
| 2. | 5 | 21,250 | 19,877 | 1,886 | 17,582 | 13,454 | 17,597 | 13,348 |
| 3. | 10 | 23,500 | 22,334 | 1,359 | 21,561 | 3,762 | 21,799 | 2,895 |
| 4. | 15 | 26,636 | 24,792 | 3,403 | 25,274 | 1,856 | 25,628 | 1,017 |
| 5. | 20 | 29,227 | 27,249 | 3,913 | 28,723 | 0,255 | 29,106 | 0,015 |
| 6. | 25 | 30,115 | 29,707 | 0,167 | 31,906 | 3,206 | 32,253 | 4,569 |
| 7. | 30 | 33,885 | 32,164 | 2,960 | 34,825 | 0,883 | 35,091 | 1,455 |
| 8. | 35 | 36,455 | 34,622 | 3,359 | 37,478 | 1,047 | 37,640 | 1,406 |
| 9. | 40 | 39,000 | 37,079 | 3,689 | 39,867 | 0,751 | 39,923 | 0,852 |
| 10. | 45 | 43,464 | 39,537 | 15,426 | 41,990 | 2,174 | 41,959 | 2,265 |
| 11. | 50 | 44,708 | 41,994 | 7,367 | 43,849 | 0,739 | 43,771 | 0,879 |
| 12. | 55 | 46,333 | 44,452 | 3,541 | 45,442 | 0,794 | 45,378 | 0,912 |
| 13. | 60 | 46,792 | 46,909 | 0,014 | 46,771 | 0,000 | 46,803 | 0,000 |
| 14. | 65 | 46,958 | 49,367 | 5,800 | 47,834 | 0,767 | 48,067 | 1,229 |
| 15. | 70 | 49,269 | 51,824 | 6,528 | 48,633 | 0,405 | 49,190 | 0,006 |
| 16. | 75 | 49,864 | 54,282 | 19,519 | 49,166 | 0,487 | 50,193 | 0,109 |
| Сума похибок: | | | | 116,307 | | 34,714 | | 33,830 |

У таблиці 3 в якості вихідної величини Y_i узяті усереднені значення за результатами 12 окремих експериментів

$$Y_i = \frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^{12} Y_{ij} .$$

Розрахунки показали, що найгірші результати апроксимації дає лінійна апроксимація $\Delta_{pol_1} = 116.307$.

Порівняно з лінійною апроксимацією, квадратична та кубічна апроксимація дають значно кращі результати.

Квадратична апроксимація відрізняється від лінійної на

$$\frac{|116.307 - 33.83|}{116.307} \cdot 100 \% = 70.15 \% .$$

Кубічна апроксимація відрізняється від лінійної на

$$\frac{|116.307 - 34.714|}{116.307} \cdot 100 \% = 73.91 \% .$$

Точність квадратичної та кубічної апроксимації майже збігаються, в той же час складність розрахунків за поліномом третьої степені значно більша.

Таким чином, найкращою моделлю процесу будемо вважати поліном другої степені. Цей висновок співпадає з результатами вибору виду моделі, що базувався на фізичній сутності процесу – протіканню газу по каналу.

9.3. Оптимізація технологічних параметрів

Знайдемо оптимальне значення швидкості газу, що відповідає найбільшому перепаду тиску на насадці, але до початку інтенсивного виносу.

Для цього знайдемо похідну залежності.

$$\frac{d(polz)}{dx} = -9.034 \cdot x + 32.4462.$$

Прирівняємо похідну до нуля

$$0 = -9.034 \cdot x + 32.4462;$$

10. 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:

де Re_1 – критерій Рейнольдса у дослідному апараті;
 Re_2 – критерій Рейнольдса у промисловому апараті.

Критерій Рейнольдса визначається за формулою:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (10.2)$$

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 (10.2) у формулу (10.1) можна знайти величину швидкості газу у промисловому апараті:

Вихідні дані для дослідного апарату (газ – повітря):

| | |
|-----------------------------------|---|
| Температура газу: | |
| Густина газу: | |
| Динамічна в'язкість газу: | $18.1 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$ |
| Внутрішній діаметр апарату: | |
| Лінійна швидкість газу в апараті: | |

Вихідні дані для промислового апарату (газ – повітря):

| | |
|---|--|
| Робоча температура газу: | |
| Робочий тиск: | |
| Густина газу при атмосферному тиску та робочій температурі (500 K) : | |

| | |
|---|---|
| Густина газу при робочому тиску та температурі*: | |
| Динамічна в'язкість газу при робочій температурі (500 К **: | $36.2 \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$ |
| Внутрішній діаметр апарату: | |

* 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.

$$T_1 = T_2 = 500 \text{ [}^\circ\text{C]};$$

$$P_1 = 10^5 \text{ [Па]} \text{ – атмосферний тиск};$$

$$P_2 = 10^6 \text{ [Па]} \text{ – робочий тиск в апараті.}$$

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

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

Підставляємо висхідні дані у рівняння (10.3) і розраховуємо лінійну швидкість газу (повітря) у реакційної частині промислового апарату

Тепер можна розрахувати об'ємні витрати газу у промисловому апараті при температурі і тиску

де – площа поперечного перерізу промислового апарату.

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

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

дорівнює .

11. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПІЛОТНОЇ УСТАНОВКИ

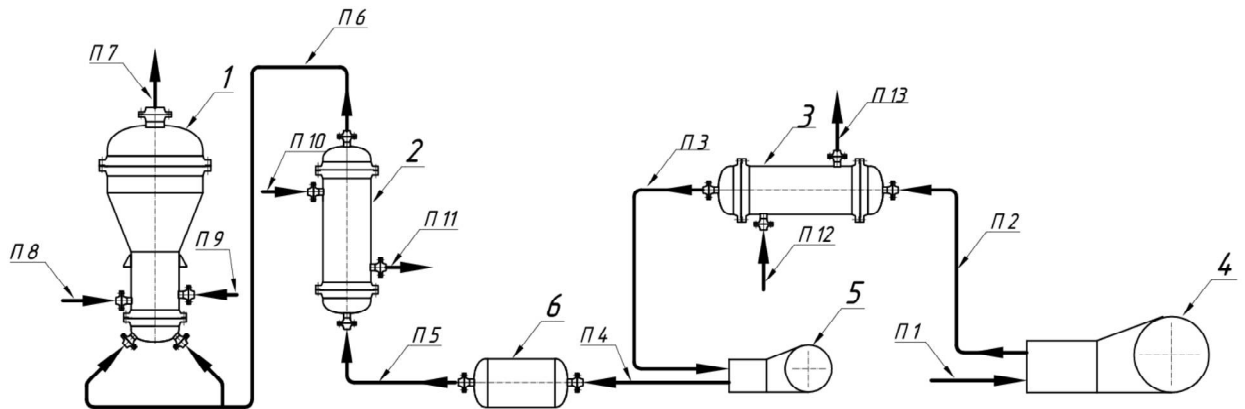


Рисунок 13 – Технологічна схема пілотної установки

Основні апарати та технологічні потоки пілотної установки наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Основні апарати та технологічні потоки пілотної установки

| Основні апарати: | | |
|-----------------------------|---|--|
| 1 | – | реактор; |
| 2 | – | підігрівач повітря; |
| 3 | – | проміжний холодильник; |
| 4 | – | компресор першого ступеня; |
| 5 | – | компресор другого ступеня; |
| 6 | – | ресивер. |
| Технологічні потоки: | | |
| П1 | – | атмосферне повітря на вході компресора; |
| П2 | – | повітря з виходу першого ступеня компресора на вхід проміжного холодильника; |
| П3 | – | повітря з виходу проміжного холодильника на вхід другого ступеня компресора; |
| П4 | – | повітря з виходу другого ступеня компресора на вхід ресивера; |
| П5 | – | повітря з виходу ресивера ресора на вхід підігрівача повітря; |
| П6 | – | повітря з виходу підігрівача повітря на вхід реактора; |

| | | |
|-----|---|---|
| П7 | – | вихід продукту з реактора; |
| П8 | – | подача рідкого агента в реактор; |
| П9 | – | подача каталізатора в реактор; |
| П10 | – | вхід димових газів у підігрівач повітря; |
| П11 | – | вихід димових газів з підігрівача повітря; |
| П12 | – | вхід охолоджувальної води в проміжний холодильник; |
| П13 | – | вихід охолоджувальної води з проміжного холодильника. |

Опис технологічної схеми пілотної установки

Повітря при температурі засмоктується з атмосфери в компресор першого ступеня (4) і стискається в ньому. З компресора стиснене повітря надходить в проміжний холодильник (3), де за допомогою охолоджувальної води охолоджується. Після охолодження повітря потрапляє в компресор другого ступеня (5), в якому воно стискається і надходить в ресивер (6), в ньому відбувається вирівнювання тиску, конденсація деякої кількості вологи та відділення залишків мастила. Далі повітря з температурою 300 $^{\circ}\text{C}$ подається в підігрівач повітря (2), в якому воно нагрівається за допомогою димових газів до 430 $^{\circ}\text{C}$ і направляється в реактор (1). У реактор через штуцери подається також рідкий агент і каталізатор, під тиском проходить реакція в псевдозрідженному шарі і готовий продукт виходить через верхній штуцер реактора.

Опис технологічної схеми пілотної установки

Повітря при температурі засмоктується з атмосфери в компресор першого ступеня (4) і стискається в ньому. З компресора стиснене повітря надходить в проміжний холодильник (3), де за допомогою охолоджувальної води охолоджується. Після охолодження повітря потрапляє в компресор другого ступеня (5), в якому воно стискається і надходить в ресивер (6), в ньому відбувається вирівнювання тиску, конденсація деякої кількості вологи та відділення залишків мастила. Далі повітря з температурою

300[°C] подається в підігрівач повітря (2), в якому воно нагрівається за допомогою димових газів до 430 [°C] і направляється в реактор (1). У реактор через штуцери подається також рідкий агент і каталізатор, під тиском проходить реакція впсевдозрідженному шарі і готовий продукт виходить через верхній штуцер реактора.

12. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ РЕАКТОРА

Вихідні дані

| | |
|---|-----------|
| Внутрішній діаметр верхньої частини реактора, мм | 800 |
| Внутрішній діаметр нижньої частини реактора, мм | 400 |
| Матеріал обичайки | 12X18H10T |
| Матеріал фланців корпуса | 12X18H10T |
| Матеріал днища та кінцевого днища | 12X18H10T |
| Матеріал опори | Ст3сп5 |
| Розрахунковий тиск в апараті $P_{роз}$, МПа | 1,0 |
| Розрахункова температура в апараті t , °C | 500 |
| Модуль подовжньої пружності для сталі 12X18H10T при розрахунковій температурі, МПа $E = 1,67 \cdot 10^5$ | |
| Модуль подовжньої пружності для сталі 12X18H10T при температурі $t = 20$ °C, МПа $E^{20} = 2,0 \cdot 10^5$ | |
| Допустима напружина для сталі 12X18H10T при розрахунковій температурі, МПа | 127 |
| Допустима напружина для сталі 12X18H10T при Температурі $t = 20$ °C, МПа | 184 |
| Група апарату за СОУ МПП 71.120-217:2009 | 1 |

12.1 Визначення товщини стінки верхньої обичайки

Розрахункову товщину стінки верхньої обичайки визначаємо за формулою:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2[\sigma] \cdot \varphi_p - P} \quad (12.1)$$

де φ_p – коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів корпусу.

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

Розрахункова товщина стінки верхньої обичайки реактора:

$$S_p = \frac{1,0 \cdot 800}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 1,0} = 3,2 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки верхньої обичайки реактора визначаємо за формулою:

$$S \geq S_p + C, \quad (12.2)$$

де S_p – розрахункова товщина стінки обичайки, мм;

C – сума добавок до розрахункової товщини стінки, мм

Сума добавок до розрахункової товщини стінки обичайки складає

$$C = C_1 + C_2, \quad (12.3)$$

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

$$C = 1 + 0,6 = 1,6 \text{ мм}$$

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

$$S \geq 3,2 + 1,6 = 4,8 \text{ мм}$$

Приймаємо:

$$S = 6 \text{ мм}$$

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

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (12.4)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 127 \cdot 1 \cdot (6 - 1,6)}{800 + (6 - 1,6)} = 1,4 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$P \leq [P] \quad (12.5)$$

$$P = 1,0 \text{ МПа} < [P] = 1,4 \text{ МПа} \quad - \text{ виконується}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$\frac{S_1 - C}{D} < 0,1 \quad (12.6)$$

$$\frac{6 - 1,6}{800} = 0,0055 < 0,1 \quad - \text{ умова виконується}$$

12.2 Розрахунок еліптичного верхнього днища реактора

Розрахункову товщину стінки еліптичного днища визначаємо

за формулою

$$S_{1p} = \frac{P_1 \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P_1}, \quad (12.7)$$

- де P_1 – внутрішній надлишковий тиск, МПа;
 R – радіус кривизни в вершині днища по внутрішній поверхні, мм;
 $R = D$ – для стандартних еліптичних днищ.
 φ – коефіцієнт міцності зварних швів;
 $[\sigma]$ – допустима напруженість матеріалу при розрахунковій температурі, МПа;

$$S_{1p} = \frac{1,0 \cdot 800}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,0} = 3,2 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S_1 \geq S_{1p} + C \quad (12.8)$$

$$S_1 = 3,2 + 1,6 = 4,8 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки еліптичного днища:

$$S_1 = 6 \text{ мм}$$

Визначення допустимого внутрішнього надлишкового тиску, МПа

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot (S_1 - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0,5(S_1 - C)} \quad (12.9)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot (6 - 1,6) \cdot 1 \cdot 127}{800 + 0,5 \cdot (6 - 1,6)} = 1,4 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$P \leq [P]$$

$$P = 1,0 \text{ МПа} < [P] = 1,4 \text{ МПа} - \text{умова виконується}$$

Перевірка умови застосування розрахункових формул:

$$0,002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0,1 \quad (12.10)$$

$$0,002 \leq \frac{6 - 1,6}{800} = 0,0055 \leq 0,1$$

0,002 < 0,055 < 0,1 - умова виконується

12.3 Розрахунок конічного днища корпусу

12.3.1 Розрахунок товщини стінки конічного днища від внутрішнього тиску

Для з'єднання обичайок без тороїдального переходу розрахункову довжину перехідної частини a_1 визначаємо за формулою

$$a_1 = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha} \cdot (S_1 - C)} \quad (12.11)$$

$$a_1 = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{800}{\cos 22,5^\circ} \cdot (6 - 1,6)} = 43,2 \text{ мм}$$

Для з'єднання конічної обичайки з циліндричної меншого діаметра розрахункову довжину перехідної частини a_2 визначаємо за формулою

$$a_2 = 1,25 \sqrt{D \cdot (S_2 - C)} \quad (12.12)$$

$$a_2 = 1,25 \sqrt{800 \cdot (6 - 1,6)} = 74,2 \text{ мм}$$

- де D – внутрішній діаметр циліндричної обичайки, мм;
 S_1, S_2 – виконавчі товщини перехідних частин обичайок, мм;
 C – сума добавок до розрахункової товщини стінки розрахованого елемента, мм;
 α – половина кута при вершині конічної обичайки, град.

Розрахунковий діаметр гладкої конічної обичайки визначаємо за формулою

$$D_k = D - 1,4 \cdot a_1 \cdot \sin \alpha \quad (12.13)$$

$$D_k = 800 - 1,4 \cdot 43,2 \cdot \sin 22,5^\circ = 776,9 \text{ мм}$$

Для з'єднання конічної обичайки з циліндричною меншого діаметра розрахунковий коефіцієнт міцності зварних швів визначаємо за формулою

$$\varphi_R = \min \{ \varphi_p; \sqrt{\varphi_T} \} \quad (12.14)$$

$$\varphi_R = \min \{ 1; \sqrt{1} \} = 1$$

де φ_p – коефіцієнт міцності подовжнього зварного шва;

φ_T – коефіцієнт міцності кільцевого зварного шва.

Розрахункову товщину стінки гладкої конічної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском визначаємо за формулою:

$$S_{кр} = \frac{P \cdot D_k}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad (12.15)$$

де P – розрахунковий внутрішній надлишковий тиск, МПа;

D_k – розрахунковий діаметр гладкої конічної обичайки, мм;

φ_p – коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів;

$[\sigma]$ – допустима напруженість для матеріалу конічної обичайки при розрахунковій температурі, МПа;

α – половина кута при вершині конічної обичайки, град.

$$S_{кр} = \frac{1,0 \cdot 776,9}{2 \cdot 1 \cdot 127 - 1,0} \cdot \frac{1}{\cos 22,5^\circ} = 3,32 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки гладкої конічної обичайки визначаємо за формулою:

$$S_k \geq S_{кр} + C \quad (12.16)$$

$$S_k \geq 3,32 + 1,6 = 4,92 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину конічного днища приймаємо:

$$S_k = 6 \text{ мм}$$

Отримана в результаті розрахунку товщина конічного днища і заздалегідь прийнята для визначення a_1 і D_k товщина переходу збігаються.

12.3.2 Визначення допустимого внутрішнього надлишкового тиску

Допустимий внутрішній надлишковий тиск визначаємо за формулою:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_k - C)}{\frac{D_k}{\cos \alpha} + (S_k - C)} \quad (12.17)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 127 \cdot 1 \cdot (6 - 1,6)}{\frac{776,9}{\cos 22,5^\circ} + (6 - 1,6)} = 1,32 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$P \leq [P]$$

$$P = 1,0 \text{ МПа} < [P] = 1,32 \text{ МПа} - \text{ умова виконується}$$

12.3.3 Розрахунок товщини стінки перехідних частин конічної S_1 і циліндричної обичайки S_2

Розрахунок товщин стінок перехідних частин конічної S_1 і циліндричної S_2 обичайок проводять методом послідовних наближень, попередньо прийнявши $S_1 = S_e$ і $S_2 = S$.

Розрахункову товщину стінки перехідної частини циліндричної обичайки визначаємо за формулою

$$S_{2p} = \frac{P \cdot D \cdot \beta_1}{2[\sigma]_2 \cdot \varphi_R - P}, \quad (12.18)$$

де β_1 – коефіцієнт форми;

$[\sigma]_2$ – допустима напруженість для перехідної частини циліндричної обичайки при розрахунковій температурі, МПа.

Коефіцієнти форми β і β_1 визначаємо за формулами

$$\beta = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{D}{S_2 - C}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \sqrt{\frac{1 + \chi \cdot \left(\frac{S_1 - C}{S_2 - C}\right)^2}{2 \cdot \cos \alpha}} \cdot \chi \cdot \left(\frac{S_1 - C}{S_2 - C}\right)} - 0,25; \quad (12.19)$$

$$\beta = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{800}{6 - 1,6}} \cdot \frac{\operatorname{tg} 22,5^\circ}{1 + \sqrt{\frac{1 + 1 \cdot \left(\frac{6 - 1,6}{6 - 1,6}\right)^2}{2 \cdot \cos 22,5^\circ}} \cdot 1 \cdot \left(\frac{6 - 1,6}{6 - 1,6}\right)} - 0,25 = 0,844$$

$$\beta_1 = \max \{0,5; \beta\} \quad (12.20)$$

$$\beta_1 = \max \{0,5; 0,844\} = 0,844$$

де χ - відношення допустимих напружень матеріалів конічної та циліндричної перехідних частин при розрахунковій температурі

Коефіцієнт χ визначаємо за формулою:

$$\chi = \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_2} \quad (12.21)$$

- $[\sigma]_1$ – допустима напруженість для матеріалу конічної перехідної частини при розрахунковій температурі, МПа;
 $[\sigma]_2$ – допустима напруженість для матеріалу циліндричної перехідної частини при розрахунковій температурі, МПа;

Коефіцієнт $\chi = 1$, оскільки циліндрична обичайка і конічний перехід виконані з одного матеріалу.

$$S_{2p} = \frac{1,0 \cdot 800 \cdot 0,844}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 1,0} = 2,67 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки перехідної частини циліндричної обичайки визначається за формулою

$$S_2 \geq S_{2p} + C \quad (12.22)$$

$$6 \text{ мм} \geq 2,67 + 1,6 = 4,27 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки перехідної частини циліндричної обичайки $S_2 = 6 \text{ мм}$, рівну товщині стінки циліндричної обичайки.

Виконавчу товщину стінки конічної перехідної частини визначаємо за формулою

$$S_1 \geq \left(\frac{S_1 - C}{S_2 - C} \right) \cdot S_{2p} + C \quad (12.23)$$

$$6 \geq \left(\frac{6 - 1,6}{6 - 1,6} \right) \cdot 2,67 + 1,6 = 4,27 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки перехідної частини конічного елемента переходу $S_1 = 6 \text{ мм}$, рівну товщині стінки циліндричної обичайки.

Оскільки виконавча товщина стінок перехідних частин S_1 і S_2 збіглися із попередньо призначеними значеннями при визначенні коефіцієнтів форми β і β_1 , то перерахунку значень цих коефіцієнтів не вимагається.

Допустимий внутрішній надлишковий або зовнішній тиск за умови міцності перехідної частини визначаємо за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_2 \cdot \varphi_p \cdot (S_2 - C)}{D \cdot \beta_1 + (S_2 - C)} \quad (12.24)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 127 \cdot 1 \cdot (6 - 1,6)}{800 \cdot 0,844 + (6 - 1,6)} = 1,6 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності за формулою

$$P \leq [P]$$

$$P = 1,0 \text{ МПа} < [P] = 1,6 \text{ МПа} - \text{умова міцності виконується}$$

12.3.4 Розрахунок з'єднання конічної обичайки з циліндричною обичайкою меншого діаметра

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки меншого діаметра

$$S_{2p} = \frac{P \cdot d \cdot \beta_4}{2 \varphi_R \cdot [\sigma]_2 - P} \quad (12.25)$$

де β_4 – коефіцієнт форми;

d – внутрішній діаметр обичайки меншого діаметра, мм.

Внутрішній діаметр штуцера:

$$d = 400 \text{ мм},$$

Коефіцієнт форми:

$$\beta_4 = \max\{1, 0; \beta_H\} \quad (12.26)$$

Коефіцієнт β_i визначається за формулою

$$\beta_n = \left\{ \begin{array}{l} \beta + 0,75, \text{ якщо } \chi \cdot \left(\frac{S_1 - C}{S_2 - C} \right)^2 \geq 1 \\ 0,4 \sqrt{\frac{D}{S_2 - C}} \cdot \frac{\text{tg } \alpha}{\chi \cdot \frac{S_1 - C}{S_2 - C} \sqrt{\frac{S_1 - C}{(S_2 - C) \cdot \cos \alpha}} + \sqrt{\frac{1 + \chi \cdot \left(\frac{S_1 - C}{S_2 - C} \right)^2}{2}}} + \\ + 0,5, \text{ якщо } \chi \cdot \left(\frac{S_1 - C}{S_2 - C} \right)^2 < 1 \end{array} \right\} \quad (12.27)$$

залежно від відношення

$$\chi \cdot \left(\frac{S_k - C}{S_2 - C} \right)^2, \quad (12.28)$$

де χ - відношення допустимої напруженості матеріалу конічної обичайки і циліндричної обичайки меншого діаметра при розрахунковій температурі

$$\chi = \frac{[\sigma]}{[\sigma]_2} \quad (12.29)$$

Для штуцера із сталі 12X18H10T

$$\chi = \frac{127}{127} = 1$$

$$\chi \cdot \left(\frac{S_K - C}{S_2 - C} \right)^2 = 1 \cdot \left(\frac{12 - 2,8}{12 - 2,8} \right)^2 = 1 \geq 1$$

тоді

$$\beta_H = \beta + 0,75 \quad (12.30)$$

Коефіцієнт визначається за формулою

$$\beta = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{d}{S_2 - C}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \sqrt{\frac{1 + \chi \cdot \left(\frac{S_K - C}{S_2 - C} \right)^2}{2 \cdot \cos \alpha}} \cdot \chi \cdot \left(\frac{S_K - C}{S_2 - C} \right)} - 0,25, \quad (12.31)$$

$$\beta = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{400}{6 - 1,6}} \cdot \frac{\operatorname{tg} 22,5^\circ}{1 + \sqrt{\frac{1 + 1 \cdot \left(\frac{6 - 1,6}{6 - 1,6} \right)^2}{2 \cdot \cos 22,5^\circ}} \cdot 1 \cdot \left(\frac{6 - 1,6}{6 - 1,6} \right)} - 0,25 = 0,52$$

Коефіцієнт β_H визначаємо за формулою (12.30), а β_4 за формулою (12.26)

$$\beta_H = 0,52 + 0,75 = 1,27$$

$$\beta_4 = \max\{1,0; 1,27\} = 1,27$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки меншого діаметра за формулою (12.25)

$$S_{2P} = \frac{1,0 \cdot 400 \cdot 1,27}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 1,0} = 2,0 \text{ мм}$$

Товщина стінки циліндричної обичайки меншого діаметра з урахуванням надбавки до розрахункової товщини

$$S_2 \geq 2,0 + 1,6 = 3,6 \text{ мм}$$

Вибрана заздалегідь товщина стінки циліндричної обичайки меншого діаметра збігається з попередньо призначеними значеннями.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск з умови міцності

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_2 \cdot \varphi_P \cdot (S_2 - C)}{D \cdot \beta_4 + (S_2 - C)}, \quad (12.32)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 127 \cdot 1 \cdot (6 - 1,6)}{800 \cdot 1,27 + (6 - 1,6)} = 1,1 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності за формулою

$$P \leq [P]$$

$$P = 1,0 \text{ МПа} < [P] = 1,1 \text{ МПа} - \text{умова міцності виконується}$$

12.4 Розрахунок опорної лапи

Вагу апарата визначаємо за формулами

– в робочих умовах

$$G = m \cdot g \quad (12.33)$$

– в умовах випробувань

$$G_1 = m_1 \cdot g \quad (12.34)$$

де g – прискорення сили тяжіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$G = 1120 \cdot 9,81 = 10987 \text{ Н}$$

$$G_1 = 620 \cdot 9,81 = 6082 \text{ Н}$$

Зусилля, яке діє на опорну лапу при забезпечені рівномірного розподілення навантаження між усіма опорними лапами, визначаємо за формулою

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{D + 2(e_1 + S + S_2)} \quad (12.35)$$

Для апарата, який установлюється в приміщенні, згинальний момент $M = 0$. Формула (12.35) приймає вигляд

$$F_1 = \frac{G}{4} \quad (12.36)$$

Розрахункове зусилля F_1 складає:

– в робочих умовах

$$F_1 = \frac{10987}{4} = 2747 \text{ Н}$$

– в умовах випробувань

$$F_1 = \frac{6082}{4} = 1521 \text{ Н}$$

За методичними вказівками [3] приймаємо зварні опорні лапи для ізолюваного апарата зі збільшеним вильотом і найближчим більшим значенням допустимого навантаження на одну лапу 6300 Н.

Умовне позначення лапи:

Лапа опорна 3-6300 ГОСТ 26296-84.

Висота лапи $h_1 = 264$ мм, розмір $l_1 = 160$ мм.

Відстань e_1 приймаємо рівною

$$e_1 = \frac{5}{6} l_1 = \frac{5}{6} \cdot 160 = 133,3 \text{ мм.}$$

Розрахунковий діаметр обичайки складає $D_p = D = 1000$ мм.

Загальну мембранну напруженість розраховуємо за формулою

$$\overline{\sigma}_{my} = \frac{P \cdot D_p}{2(S - C)} \quad (12.37)$$

$$\overline{\sigma}_{my} = \frac{1,0 \cdot 400}{2(6 - 1,6)} = 45,5 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт K_1 розраховуємо за формулою, приймаючи для конструкції лапи без підкладного листа коефіцієнт $\vartheta_1 = 0,3$.

$$K_1 = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1+3\vartheta_1 \cdot \vartheta_2}{3\vartheta_1^2} \cdot \left(\pm \sqrt{\frac{9\vartheta_1^2(1-\vartheta_2^2)}{(1+3\vartheta_1 \cdot \vartheta_2)^2} + 1} - 1 \right); \text{ при } \vartheta_1 \neq 0 \\ 1,5 \cdot (1 - \vartheta_2^2) \text{ при } \vartheta_1 = 0 \end{array} \right\} \quad (12.38)$$

Коефіцієнт ϑ_2 розраховуємо за формулою, приймаючи значення коефіцієнтів для робочих умов $K_2 = 1,2$ і $n_T = 1,5$:

$$g_2 = \frac{K_2}{n_r} \cdot \frac{\overline{\sigma}_m}{[\sigma] \cdot \varphi} \quad (12.39)$$

$$g_2 = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{45,5}{127 \cdot 1} = 0,287$$

$$K_1 = \frac{1+3 \cdot 0,3 \cdot 0,287}{3 \cdot 0,3^2} \cdot \left(\pm \sqrt{\frac{9 \cdot 0,3^2 (1-0,287^2)}{(1+3 \cdot 0,3 \cdot 0,287)^2} + 1} - 1 \right) = \{0,69; -8,06\} = 0,69$$

Допустиму напруженість вигину $[\sigma]_a$ визначаємо за формулою

$$[\sigma]_e = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_r}{K_2} \quad (12.40)$$

$$[\sigma]_e = 0,69 \cdot 127 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 109,5 \text{ МПа}$$

Безрозмірні коефіцієнти x і y визначаємо відповідно за формулами

$$x = \ln \frac{D_p}{2(S-C)} \quad (12.41)$$

$$x = \ln \frac{400}{2 \cdot (6-1,6)} = 3,82$$

$$y = \ln \frac{h_1}{D_p} \quad (12.42)$$

$$y = \ln \frac{264}{400} = -0,42$$

Безрозмірний коефіцієнт z визначаємо за формулою

$$\ln z = (-5,964 - 11,395 x - 18,984 y - 2,413 x^2 - 7,286 x \cdot y - 2,042 y^2 + 0,1322 x^3 + 0,4833 x^2 \cdot y + 0,8469 x \cdot y^2 + 1,428 y^3) \cdot 10^{-2} \quad (12.43)$$

$$\begin{aligned} \ln z &= [-5,964 - 11,395 \cdot 3,82 - 18,984 \cdot (-0,42) - 2,413 \cdot (3,82)^2 - \\ &- 7,286 \cdot 3,82 \cdot (-0,42) - 2,042 \cdot (-0,42)^2 + 0,1322 \cdot 3,82^3 + \\ &+ 0,4833 \cdot 3,82^2 \cdot (-0,42) + 0,8469 \cdot 3,82 \cdot (-0,42)^2 + 1,428 \cdot (-0,42)^3] \cdot 10^{-2} = \\ &= -0,605; \end{aligned}$$

$$z = 0,55$$

Коефіцієнт K_7 для зварних опор приймаємо за формулою

$$K_7 = z = 0,55 \quad (12.44)$$

Допустиме зусилля на обичайку в місці зварювання опорної лапи без підкладного листа визначаємо за формулою

$$[F]_1 = \frac{[\sigma]_e \cdot h_1 \cdot (S - C)^2}{K_7 \cdot e_1} \quad (12.45)$$

$$[F]_1 = \frac{109,5 \cdot 264 \cdot (6 - 1,6)^2}{0,55 \cdot 133,3} = 7634 \text{ Н}$$

Перевіряємо відношення

$$\frac{b_4}{h_1} = \frac{126}{264} = 0,477 < 0,5$$

При відношенні $\frac{b_4}{h_1} < 0,5$ значення допустимого зусилля $[F]_1$,

розрахованого за формулою (12.45), необхідно помножити на величину

$$\left(0,5 + \frac{b_4}{h_1}\right) = \left(0,5 + \frac{126}{264}\right) = 0,977$$

$$[F]_1 = 7634 \cdot 0,977 = 7458 \text{ Н}$$

$$F_1 = 2747 \text{ Н} < [F]_1 = 7458 \text{ Н} - \text{Умова виконується.}$$

13. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ

Правила з безпеки життєдіяльності при роботі у комп'ютерних лабораторіях

13.1 Загальні положення

13.1.1 Дана інструкція розроблена відповідно до вимог державних санітарних правил та норм ДСанПіН 5.5.6.009-98 "Влаштування і 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.

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

13.1.3 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.

13.1.4 Дотримання цієї інструкції обов'язково.

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

13.1.6 Вимоги до приміщення:

а) приміщення, обладнане комп'ютерною технікою, має мати підлоги з поверхнею, пристосованої до вологого прибирання;

б) вікна повинні мати регульовані жалюзі або штори.

13.1.7 Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць:

- а) приміщення комп'ютерних лабораторій повинно мати природне і штучне освітлення;
- б) штучне освітлення в приміщеннях комп'ютерних лабораторій повинно здійснюватися системою загального освітлення; в якості джерел світла при штучному освітленні повинні застосовуватися переважно люмінесцентні лампи;

13.1.8 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 м/с;
- б) для охолодження і очищення повітря від пилу необхідно встановлювати побутові кондиціонери.

13.1.9 Вимоги до обладнання та організації робочого місця:

- а) основним обладнанням робочого місця з персональним комп'ютером є монітор, клавіатура, стілець (крісло), робочий стіл, допоміжним – пуспітр, 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;

13.1.10 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;

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

- а) користуватися електронагрівальними приладами;
- б) встановлювати на вікнах глухі решітки;
- в) користуватися відкритим вогнем.

13.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

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

13.2.2 Переконатися в достатності освітлення місця роботи.

13.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

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

13.3.2 Забороняється застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам «Правил улаштування електроустановок до переносних електропроводів».

13.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

13.4.1 Завершити роботу на ПЕОМ.

13.4.2 Повідомити про закінчення роботи викладачеві, який проводив заняття або зав. Лабораторією.

13.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

13.5.1 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 з безпеки життєдіяльності при роботі в лабораторіях

13.6 Загальні положення

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

13.6.2 Порушення цієї інструкції забороняється.

13.6.3 При виконанні лабораторних робіт використовуються електроприлади і електрообладнання.

13.7 Вимоги безпеки перед початком роботи

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

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

13.8 Вимоги безпеки під час виконання роботи

13.8.1 Працювати тільки на справному обладнанні.

13.8.2 Підключати і відключати електроприлади необхідно тільки тримаючись за вилку.

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

Забороняється переміщати з місця на місце включені в мережу електроприлади.

13.9 Вимоги безпеки після закінчення роботи

13.9.1 Відключити електроприлади та електрообладнання.

13.9.2 Привести до ладу робоче місце.

13.10 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

- загоряння горючих матеріалів;
- ураження електричним струмом.

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

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

13.11 Загальні положення

13.11.1 Дана інструкція призначена для працівників кафедри МОПШ і студентів при роботі на персональному комп'ютері, приладах і другом електрообладнанні, розташованому в лабораторіях кафедри.

13.11.2 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.

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

13.12 Вимоги безпеки перед початком роботи

13.12.1 Одягнути спецодяг.

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

13.13 Вимоги безпеки під час виконання роботи

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

13.13.2 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.

13.14 Вимоги безпеки після закінчення роботи

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

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

13.15 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

- загоряння горючих матеріалів;
- поразка електричним струмом.

13.15.2 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;
- приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння;
- гасити електрообладнання і дроти водою забороняється.

14. ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи:

- ознайомився зі способами псевдозрідження сипких матеріалів;
- розроблена експериментальна установка апарату з псевдозрідженим шаром;
- розроблений план проведення експерименту;
- провели експерименти та обробили результати експериментів;
- на основі критеріальних рівнянь визначили основні параметри пілотної установки;
- розроблена загальна технологічна схема с пілотною установкою;
- визначили оптимальні параметри пілотної установки реактора із псевдозрідженим шаром каталізатора;
- провели розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів реактора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи наукових досліджень: конспект лекцій / укладач Е. В. Колісніченко. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 83 с.
2. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения: учебник для вузов / В. В. Кузьмин, 2008. - 279 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. Расчеты аппаратов кипящего слоя, под ред. И. П. Мухленова, Б. С. Сажина, В.Ф. Фролова, Л., 1986. – 352 с.
6. Реакторы с псевдоожигенным слоем зернистого катализатора. Студопедия [Электронный ресурс]. – <https://studopedia.info/7-93610.html>
7. Гельперин Н. И., Айнштейн В. Г., Кваша В. Б., Основы техники псевдоожигения, М., 1967. – 664 с.
8. Н.А. Галактионова, Промышленная экология: Учебное пособие для студентов заочного отделения / Международный независимый эколого-политологический университет, 2002. – 235 с.
9. Обечайки и днища химических производств. Реммаш групп [Электронный ресурс]. – <https://remmg.ru/>
10. Опоры вертикальных и горизонтальных аппаратов: Метод. указ. / Сост. В.Б. Коптева. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005 - 24 с.
11. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища: / Укл. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Навч. посібник. – Луганськ: Вид-во Східноукр.

нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2005. – 310 с., 56 іл., 42 табл., 33 бібліогр назв.

12. Розрахунок на міцність обичайок і днищ посудин та апаратів від дії опорних навантажень: навчальний посібник/ І. М. Генкіна, В. В. Іванченко, Д. О. Куліков, В. Г. Табунціков, Г. В. Тараненко, Ю. М. Штонда. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – 97 с., 33 іл., 10 бібліогр. назв.

13. Вибір опор вертикальних апаратів. Методичні вказівки до практичних занять, курсового проектування з дисциплін „Розрахунок і конструювання типового устаткування”, „Устаткування підприємств хімічної та нафтопереробної промисловості”, „Обладнання хімічних виробництв” та дипломного проектування (для студентів спеціальностей 6.090220, 7.090220, 8.090220 – обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів)/ Уклад. О.І. Барвін, В.В. Іванченко, І.М. Генкіна, В.Г. Табунціков, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. – Сєвєродонецьк, 2007. – 29 с.