

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему «Дослідження перемішування газорідинної суміші з розробкою самоусмоктуючої мішалки з заокругленою вхідною кромкою»

105 с., 6 табл., 29 рис., 1 дод., 52 джерел.

САМОУСМОКТУЮЧА МІШАЛКА, ГАЗОРІДИННИЙ РЕАКТОР,
СИСТЕМА ГАЗ-РІДИНА, КОЕФІЦІЄНТ ВИТРАТИ

Об'єкт дослідження – самоусмоктуючі мішалки.

Мета роботи – узагальнення теоретичних і експериментальних даних, що відносяться до перемішування газорідинних сумішей і розробка самоусмоктуючої мішалки з заокругленою вхідною кромкою.

Розроблений експериментальний стенд для випробувань самоусмоктуючих мішалок та лабораторна схема для випробувань лабораторних моделей для вивчення процесу витікання рідини через отвори в боковій поверхні. Виявлено зв'язок коефіцієнта витрати з геометричними параметрами основних вузлів мішалки, залежність цієї величини від конфігурації входу в порожнисту лопать мішалки.

Результати досліджень показали, що конфігурація вхідного отвору впливає на пропускну спроможність лабораторних пристроїв; виявлено, що кут скосу вхідної вертикальної кромки впливає на пропускну спроможність випробовуваного лабораторного пристрою. Отримані результати дали можливість зробити зміни в конструкції самоусмоктуючих мішалок.

Ці дослідження процесу перетікання рідини із ротора мішалки в порожнину лопаті та одержані результати випробувань можуть бути використані при конструюванні самоусмоктуючих мішалок.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	5
Вступ	7
Розділ 1. Аналітичний огляд.....	9
1.1 Загальні положення про апарати з мішалками	9
1.2 Класифікація апаратів з мішалками	9
1.3 Реактори з механічним диспергуванням газу в рідині (група РМ).....	10
1.4 Принцип роботи самоусмоктуючих мішалок	13
1.5 Конструктивні особливості апарату	14
1.6 Гідродинаміка в реакторах з механічним диспергуванням газу.....	16
1.7 Теплообмін при механічному диспергування газу в рідині.....	20
1.8 Масообмін в системі газ-рідина при механічному перемішуванні	21
1.9 Механічний розрахунок полів валів самоусмоктуючих мішалок	23
Розділ 2. Експериментальна частина	30
2.1 Опис схеми дослідної установки та апарату з самоусмоктуючими мішалками.....	30
2.2 Методика дослідження продуктивності самоусмоктуючої мішалки	34
2.3 Методика визначення середнього газовмісту в апараті з самоусмоктуючими мішалками.....	39
2.4 Опис експериментальної установки для вивчення гідродинаміки витікання рідини та дослідних лабораторних пристроїв	42
2.5 Випробування витратних характеристик при витіканні рідини із отвору на боковій поверхні.....	44
Розділ 3. Розрахунки на міцність.....	56
3.1 Визначення розрахункових параметрів.....	56
3.2 Розрахунок циліндричної обичайки апарата	58
3.3 Розрахунок кришки апарата.....	59
3.4 Розрахунок еліптичного днища апарата.....	60
3.5 Розрахунок обичайки апарата на зовнішній тиск.....	61

3.6 Розрахунок товщини стінки днища від зовнішнього тиску	64
3.7 Розрахунок фланцевих з'єднань	66
3.8 Визначення розмірів пристрою, що перемішує, розрахунок потужності, що потрібна для перемішування.....	71
Розділ 4. Охорона праці та техніка безпеки при проведенні науково- дослідних робіт	75
4.1 Загальні питання з охорони праці.....	75
4.2 Аналіз стану умов праці.....	80
4.3 Виробнича санітарія	82
4.4 Гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища	88
4.5 Заходи з організації виробничого середовища та попередження виникнення надзвичайних ситуацій.....	91
4.6 Техніка безпеки при проведенні науково-дослідницьких робіт	93
Висновки	96
Перелік джерел посилання	97
Додаток	101

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- D – діаметр апарату, м;
 d – діаметр самоусмоктуючої мішалки, м;
 d_c – діаметр маточини мішалки, м;
 d_o – середній діаметр пухирця газу, м;
 z – число лопатей мішалки;
 b, b_o – висота лопати мішалки, ширина каналу лопати, м;
 $n_o, n_{гс}, n$ – початкова частота обертання мішалки, гідростатична і робоча частота обертання мішалки, 1/с;
 $H, H_{ж}, \Delta H, H_{г-ж}$ – висота апарату, глибина заповнення апарату, приріст висоти шару рідини за рахунок газовміст, висота газорідинного шару, м;
 $h, h_b, h_{гс}$ – глибина занурення мішалки, середня висота газорідинного шару над мішалкою, відстань від рівня рідини до нижньої крапки каналу лопати, м;
 ω – кутова швидкість обертання мішалки, рад/с;
 ω' – приведена швидкість газу, м/с;
 R, r – радіус мішалки, довільний, м;
 ζ – коефіцієнт опору мішалки;
 $\bar{\Phi}$ – середнє газовміст в апараті, од.;
 $\bar{\Phi}_o$ – середній газовміст в кільцевому об'ємі, ометаємом лопаттю мішалки, од.;
 $\bar{\Phi}_л$ – середній газовміст в каналі лопаті од.;
 $\bar{\Phi}_п$ – середній газовміст в площині вихідного отвору лопаті од.;
 $F_{уд}$ – питома поверхня контакту фаз, 1/м;
 $f_{г}$ – площа перетину апарату, зайнята газом, м²;
 $f_{см}$ – площа вільного перетину апарату, зайнята газорідинною сумішшю, м²;
 f, f_o – площа вихідного отвору лопаті, сумарна площа перетину газових каналів, м²;

$c_{\text{равн}}$, c – рівноважна концентрація компонента, що поглинається, і його середня концентрація в розчині, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ , $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{г}}$ – щільність води; суміші в каналі лопати; газу; $\text{кг}/\text{м}^3$

μ , $\mu_{\text{п}}$, $\mu_{\text{г}}$ – в'язкість води; суміші в каналі лопати; газу; $\text{Па}\cdot\text{с}$;

$\nu_{\text{г}}$, ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, води, $\text{м}^2/\text{с}$;

σ – поверхневий натяг, $\text{Н}/\text{м}$;

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

$V_{\text{г}}$ – обсяг повітря усмоктуваного мішалкою, м^3 ;

$V_{\text{ж}}$ – обсяг рідини в апараті, м^3 ;

$\beta_{\text{об}}$ – об'ємний коефіцієнт масовіддачі, с^{-1} ;

N – потужність, Вт ;

Re – число Рейнольдса.

ВСТУП

Перемішування є дуже поширеним процесом в хімічній і суміжних з нею галузях промисловості, а також у повсякденному житті. Воно може здійснюватися в трубопроводі, через який протікає рідина, в насосі, що перекачує, на тарілці ректифікаційної колони і т.і., а також в апаратах з мішалками, призначених спеціально для цієї мети. Перемішування може протікати мимовільно, наприклад, за рахунок дифузії компонентів системи, або ж примусовим шляхом внаслідок підведення до системи ззовні механічної енергії, наприклад, за допомогою мішалок.

Термін «перемішування» означає з'єднання обсягів різних речовин з метою отримання однорідної суміші, наприклад, розчин, емульсій, суспензій і т. п.

Механічне перемішування проводиться з метою:

- створення однорідних розчинів, емульсій і суспензій;
- інтенсифікації процесів теплообміну;
- інтенсифікації процесів масообміну (чисто фізичного або в поєднанні з хімічною реакцією).

Особливо численна третя група процесів, оскільки вони можуть протікати в різних неоднорідних системах, таких як рідина-рідина, рідина-газ або рідина-тверде тіло. У цих випадках інтенсивність процесу може бути продиктована умовами створення двофазної системи - емульсії або суспензії.

Механічне перемішування проводиться в апаратах, які мають загальну назву апаратів з мішалками. В окремих випадках ці апарати можуть називатися реактором, автоклавом або, більш спеціально, нітратором, сульфатором і т. П.

У тих випадках, коли процес проводиться за участю газу, що не містить інертних домішок, тобто коли розведення свіжого газу відпрацьованим не позначається на величині рушійної сили процесу, застосовують самоусмоктуючі мішалки різних конструкцій.

Мета роботи – дослідження перемішування газорідинної суміші з розробкою самоусмоктуючої мішалки з заокругленою вхідною кромкою.

В другій половині двадцятого століття в цьому напрямку були проведені фундаментальні дослідження та розроблені нові конструкції апаратів об'ємного типу з механічним диспергуванням газового реагенту, продуктивність яких в основному залежить від діаметру та частоти обертання механічних пристроїв. Підвищення продуктивності таких апаратів приводить до збільшення їх енергоємності. В той же час питанню дослідження перемішування усмоктуючого реагенту в середині самоусмоктуючих мішалок не приділялося належної уваги. Вивчення удосконалення конструктивних елементів мішалок з метою зменшення коефіцієнту витрати на шляху руху усмоктуючих реагентів є актуальною проблемою.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні положення про апарати з мішалками

Фізико-хімічні і біологічні перетворення в гетерогенних системах газ-рідина зараз знаходять все більше застосування в різних технологічних процесах. Невід'ємною умовою успішної реалізації цих процесів в промисловості є розробка відповідної реакційної апаратури, методи розрахунку якої охоплюють питання хімічної кінетики, гідродинаміки і тепло- і масообміну.

1.2 Класифікація апаратів з мішалками

У хімічній і суміжних з нею галузях промисловості зараз з'явилося багато різних реакторів, призначених для здійснення хімічних перетворень в системах газ-рідина. У наростаючому темпі проводяться дослідження і розробка нових конструкцій цих апаратів. При такій ситуації назріла необхідність привести в певну систему все розмаїття газорідинних реакторів, що дозволило б фахівцям, що працюють в цій галузі, виступати з єдиних термінологічних позицій.

Тому, приступаючи до узагальненого опису газорідинних реакторів, ми визнали за необхідне дати їх класифікацію, підрозділивши всю розглянуту апаратуру на певні групи і типи з урахуванням принципів її дії і конструктивних особливостей.

Основним параметром, що характеризує ефективність реакторів для систем газ-рідина, є поверхня контакту фаз. Очевидно, спосіб її формування та повинен бути закладений в основу передбачуваної класифікації. Залежно від способу утворення міжфазної поверхні газорідинні реактори можна розділити на три основні групи.

1. Реактори барботажні, в яких поверхня контакту фаз утворюється при введенні газу через газорозподільні пристрої (барботери) в шар рідини (група РБ).

2. Реактори з механічним диспергуванням газу, в яких вводиться в апарат через барботер газ диспергується в рідині різними пристроями (група РМ).

3. Реактори плівкові, в яких контакт газу здійснюється з рідиною, що знаходиться у вигляді плівки на стінках апарату (група РП).

У кожній групі можуть бути апарати різних типів, що мають різне

конструктивне виконання, що, в свою чергу, визначає особливості гідродинаміки і тепломасообміну, а відповідно і умови промислового використання.

1.3 Реактори з механічним диспергуванням газу в рідині (група РМ)

При механічному перемішуванні рідини внаслідок розвиненою турбулентності досягається найбільш тонке розпилення газу, що при досить високому газозмісті створює велику питому поверхню контакту фаз і забезпечує можливість обробки неоднорідних рідин з сильно відрізняються густиною складових компонентів. Ці гідності апаратів з механічним перемішуванням газорідинних систем послужили підставою для широкого поширення їх в промисловості. В класифікацію включені два типи апаратів, конструкції яких забезпечують різне рух газорідинної суміші.

1.3.1 Реактор з мішалкою в вільному об'ємі (тип РМС).

Такий апарат (рисунок 1.1.) виконується у вигляді посудини 1 з мішалкою 2, під яку через трубу-барботер 3 вводиться газ. Найбільш ефективними пристроями для диспергування газу в рідині вважаються турбінні відкриті мішалки з прямими і вигнутими лопатями. Така мішалка створює в апараті два циркуляційних контури газорідинної суміші (над мішалкою і під нею). Пропускна здатність по газу реакторів з мішалкою в вільному обсязі обмежена режимом захлебівання, коли при досягненні деякого витрати газу, що подається в апарат, надмірне його кількість не диспергується в рідині, а, огинаючи мішалку, піднімається вгору вздовж вала. При перемішуванні найбільш ефективними турбінними мішалками відкритого типу цей режим настає при швидкості газу у вільному перетині апарата 0,05-0,1 м / с.

Витрата рідини визначається часом її перебування в апараті, що забезпечує задану ступінь перетворення речовини в рідкій фазі.

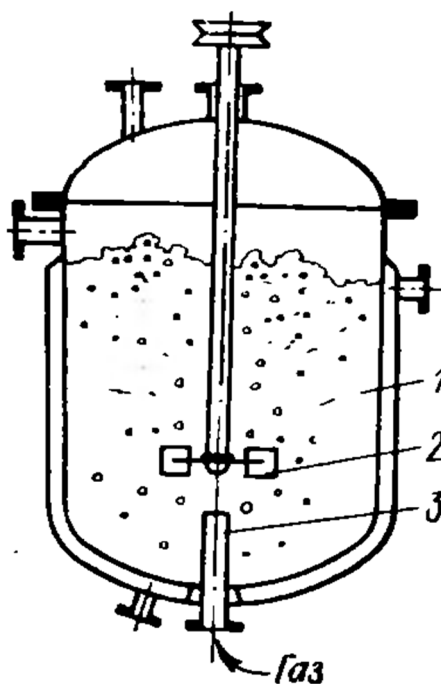


Рисунок 1.1 – Реактор з мішалкою в вільному об’ємі (тип РМС)

Теплообмінними елементами у реакторах типу РМС служать стінки судини, укладені в сорочки, або змійовики, встановлені усередині апарату. При проведенні реакцій з великим тепловим ефектом в апаратах великого обсягу буває недостатньо теплообмінної поверхні сорочки і змійовиків. В цьому випадку встановлюють додаткові виносні теплообмінники, через які циркулює реакційна рідина, що перекачується насосом.

При математичному моделюванні реактори з мішалками розглядають як апарати ідеального змішування, але фізичне їх моделювання поки що не відпрацьовано. Практика показала, що при переході від малої моделі до промислового апарату спостерігається зниження його ефективності.

Основним конструктивним недоліком реакторів з мішалками є необхідність герметизації вузла введення вала мішалки в апарат. Цей вузол значно погіршує експлуатаційну надійність реактора, особливо при роботі з високими тисками. Для підвищення надійності роботи вузла ущільнення в якості приводу використовують герметичні електродвигуни з екранує гільзою.

1.3.2 Реактор з мішалкою в циркуляційному контурі (тип РМЦ).

Цей апарат (рисунок 1.2) має герметичний електропривод 1, встановлений на кришці посудини 2. Гвинтові мішалка 3, розміщена у вузькій частині центральної труби 4, створює інтенсивну циркуляцію рідини. Ізотермічні умови реакції забезпечуються введенням теплоносія в сорочку 5. Газорідинна суміш заповнює весь об'єм посудини 2, а газ виводиться з виносного сепаратора 6.

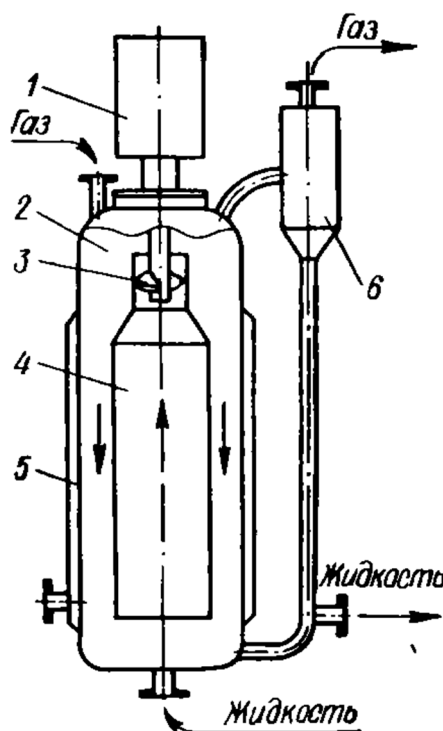


Рисунок 1.2 – Реактор з мішалкою в циркуляційному контурі (тип РМЦ)

Диспергування газу відбувається як в зоні мішалки (за рахунок безпосереднього впливу її лопатей на газові бульбашки), так і в циркуляційному контурі (за рахунок турбулентних пульсацій рідини). Тому в таких апаратах вдається отримати найбільшу питому міжфазну поверхню системи газ-рідина. Висока швидкість циркулюючої рідини, що досягає 3 м / с, дозволяє обробляти в них неоднорідні системи з великою різницею щільності фаз. Пропускна здатність апарату по газу визначається граничним значенням газозмісту системи, при якому відбувається зрив роботи мішалки. Це настає при наведеної швидкості газу в центральному склянці 0,2-0,3 м / с.

Теплообмінними елементами у реакторі з циркуляційним контуром можуть

бути стінки судини, укладені в сорочку, і центральний стакан, виконаний з кільцеподібне розташованих вертикальних труб, з'єднаних один з одним пластинами-перемичками.

Оскільки питома теплова поверхня таких теплообмінних елементів зменшується зі збільшенням обсягу апарату, в великогабаритних реакторах не вдається проводити реакції з великим тепловим ефектом.

Реактори з мішалкою в циркуляційному контурі вважаються найбільш ефективними апаратами для проведення хімічних перетворень в системах газ-рідина. Однак внаслідок складності конструкції, особливо вузла герметизації ротора приводу вала мішалки, низького к. к. д. Електродвигуна з екранує гільзою і обмежень по зніманню тепла апарати великої місткості поки не набули широкого поширення в промисловості.

1.4 Принцип роботи самоусмоктуючих мішалок

У тих випадках, коли процес проводиться за участю газу, що не містить інертних домішок, тобто коли розведення свіжого газу відпрацьованим не позначається на величині рушійної сили процесу, застосовують самоусмоктуючі мішалки різних конструкцій. Принцип дії таких мішалок зрозумілий з рисунка 1.3.

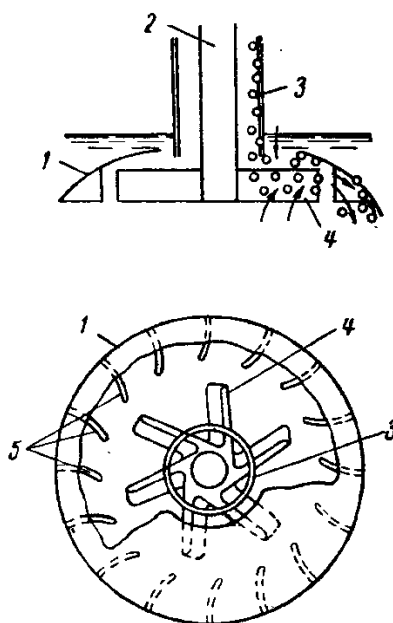


Рисунок 1.3 – Самоусмоктуюча мішалка:

1 – статор; 2 – вал; 3 – труба-дифузор; 4 – гребна лопать; 5 – лопатки.

Засмоктування газу по порожньому валу мішалки відбувається завдяки розрідженню, яке виникає на периферії обертається лопаті. У кільцеву щілину, утворену трубою-дифузоров і статором, також засмоктується рідина.

Порівняльна оцінка ефективності ряду конструкцій мішалок для системи газ-рідина показує, що самоусмоктуюча мішалка при відносно невисокому значенні коефіцієнта масопередачі (навіть у порівнянні з лопатевою і дисковою мішалками) вигідно відрізняється від інших типів подібних пристроїв відносно малим витратою енергії при одній і тій же мірі збільшення коефіцієнта масопередачі.

Недоліком самоусмоктуючих мішалок є швидке зниження обсягу засмоктуваного газу зі збільшенням глибини занурення мішалки.

1.5 Конструктивні особливості апарату

Для апаратів типу РМС найбільш ефективною вважається відкрита турбінна мішалка з подачею газу безпосередньо під неї з одиночного сопла. Висота розташування мішалки над дном судини h істотно впливає на ефективність масопередачі не робить, якщо $h = (0,2-0,5) H_{ж}$, де $H_{ж}$ - висота шару рідини в апараті. Чи не відчувається помітної зміни швидкості абсорбції газу і при установці на одному валу двох або кількох мішалок. На швидкості процесу сильно позначається наявність в апараті відбивних перегородок. Коефіцієнт масопередачі в рідкій фазі зростає приблизно в два рази при установці трьох або чотирьох перегородок шириною $0,1D$, де D - діаметр судини.

Останнім часом широко рекламувалися зважених турбоежекторні мішалки, ефективність яких в апаратах невеликих обсягів, згідно з дослідженнями, виявилася досить високою. Однак промислова їх перевірка на ферментерах великої місткості не дала очікуваного ефекту. Був запропонований спосіб перемішувати рідину у великому обсязі мішалкою малого діаметра, що здійснює подібно гіроскопа процесійний рух. Проведені Мильченко порівняльні дослідження окислення сульфіту натрію самоусмоктуючої мішалкою зі звичайним і процесійним рухом показали, що в обох випадках об'ємний коефіцієнт масопереносу однаковий.

Реактори типу РМЦ, на відміну від апарату, зображеного на рисунок 1.2, мають нижній привід (рисунок 1.4). Таке розташування приводу дозволяє

зменшити консоль вала гвинтовий мішалки, спростити монтаж і обслуговування, а також вести процес при порівняно низькому коефіцієнті заповнення реактора рідиною, що особливо важливо при великому газовмісті системи ($\varphi_r = 20\%$). Герметичне виконання приводу з екранованим електродвигуном 1 полегшує роботу апарату при високому тиску і гарантує від попадання в нього сторонніх домішок.

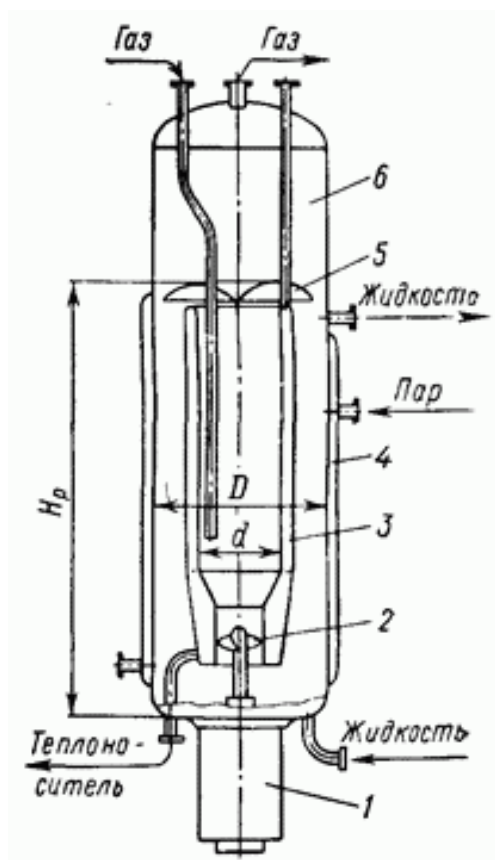


Рисунок 1.4 – Реактор з мішалкою в циркуляційному контурі

Гвинтові насос-мішалка 2 створює в апараті високі швидкості циркуляції, при яких газ у вигляді дрібних і порівняно однорідних бульбашок рівномірно розподіляється у всьому об'ємі рідини. Мішалка розміщена в нижній, звуженій частині центральної труби 3, в порожні стінки якої подається теплоносій. В останніх конструкціях теплообмінник виконується з вертикальних труб малого діаметра, з'єднаних один з одним пластинами-перемичками і об'єднаних вгорі і внизу кільцевими колекторами. Крім того, апарат має сорочку 4, куди подається пар для розігріву реакційної маси в пусковий період.

У верхній частині реактор має сепараційний простір 6, відокремлене від

робочого об'єму парасолькою 5, напрямних висхідний потік рідини з центральної труби 3 в кільцевий простір.

Висота робочої частини реактора $H_p = (3-6) D$. Оптимальним з точки зору витрат енергії на циркуляцію рідини вважається відношення $d/D = 0,62$. При цьому умови питома поверхня теплообмінної камери 3 (віднесена до обсягу рідини в апараті) становить приблизно $4-5 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

1.6 Гідродинаміка в реакторах з механічним диспергуванням газу

Газозміст системи. В апаратах типу РМС газ вводиться під мішалку. Обтікаючи диск відкритої турбінної мішалки, він зривається у вигляді шлейфів з її лопаток, і в подальшому бульбашки газу дробляться до стійких розмірів в турбулентному потоці рідини. З цього випливає, що діаметр бульбашок, що досягає при інтенсивному перемішуванні 1-2 мм, а отже, і їх питома поверхня не залежать від способу введення газу в апарат. При розрахунку газосодержання системи, перемішуємо турбінними мішалками, користуються зазвичай двома рекомендаціями. Для чистих рідин, що не містять ПАВ та інших домішок

$$\varphi_{\Gamma} = \left(\frac{\omega_{\Gamma} \cdot \varphi_{\Gamma}}{u_{\Pi}} \right)^{1/2} + 0,0216 \frac{E^{0,4} \cdot \rho_{\text{ж}}^{0,2}}{\sigma^{0,6}} \left(\frac{\omega_{\Gamma}}{u_{\Pi}} \right)^{1/2} \quad (1.1)$$

де $E = N/v_x$ – потужність, що витрачається на перемішування, віднесена до обсягу рідини в апараті.

Структурно рівняння (1.1) пов'язує значення φ_{Γ} , при простому барботаже, коли $N = 0$, і при перемішуванні. Однак його практичне використання ускладнене необхідністю попереднього розрахунку потужності, що витрачається на перемішування.

Простіший метод визначення газозмісту був запропонований Сойфером і Кафаровим. При перемішуванні газорідинної суміші шестилопатевою турбінною мішалкою в посудині з відбивними перегородками шириною $b = 0,08D$

$$\varphi_{\Gamma} = C \cdot A^m \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \quad (1.2)$$

де A, C коефіцієнти;

κ_1 – коефіцієнт, що враховує в'язкість робочої рідини;

κ_2 – коефіцієнт, що враховує діаметри посудини D і мішалки d_M ;

κ_3 – коефіцієнт, що враховує висоту h розташування мішалки над дном посудини:

$$A = \left(\frac{V_{\Gamma} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot n}{\sigma} \right)^{0,21 \cdot n \cdot \sqrt{d_M}} \left(\frac{H}{D} \right)^{0,4} \quad (1.3)$$

$$\kappa_1 = 10^{0,003 \left(1 - \frac{\mu}{\mu_B} \right)} \quad (1.4)$$

$$\kappa_2 = 0,413 \left(5,43 - \frac{D}{d_M} \right) \quad (1.4)$$

$$\kappa_3 = f \cdot \left(\frac{h}{D} \right) \quad (1.5)$$

де μ_B – в'язкість води при 20°C . Значення C, m і κ_3 – табличні величини

Для розрахунку газовмісту в апаратах типу РМЦ поки немає надійних рекомендацій. При дослідженні реакторів із замкнутим об'ємом, тобто без протоки газової і рідкої фаз, величина φ_{Γ} визначається обсягом залитої в нього рідини. При безперервної подачі рідини і газу об'ємна частка останнього буде залежати від умов перемішування, що детально поки ще не вивчено. Тому при описі різних явищ в РМЦ користуються витратним коефіцієнтом газосодержання

$$\beta = \frac{\omega_{\Gamma}}{\omega_{\Gamma} + \omega_{\text{ж}}} \quad (1.6)$$

де ω_{Γ} і $\omega_{\text{ж}}$ – наведені швидкості газу і рідини в центральній трубці реактора.

Потужність перемішування газорідних систем. Експериментальні дані по потужності, що витрачається на перемішування газорідних систем в апаратах типу РМС, свідчать про її зменшенні з ростом газосодержання або обсягу газу, що вводиться в апарат. Тому з точки зору вибору приводу мішалки ці відомості не мають особливої цінності, так як потужність повинна бути розрахована на умови перемішування гомогенної рідини. Енерговитрати на перемішування газорідної суміші можуть служити, наприклад, мірою дисипації енергії для оцінки динамічної швидкості і умов теплообміну, в зв'язку з чим рекомендації для розрахунку зазначеної потужності становлять певний інтерес.

Грунтовні дослідження в цьому напрямку були проведені Сойфером і Кафаровим. Перемішування різних рідин ($\rho_{ж} = 880\text{--}1270 \text{ кг/м}^3$; $\sigma = 0,03\text{--}0,09 \text{ Н/м}$; $\mu_{ж} = 0,001\text{--}0,125 \text{ Па}\cdot\text{с}$) дволопатевою мішалкою в посудині діаметром $D = 240 \text{ мм}$, що має відбивні перегородки, вивчалось при витратах газу до $V_{Г} = 3 \text{ м}^3/\text{год}$ і $n=1,67\text{--}16,70 \text{ об/с}$. Потужність N на перемішування газорідної суміші оцінювалася загальноприйнятим ставленням $N/N_{ж}$, де $N_{ж}$ – потужність перемішування гомогенної рідини. Це відношення зменшується зі збільшенням фактора продуктивності $V_{Г} = (n \cdot d_m^3)$ до моменту захлебівання мішалки, коли надмірна кількість газу не диспергується в рідині, а, огинаючи мішалку, піднімається вгору вздовж її валу. У результаті обробки дослідних даних запропоновано розрахункове рівняння

$$N/N_{ж} = C \cdot A^m \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \quad (1.7)$$

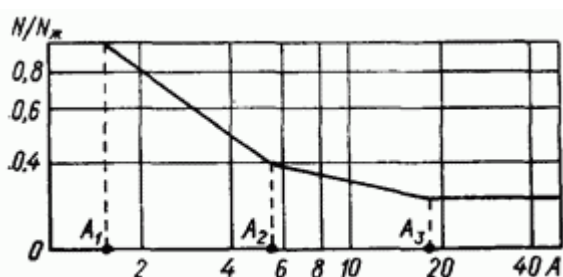


Рисунок 1.5 – Потужність при перемішуванні газорідної суміші.

В апаратах типу РМЦ потужність

$$N = \Delta\rho V_{\text{ж}} \quad (1.8)$$

де $\Delta\rho$ – опір циркуляційного контуру;
 $V_{\text{ж}}$ – витрата рідини через центральну трубу.

Опір циркуляційного контуру, тобто різниця тисків над і під гвинтовий мішалкою рекомендується розраховувати за наступними рівняннями:

при $\varphi_{\text{г}} = 0-0,15$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{см}} \omega_{\text{ж}}^2} = 27,9 \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot d^2} \right)^{0.19} \quad (1.9)$$

при $\varphi_{\text{г}} = 0,15-0,4$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{см}} \omega_{\text{ж}}^2} = 366 \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot d^2} \right)^{0.19} \cdot \beta^{1.47} \quad (1.10)$$

Ці рівняння експериментально перевірені на системах, рідини яких мали такі властивості: $\rho_{\text{ж}} = 998-1600 \text{ кг/м}^3$; $\nu_{\text{ж}} = (1-1,35) 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\sigma = 0,03-0,072 \text{ Н/м}$.

Витрата рідини $V_{\text{ж}}$ залежить від конструкції гвинтових мішалки і визначається положенням робочої точки, тобто точки перетину характеристик насоса-мішалки і мережі - циркуляційного контуру.

1.7 Теплообмін при механічному диспергування газу в рідині

В роботі [5] було показано, що за допомогою напівемпіричної теорії турбулентного перенесення можна узагальнити різні випадки конвективного теплообміну. Це дає право вважати можливим визначення коефіцієнта тепловіддачі до стінки теплообмінного елемента від газорідинної суміші. Однак необхідність знаходження на проміжних стадіях таких величин, як потужність перемішування, газосодержание, динамічна швидкість, робить цей метод розрахунку не виправдано громіздким. Причому наростання можливих помилок на проміжних стадіях розрахунку, неминучих при використанні емпіричних рівнянь,

може дати значення коефіцієнта тепловіддачі з великою похибкою. У зв'язку з цим більш надійними слід в даному випадку визнати емпіричні рівняння, отримані при безпосередньому вивченні теплообміну.

З останніх даних стосовно шестилопатевої турбінним мішалок можна рекомендувати наступні рівняння:

при тепловіддачі від стінки судини, укладеного в сорочку

$$Nu = \alpha D / \lambda = 1,35 Re^{0,59} \cdot Pr^{0,33} \cdot (v_{ж} / v_{ст})^{0,14} \cdot Fr^{-0,1} \quad (1.11)$$

при тепловіддачі до змішувача, розміщеному в посудині,

$$Nu = \alpha D / \lambda = 0,87 Re^{0,64} \cdot Pr^{0,33} \cdot (v_{ж} / v_{ст})^{0,14} \cdot Fr^{-0,1} \quad (1.12)$$

Ці рівняння отримані на основі експериментальних даних при перемішуванні в судинах з діаметрами $D = 230$ мм і $D = 700$ мм води, трансформаторного масла і масла «Claus 33»; швидкість барботують повітря змінювалася від 0,02 до 0,083 м/с. Що увійшли в них критерії варіювалися в таких межах:

$$Re = \frac{d_M}{v_{ж}} (d_M \cdot n + 4\omega_r) = 10^3 \div 5 \cdot 10^5 ; \quad (1.13)$$

$$Pr = 2 \div 226 ; \quad (1.14)$$

$$Fr = \frac{n^2 \cdot d_M}{g} = 0,008 \div 0,53 \quad (1.15)$$

1.8 Масообмін в системі газ-рідина при механічному перемішуванні

Незважаючи на те, що дослідження масообміну в апаратах типу РМС присвячено дуже багато робіт, надання рекомендацій з цього упевненістю якусь залежність для розрахунку цього процесу дуже важко. Якщо проаналізувати залежності об'ємного коефіцієнта масопередачі від частоти обертання мішалки і

швидкості газу, що надходить в реактор, звівши їх до пропорційності виду

$$\beta_{ж} a \propto n^b \cdot \omega_{г}^c \quad (1.16)$$

то рівняння, які зустрічаються в літературі дають значення $b = 0,7-3$ і $c=0,4-1$.

Основною причиною такої розбіжності є питома міжфазна поверхня, яка в основному і залежить від умов перемішування. Дослідження показують, що поверхневий коефіцієнт масопередачі не залежить ні від частоти обертання мішалки, ні від газосодержання. Однак і тут спостерігається велика різниця коефіцієнтів $\beta_{ж}$. При оцінці поверхні масообміну хімічним методом було отримано $\beta_{ж} = (4-7) 10^{-2}$ м/с; а при її розрахунку по газозміст та середнім розміром бульбашок $\beta_{ж} = (4-5) 10^{-4}$ м/с, причому в останньому випадку діаметри газових бульбашок $d_n = 0,07-0,35$ мм було явно заниженими. Значення $\beta_{ж}$, отримані хімічним методом, ймовірно, найбільш реальні. Використання цього методу дозволило узагальнити коефіцієнти масопередачі для різних систем одним рівнянням

$$\frac{\beta_{ж} \cdot d_{п}}{D_{ж}} = 0,33 \left(\frac{n \cdot d_{п} \cdot d_{м}}{v_{ж}} \right)^{0,6} Sc^{0,5} \quad (1.17)$$

Вибір методики розрахунку масообміну в апаратах типу РМЦ не викликає ускладнень, так як є дослідження Осипова. При оптимальному відношенні $d/D=0,62$ (див. рис. 1.4) він рекомендує визначати об'ємний коефіцієнт масопередачі за наступними рівняннями:

при $\beta = 0,05-0,15$

$$\frac{\beta_{ж} \cdot a \cdot d_B^2}{D_{ж}} = 0,95 \left(\frac{n \cdot d_B^2}{v_{ж}} \right)^{1,55} \cdot Sc^{0,5} \left(\frac{\rho_{ж} \cdot v_{ж}^2}{\sigma \cdot d_B} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{s}{d_B} \right)^{1,07} \quad (1.18)$$

при $\beta = 0,05-0,15$

$$\frac{\beta_{\text{ж}} \cdot a \cdot d_B^2}{D_{\text{ж}}} = 0,168 \cdot \beta \left(\frac{n \cdot d_B^2}{v_{\text{ж}}} \right)^{1,55} \cdot Sc^{0,5} \left(\frac{\rho_{\text{ж}} \cdot v_{\text{ж}}^2}{\sigma \cdot d_B} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{s}{d_B} \right)^{1,07} \quad (1.19)$$

Експериментальна перевірка рівнянь (1.18) і (1.19) проводилася при окисленні повітрям сульфїту натрію при наступних умовах:

$$\frac{s}{d_B} = 0,6 \div 3 \quad (1.20)$$

$$\frac{n \cdot d_B^2}{v_{\text{ж}}} = (0,3 \div 1) \cdot 10^6 \quad (1.21)$$

де s – крок гвинта (мішалки);

d_B – діаметр гвинта.

Переходячи до оцінки ефективності механічного способу диспергування газу в рідині, слід перш за все розглянути доцільність його використання в реакторах великих обсягів. Дискусійність цього питання придбала особливо важливе значення в зв'язку з розробкою апаратів об'ємом 1000 м³ і більш.

Лабораторні дослідження кінетики окислення (за сульфїтною методикою) в реакторах невеликих обсягів типів РМС і РМЦ показали, що ці апарати по ефективності перевершують апарати барботажного типу. Дійсно, при механічному перемішуванні рідини внаслідок розвиненою її турбулентності досягається найбільш тонке розпилення бульбашок газу, що при досить високому газосодержання створює велику питому поверхню контакту фаз. Однак при збільшенні діаметра реактора D зі збереженням $D/d_M = \text{const}$ відношення окружної швидкості мішалки до відстані від її лопатей до стінок апарату, яке в якійсь мірі характеризує область поширення газових бульбашок в об'ємі рідини, змінюється пропорційно величині Re_M/D^2 . Це є однією з причин спостережуваного відносного зниження ефективності масопереносу в газорідних реакторах при збільшенні їх розмірів. На жаль, ми не володіємо достатньою кількістю даних для оцінки критерію ефективності реакторів великих обсягів з механічним диспергуванням газу. Але, ймовірно, на початковому етапі оптимізації такий аналіз можна провести за результатами досліджень апаратів малих обсягів.

Об'ємний коефіцієнт масопередачі при перемішуванні суміші турбінними

мішалками

$$\beta_{ж} a \propto \omega_{г}^{0,7} \cdot (N/\nu)^{0,7} \quad (1.22)$$

де показники ступенів при швидкості газу $\omega_{г}$ і потужності N , віднесеної до обсягу ν рідини в реакторі, прийняті середніми з восьми залежностей виду (1.22), наведених Стренком.

Потужність, що витрачається на перемішування газорідинної суміші в найбільш ефективній області, близької до режиму захлинання (рисунок 1.5), можна вважати незалежною від параметра A я прийняти $N \propto n^3 \cdot d_M^5$.

На основі цих орієнтовних даних за умов $d_M/D = \text{const}$, $\nu \sim D^3$ і незмінною при збільшенні D окружної швидкості мішалки з (1.22) отримаємо

$$\beta_{ж} a \propto (\omega_{г} / D)^{0,7} \quad (1.23)$$

Ця залежність наочно показує різке зменшення ефективності апарату при збільшенні його діаметра.

1.9 Механічний розрахунок порожнистих валів самоусмоктуючих мішалок

Подача газового реагенту самоусмоктуючих мішалок в зону реакції здійснюється за допомогою полого валу який складається з суцільнометалевого хвостовика і привареної до нього порожнистої труби. У верхній частині труби виконані отвори (круглої, квадратної, прямокутної або овальної форми) для входу газового реагенту, а до нижньої частини прикріплюється мішалка. Для запобігання змішування вихідного газового реагенту з відпрацьованим газом використовується розділовий пристрій, якій розміщено під кришкою апарату, причому вхідні отвори полого валу розташовані в просторі розділового пристрою.

Виконання отворів в стінці порожнистої труби валу може привести до неприпустимого зниження міцності, жорсткості і вібростійкості валу, тому що отвори будь-якої форми зменшують площу поперечного перетину валу. При

перемішуванні реакційної маси навантаження сприймається перемичками між цими отворами, які можуть не забезпечити умова міцності в площині перетину, що проходить через їх центри. Тому для забезпечення механічної міцності полого валу в області отворів, а з урахуванням того, що зважені ежекційні мішалки є швидкохідними, необхідно проводити розрахунки полого валу на міцність і вібростійкість.

В апаратах з пристроями, як правило, застосовуються вали, що працюють в системі жорсткий вал, і швидкість їх обертання вибирається нижче першої критичної. Враховуючи те, що зважені ежекційні мішалки відносяться до швидкохідних перемішуючим пристроїв, частоту обертання валу іноді доцільно підбирати такою, що відповідає режиму роботи валу в закритичній області, тобто в режимі гнучкого валу. При цьому виникає питання забезпечення надійної роботи таких валів. очевидно, що застосування порожнистої конструкції валу значно полегшує його масу і, як результат, впливає на величину критичної швидкості валу.

Застосування таких апаратів для перемішування газорідних середовищ високошвидкісними мішалками вимагає встановлення областей стійкого докритичного і закритичного режимів обертання системи пустотілий вал - самоусмоктуюча мішалка. При цьому ми виходили з таких припущень.

1. Перемішують середовище - суміш ньютонівських рідин з газом (повітрям) при середньому газовмісті не більше 25%.

2. У процесі дослідження розглядався закритичний режим роботи пустотілого валу з самоусмоктуючою мішалкою - тільки для консольної схеми закріплення валу.

3. Щоб уникнути аварійних ситуацій передбачити можливість застосування обмежувача коливань валу у вигляді кінцевої опори з зазором такої величини, при якій в робочих умовах обмежувач не впливає на схему закріплення.

4. Перехід через першу критичну швидкість миттєвий, що дозволяє уникнути тривалого резонансного явища.

5. Перехід через першу критичну швидкість і робота валу повинні здійснюватися тільки при заповненому рідиною апараті - обертання системи порожнистий вал - ежекційна мішалка в повітряному середовищі неприпустима.

6. При випробуваннях і експлуатації обов'язково наявність в апараті пристрою, що дозволяє запобігати утворенню центральної воронки.

Основні випробування по вібростійкості полого валу з самоусмоктуючою мішалкою проводилися на лабораторному стенді в апараті з циліндричної обичайки з органічного скла і плоскими днищем і кришкою. Діаметр апарата становить $D = 600$ мм, діаметр мішалки $d = 150$ мм, довжина полого валу $L = 700$ мм. В апараті аксіально мішалки встановлений статор з 12 лопатками, розташованими тангенціально по діаметру, більше діаметра мішалки на 20 мм. Наявність прозорого корпусу дозволило візуально спостерігати за роботою полого валу в межах швидкостей обертання $n = 100 - 1800$ об/хв.

Розрахунки на вібростійкість консольного полого валу з самоусмоктуючою мішалкою проводили аналогічно за існуючими рекомендаціями, які прийняті для розрахунку відповідних турбінних мішалок закритого типу, що працюють в закритичній області. При розрахунках виходили з того, що схема кріплення валу мішалки не допускає наявності ділянок, що з'єднуються у вигляді, наприклад, жорсткої муфти і не враховує можливості впливу обмежувача коливань в нижній частині валу.

Вал пристрою, що перемішується в його верхній частині має діаметр значно менший, ніж діаметр полого валу. Це дозволяє враховувати масу одиничної довжини суцільної частини валу приблизно такий же, як і для труби, що дозволило спростити розрахункову схему і сам розрахунок валу на вібростійкість.

Характерні розміри реальної установки і розрахункова схема валу зображені на рисунку 1.6. Завдання зводилося до перевірки надійності роботи валу з умови

$$1,3\omega_{01} \leq \omega \leq 0,7\omega_{02} \quad (1.24)$$

де ω – фактична швидкість обертання валу, рад/с;

ω_{01} – перша критична швидкість обертання валу, рад/с;

ω_{02} – друга критична швидкість обертання валу, рад/с.

Першу і другу критичні швидкості валу визначали за формулами

$$\omega_{01} = \frac{\alpha_1^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (1.25)$$

$$\omega_{02} = \frac{\alpha_2^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (1.26)$$

Коріння приватних рівнянь α_1 і α_2 визначали за відповідними графіками [5], що відповідає розрахунковій схемі на рисунку 1.6 для основного тону і першого обертопу. Геометричні характеристики - довжину валу L , мм, момент інерції поперечного кільцевого перерізу валу I , мм⁴, брали відповідно до розрахункової схемою, а модуль пружності E , МПа і масу одиниці довжини полого валу m , кг / Н, - для сталі 12Х18Н10Т.

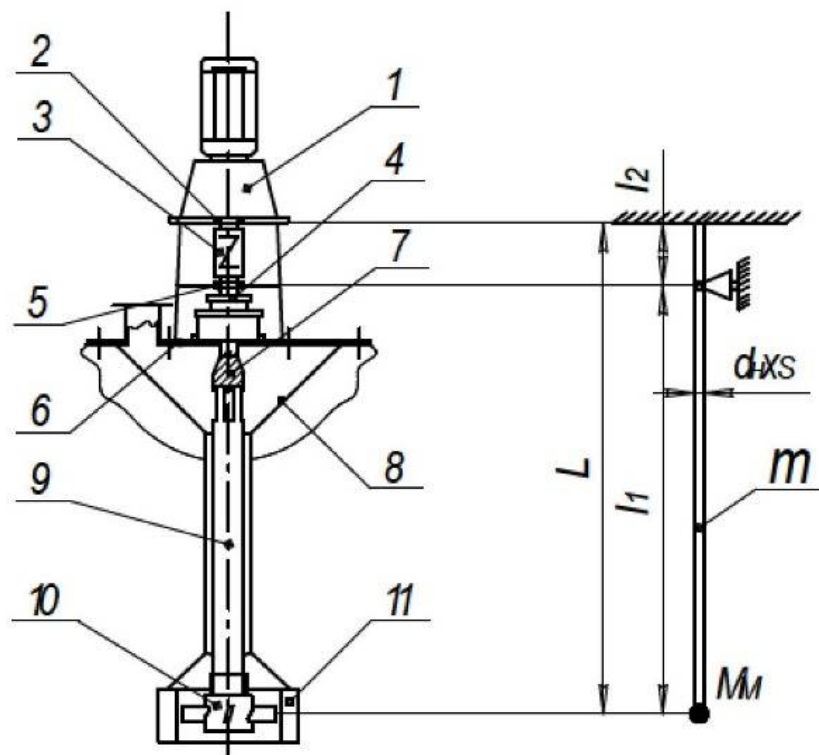


Рисунок 1.6 - Розрахункова схема консольного порожнистого валу:

1 - привід; 2 - підшипник вихідного валу приводу; 3 - жорстка муфта; 4 - ущільнення валу; 5 - підшипник проміжної опори; 6 - кришка апарату; 7 – цільно-металева частина валу; 8 - розділову пристрій для газу; 9 - порожнистий вал; 10 - самоусмоктуюча мішалка; 11 - статор для запобігання утворення воронки.

Прогини і кути поворотів в розрахункових перетинах валу і їх відповідність допускаються значенням також виконувалися за формулами вищевказаного нормативного документа [5].

Розрахунковий крутний момент на валу із пристроєм, що визначали, з урахуванням розрахункової потужності на перемішування N_m і кутової швидкості

обертання ω , по формулі

$$M_{кр} = \frac{N_m}{\omega} \quad (1.27)$$

Мінімальний діаметр суцільного валу

$$d = 1,71 \sqrt{\frac{M_{кр}}{\tau}} \quad (1.28)$$

де τ – допустима напруга на кручення для матеріалу валу, Н/м².

Відомо, що напруга крутіння в перерізі суцільного валу, перпендикулярному його осі, має максимальне значення на зовнішній поверхні валу, яке зменшується до $\tau = 0$ на осі валу, змінюючись при цьому за прямолінійним законом. Таким чином, для суцільного валу максимальна напруга кручення визначається як

$$\tau_{\max} = \frac{M_{кр} \cdot d}{2I_p} = \frac{M_{кр}}{W_p} \quad (1.29)$$

де $M_{кр}$ - крутний момент на валу, Н·м;

I_p - полярний момент інерції перерізу валу, мм⁴;

d - діаметр валу, мм;

W_p - полярний момент опору перерізу валу, мм³.

У нашому випадку вал порожнистий, крім того, він ослаблений отворами для введення газового компонента. Для визначення полярного моменту інерції ослабленого перерізу відносно його центру (осі валу) використовувалася розрахункова схема перетину, наведена на рисунку 1.7, при кількості отворів n , рівному чотирьом.

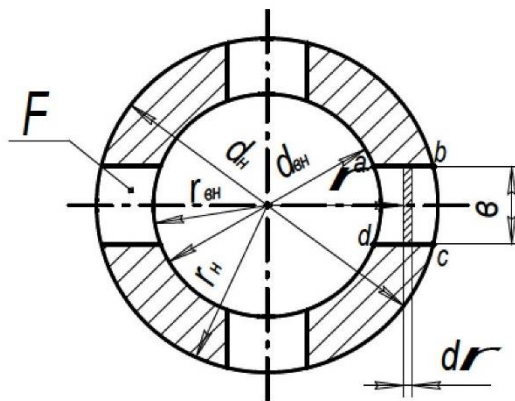


Рисунок. 1.7 – Розрахункова схема перетину полого валу

Прийнявши в допустимому наближенні, що перетин прорізів (отворів) в підлогою валу має форму прямокутника $abcd$, виділимо в ньому нескінченно малу смужку шириною d_p , тоді полярний момент зазначеного прямокутника складе

$$I_{p(abcd)} = \int_F \rho^2 dF = \int_F \rho^2 b d \rho = b \int_{r_e}^{r_n} \rho^2 d \rho = b \left. \frac{\rho^3}{3} \right|_{r_e}^{r_n} = b \frac{r_n^3 - r_e^3}{3} = b \frac{d_n^3 - d_e^3}{24} \quad (1.30)$$

Так як полярний момент інерції кільця в перерізі полого валу без прорізів

$$I_{p(\text{кільця})} = \frac{\pi (d_n^3 - d_e^3)}{32} \quad (1.31)$$

то розрахункове значення полярного моменту інерції I (заштрихована частина перетину) при $n = 4$ складе

$$I_{p(\text{розрах})} = I_{p(\text{кільця})} - 4I_{p(abcd)} = \frac{\pi (d_n^3 - d_e^3)}{32} - \frac{b(d_n^3 - d_e^3)}{6} \quad (1.32)$$

Отже, в разі використання порожнього валу максимальні напруги крутіння в зазначеному перерізі визначається по формулі

$$\tau_{\max} = \frac{M_{кр} \cdot d_n}{2I_{p(\text{розрах})}} \quad (1.33)$$

Крутний момент мішалки на валу визначали в процесі експерименту в залежності від потужності, що витрачається на перемішування. Міцність полого валу, ослабленого отворами, перевіряли за умовою

$$\frac{\tau_{\max}}{[\tau]} \leq 1 \quad (1.34)$$

тут допустиму напругу на кручення приймали

$$[\tau] = 0,6[\sigma] \quad (1.35)$$

де $[\sigma]$ - допустиме напруження на розтяг для конструкційного матеріалу труби, з якої виготовлений порожнистий вал.

Прості розрахунки показують, що порожнистий вал, виготовлений з труби 89 x 4,5 мм, при ширині прорізу $b = 25$ мм і кількості прорізів $n = 4$, еквівалентний порожньому валу без прорізів, що має товщину стінки труби орієнтовно дорівнює 2,35 - 2,4 мм. Дана конструкція валу була випробувана на дослідно-промисловій установці в апараті-сульфураторі на стадії сульфування при отриманні алкілбензосульфокіслоти. Отримані результати були використані при проектуванні промислових сульфураторов у виробництві сульфонол-НПЗ для Горлівського хімічного заводу, натомість роторнопленочних.

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Опис схеми дослідної установки та апарату з самоусмоктуючими мішалками

Перемішування в апараті об'ємного типу з самоусмоктуючою мішалкою досліджували на експериментальному стенді, схема і загальний вид апарату зображені на рисунках 2.1 та 2.2. Лабораторна модель об'ємного апарату (рисунок 2.2) представляє собою вертикальний циліндричний посуд 1, виконаний з органічного скла, з плоскими днищем 2 та кришкою 3. Дослідна модель самоусмоктуючої мішалки 4 (рисунок 2.3) закріплюється на полуму валу 5, який приводиться до обертання за допомогою електродвигуна постійної напруги. Вал 5 представляє собою складну конструкцію, яка складається з однорідної верхньої частини валу, до якої приварена трубка. Швидкість обертання мішалки контролювали за допомогою електронного числового тахометру. Кількість транзитного газу (усмоктуючого повітря мішалкою) вимірювалась газовим годинником типу ГСБ-400. З метою попередження появи вирви під час обертання мішалки, в апараті встановлено три перегородки 7 шириною 0,1 діаметра апарату. На кришці 3 апарату укріплена розподільча камера 13, яка складається з циліндричної оболонки з штуцером для подачі повітря 15. По осі кришки апарату на розподільчому пристрої змонтований підшипниковий вузол 12, в якому обертається вал 5, установлений по осі апарату. Швидкість обертання валу змінювали від 3,0 до 25,0 об/с і контролювали за допомогою електронночислового тахометру типу ТЦ-3М. Розподільча камера 13 ізольована від зовнішнього середовища і апарату за допомогою гумових манжетів 6. В зоні розподільчої камери 13 вал 5, його трубна частина має отвори 14 для проникнення повітря. Такий монтаж валу дає можливість проводити перекачування повітря в режимі самоусмоктування та проводити контроль його залежно від числа обертання валу 5. Дослідну модель самоусмоктуючої мішалки 4 (рисунок 2.3) закріплюють на торці трубки валу 5. Апарат заповнювали водою на певну висоту, яку

контролювали за допомогою міліметрової шкали.

Під час обертання самоусмоктуючої мішалки 4 повітря, що знаходиться в приміщенні лабораторії проходить через газовий лічильник 7 (рисунок 2.1), патрубок 15 (рисунок 2.2) і потрапляє в розподільчий пристрій 13 (рисунок 2.2), далі через отвори 14 поступає в трубчасту частину валу 5 і порожнину ротора самоусмоктуючої мішалки 4. Під дією відцентрових сил і розрідження, що виникає при обтіканні лопаті мішалки повітря із порожнини ротора потрапляє в порожнисті лопаті, з яких диспергує у вигляді бульбашок в перемішуваний об'єм.

Для контролю рівня рідини в апараті (рисунок 2.2) в неперервному режимі існує труба перетоку 17, закріплена в днищі апарату, а при періодичному режимі випробування апарату на поверхні обичайки розміщена міліметрівка, за допомогою якої контролюється рівень рідини в апараті та рівень газорідного шару. В процесі експерименту визначалася висота поверхні газорідної суміші над рівнем мішалки без обертання і при різних числах оборотів. В результаті диспергування газової фази в перемішуваний об'єм відбувається збільшення об'єму газорідної суміші в апараті.

Апарат може працювати в неперервному режимі по рідині. Витрату рідини під час випробування різних самоусмоктуючих мішалок контролювали за допомогою ротаметра РС-5.

Таблиця 2.1 - Діапазон вимірювання параметрів експериментальної установки

Параметри	Діапазон вимірювання
Діаметр апарату, м	0,24
Рівень заповнення апарату рідиною, м	0,2 - 0,5
Діаметр випробовуваних мішалок, м	0,08; 0,10; 0,126; 0,18
Ширина лопаті мішалки, м	0,008 - 0,018
Число лопатей мішалки, шт.	2, 3, 6
Висота розташування мішалок від днища апарату, м	0,12 - 0,17
Швидкість обертання мішалки, об/с	3-35

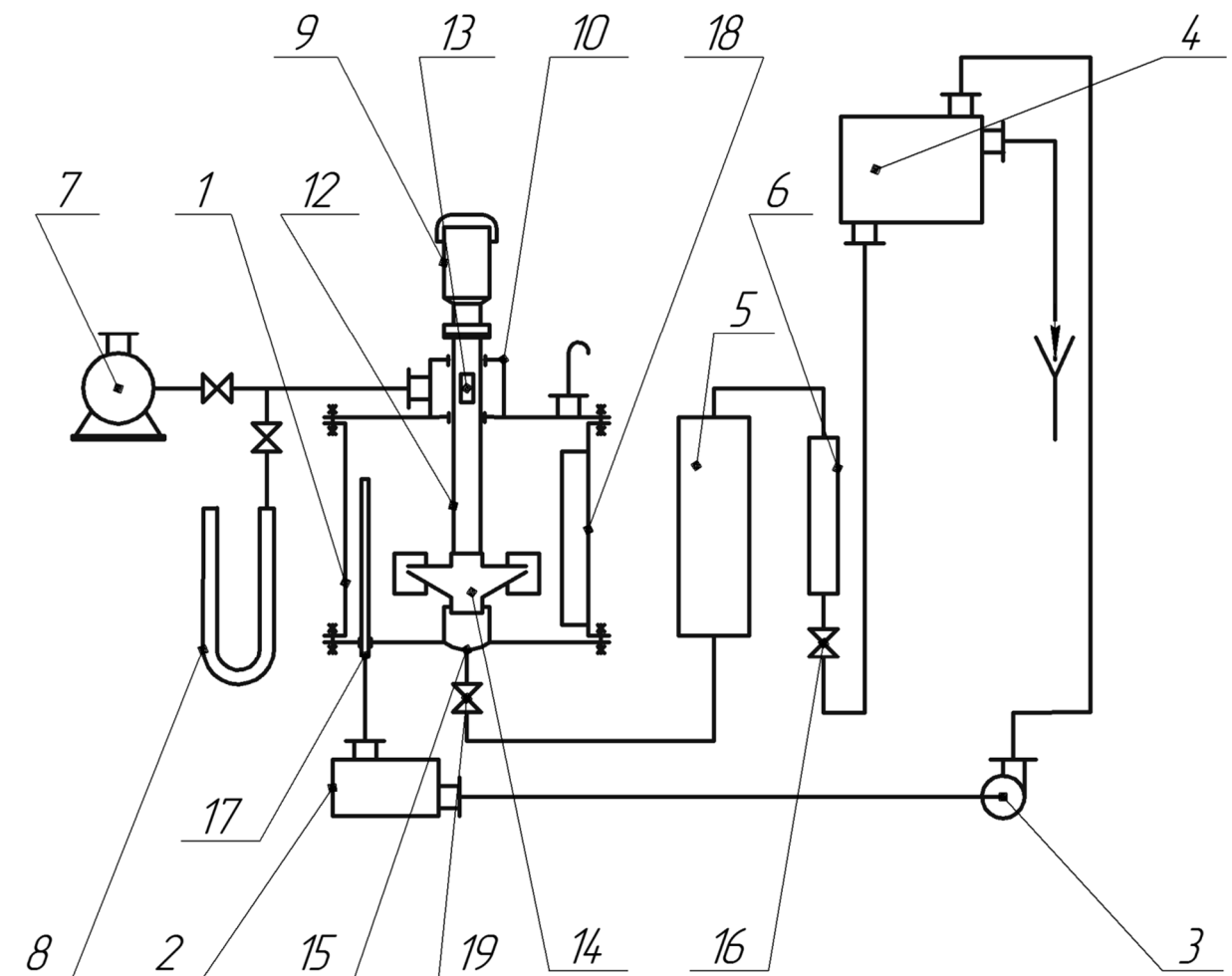


Рисунок 2.1 – Експериментальний стенд для вивчення продуктивності самоусмоктуючих мішалок: 1-апарат, 2-резервуар для зібрання рідини, 3-відцентровий насос, 4-напірний бак, 5-порівнювальна ємність, 6-ротаметр, 7-газовий годинник, 8-диференційний манометр, 9-електродвигун, 10-циліндричний стакан, 11-строботахометр, 12-порожнистий вал, 13-отвори у порожнистому валу, 14-мішалка, 15-патрубок, 16-регулюючий вентиль, 17-переливна трубка, 18-відбивна перегородка, 19-вентиль.

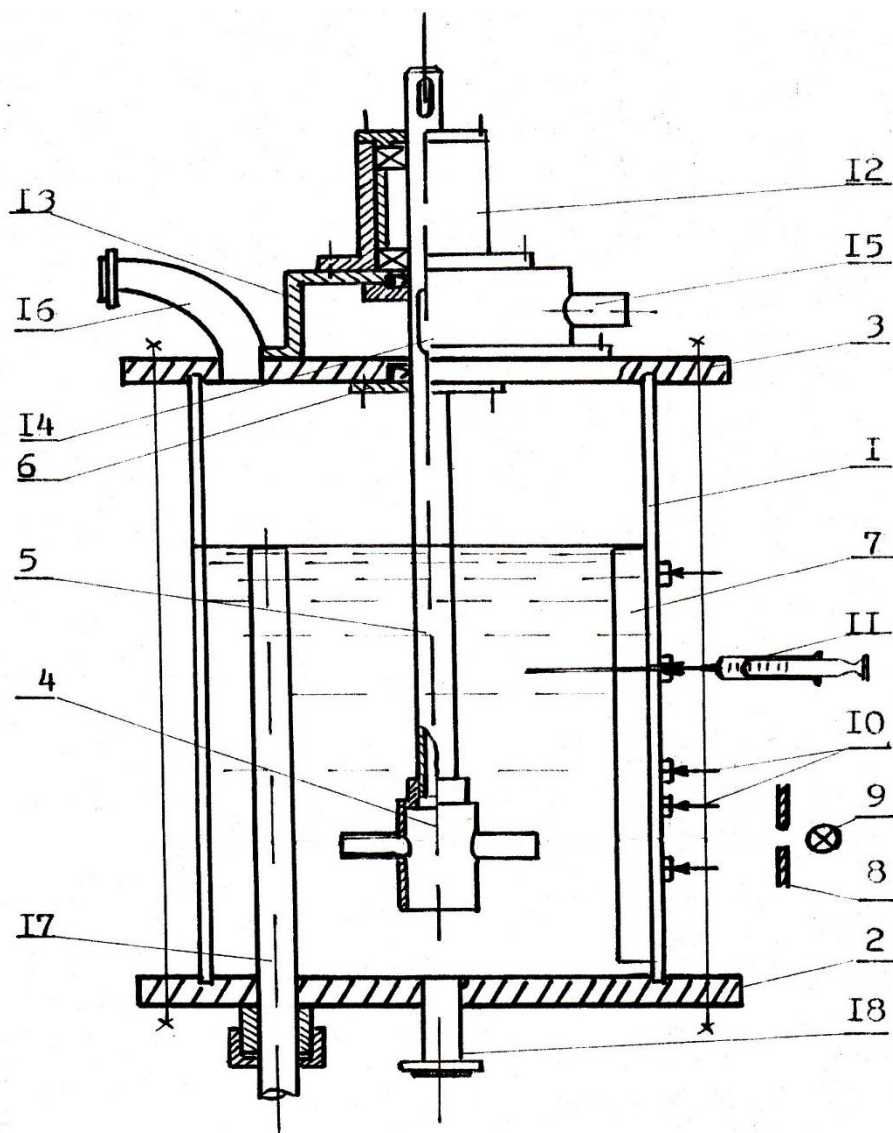


Рисунок 2.2 – Лабораторна модель об'ємного апарату з самоусмоктуючими мішалками: 1 – вертикальний циліндричний посуд; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – самоусмоктуюча мішалка; 5 – полий вал; 6 – ущільнення; 7 – відбивна перегородка; 8 – екран; 9 – джерело світла; 10 – точки відбору проб; 11 – шприц медичний з голкою-зондом; 12 – підшипниковий вузол; 13 розподільча камера; 14 – вхідний отвір в полий вал; 15,16 – вхідний та вихідний патрубки для газу або повітря; 17 – переливна труба; 18 – вхідний патрубок для рідини або води.

2.1.1 Опис роботи самоусмоктуючої мішалки

Самоусмоктуюча мішалка, яка взята за базову модель, що випробується (рисунок 2.3) представляє собою циліндричний ротор 1, з осьовими вхідними каналами 2 і 3, на яких закріплені радіальні полі лопаті 4 з вихідними отворами 5. Самоусмоктуюча мішалка під'єднується до полого валу в апараті за допомогою маточини.

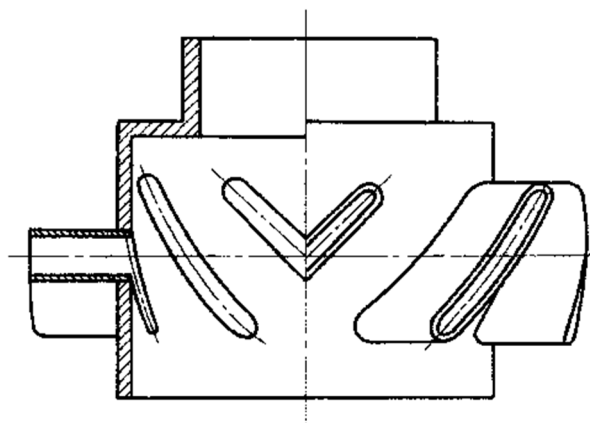


Рисунок 2.3 – Самоусмоктуюча мішалка

Мішалка працює таким чином. Самоусмоктуюча мішалка в об'ємному апараті закріплюється на торці порожнистого валу за допомогою маточини. При обертанні валу мішалки в порожнині ротора 1 утворюється розрідження, за допомогою якого через верхній канал в маточині мішалки усмоктується повітря або газовий реагент із порожнистого валу. Далі під дією відцентрових сил і розрідження, що виникає за кормовою частиною лопаті газова фаза диспергується в перемішуємій об'єм апарату.

2.2 Методика дослідження продуктивності самоусмоктуючої мішалки

Експериментальна установка працює таким чином. Змонтовану модель апарату (рисунок 2.2) із встановленою випробовуваною самоусмоктуючою

мішалкою (рисунок 2.3) приєднали до комунікацій експериментального стенду (рисунок 2.1).

Ємкість апарату заповнювали водою на певну висоту, яку регулювали за допомогою переливної труби. Включали електродвигун і поступово збільшували частоту обертання мішалки. При обертанні самоусмоктуючої мішалки за рахунок гідродинамічних особливостей обтікання лопаті перемішуваною рідиною в порожнині ротора мішалки і порожнистих лопаток створюється розрідження, за рахунок якого засмоктується повітря. При випробуваннях досліджували вплив геометричних параметрів різних конструкцій мішалок на продуктивність по газовій фазі і газовміст в апараті. Діапазон вимірювань параметрів установки і самоусмоктуючих мішалок представлений в таблиці 2.1.

Початок підсосу повітря відзначали візуально по початку розповсюдження бульбашок газу в перемішуваному об'ємі. У цей момент часу визначали частоту обертання мішалки n_0 . Далі поступово збільшували частоту обертання мішалки і визначали продуктивність самоусмоктуючої мішалки по газовій фазі за показниками газового годинника. В період випробування проводили 5-7 замірів збільшення висоти ΔH газорідинної суміші по відношенню до поверхні рідини H , яке називається середнім газовмістом $\bar{\phi}$.

$$\bar{\phi} = \frac{\Delta H}{\Delta H - H_p} \quad (2.1)$$

Відхилення частоти обертання від середнього значення складало не більше 5%. Отримані дані по продуктивності газової фази і середнього газовмісту занесені в таблицю 2.3 та приведені у вигляді графічних залежностей рисунок 2.4 і 2.5.

На рисунку 2.4 приведені дані продуктивності по газовій фазі самоусмоктуючих мішалок діаметром 0,065; 0,126; 0,168 та 0,180м з циліндричними лопатями. Моделі самоусмоктуючих мішалок випробовувались в апараті діаметром 0,24 м з трьома відбивними перегородками на глибині

занурення 0,12-0,37м.

Аналіз одержаних даних показує, що продуктивність самоусмоктуючих мішалок залежить від числа обертів, діаметра і кількості лопатей самоусмоктуючої мішалки. Спочатку із збільшенням частоти обертання мішалки від 0 до 3 об/с продуктивність самоусмоктуючої мішалки по газовій фазі не спостерігалась, далі із зростанням частоти обертання мішалки до 5 об/с в перемішуємому об'ємі з'являлися окремі бульбашки повітря і продуктивність зростала повільно. При збільшенні частоти обертання мішалки з 5 до 12,5 об/с продуктивність по газовій фазі зростає швидко і майже з лінійною залежністю. Збільшення діаметра мішалки від 0,065 до 0,18м приводить до суттєвого зростання продуктивності газового потоку в режимі самоусмоктування.

В той же час, збільшення глибини занурення мішалки в апараті приводить до зменшення продуктивності по газовій фазі. Під час випробувань мішалок було підмічено, що з появою повітряних бульбашок в перемішуючому просторі висота перемішуємого об'єму в апараті збільшується. Це відбувається за рахунок рівномірного розподілу бульбашок повітря в перемішуваний рідині - газозмісту.

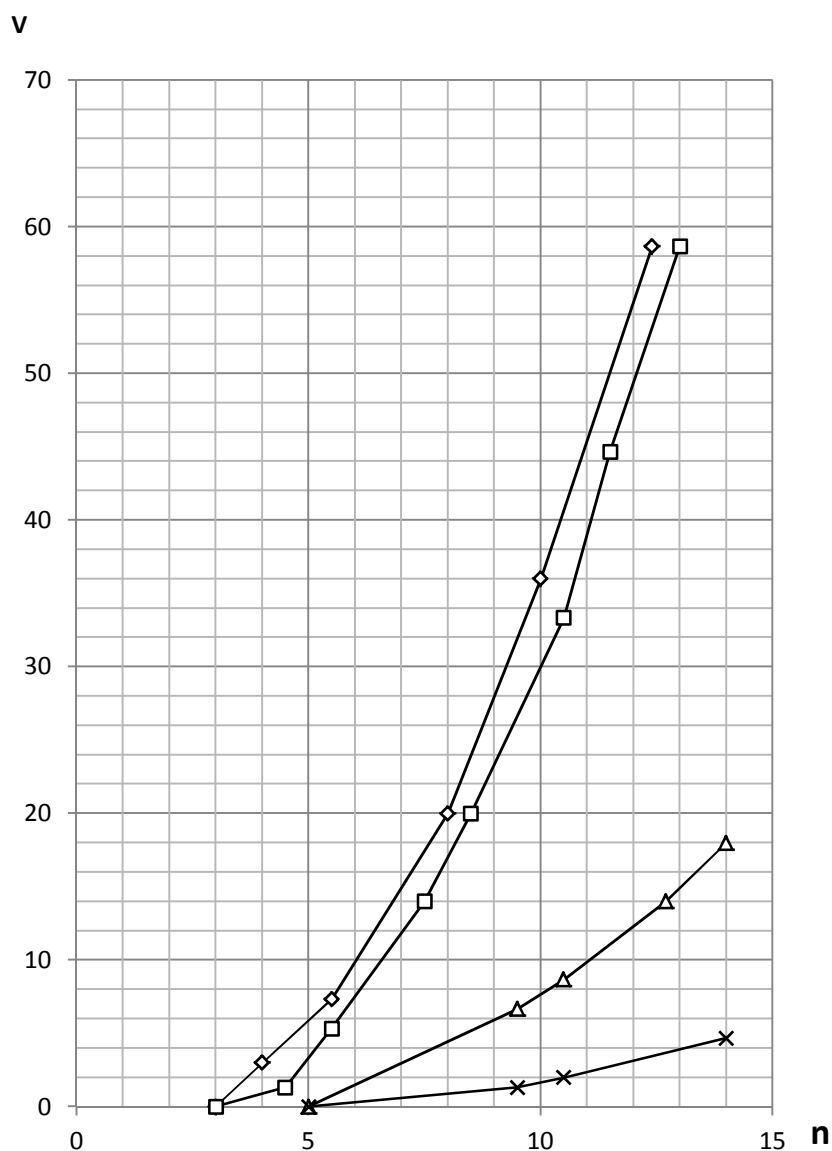


Рисунок 2.4 – Залежність продуктивності самоусмоктуючої мішалки по газовій фазі від швидкості обертання мішалки при постійній глибині занурення

Діаметр самоусмоктуючих мішалок:

◇ - $d - 0,180$ м

△ - $d - 0,126$ м

□ - $d - 0,168$ м

× - $d - 0,065$ м

Продуктивність самоусмоктуючих мішалок залежить від ступеню розрідження (надлишкового тиску), яке виникає при обертанні мішалки в рідині апарату.

На рисунку 2.5 показана залежність надлишкового тиску в середині самоусмоктуючої мішалки діаметром 0,16 м з двома циліндричними лопатями.

Надлишковий тиск, що виникає в середині самоусмоктуючої мішалки приводить до того, що повітря із розподільчого пристрою через порожнистий вал засмоктується в перемішуємій об'єм. Поступове збільшення частоти обертання самоусмоктуючої мішалки приводить до збільшення розрідження (надлишкового тиску) в середині мішалки, яке перевищує величину гідростатичного тиску стовпа рідини в апараті і втрат при перетіканні повітря в каналах мішалки. В період проведення випробувань під час появи перших бульбашок в перемішуємому об'ємі фіксували частоту обертання мішалки. Далі усмоктує повітря під дією гідродинамічних сил, що виникають в результаті дії мішалки, розподіляється у вигляді бульбашок в перемішуємій рідині, це приводить до збільшення висоти газорідного середовища в апараті.

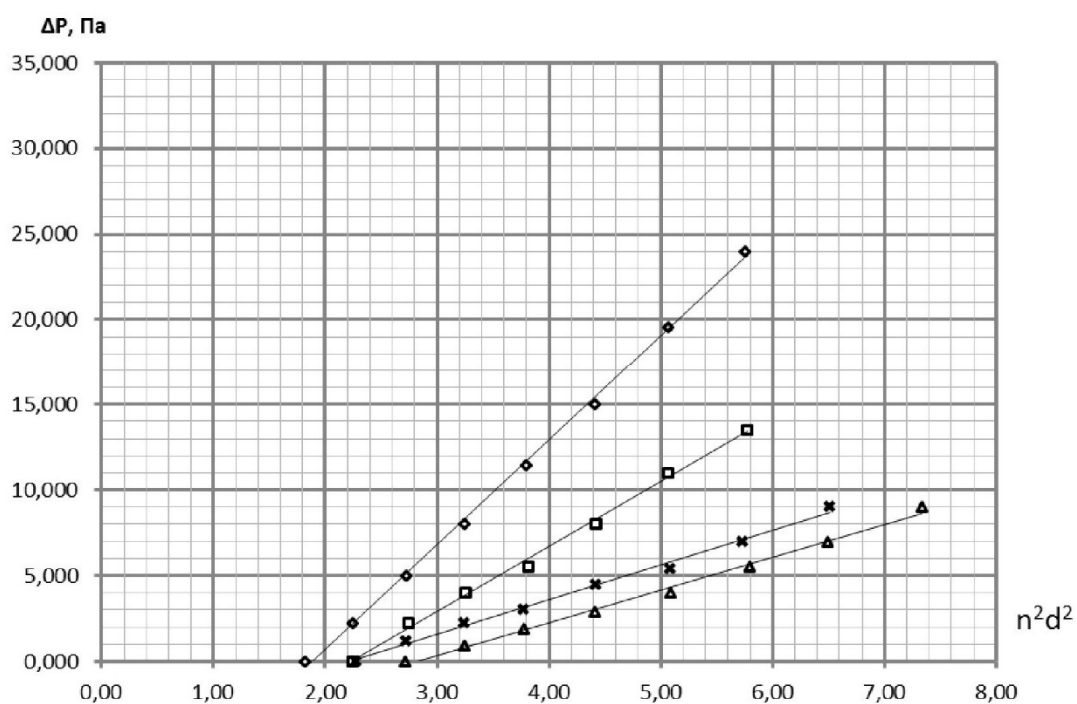


Рисунок 2.5 – Залежність надлишкового тиску в полості самоусмоктуючої мішалки від комплексу $n^2 d^2$

Глибина занурення самоусмоктуючої мішалки діаметром $d=0,18$ м:

◇ - $h=0,10$ м;

□ - $h=0,15$ м;

х - $h=0,20$ м;

Δ - $h=0,25$ м.

Дослідження з вивчення гідродинаміки проводили по 3-5 раз і отримані результати по визначенню продуктивності мішалки від частоти обертання та діаметру мішалки, середнього та локального газовмісту, а також величини початкової частоти обертання мішалки у вигляді середньозважених величин заносили в таблиці.

Аналіз отриманих експериментальних даних показує, що на продуктивність самоусмоктуючих мішалок найбільш активно впливає діаметр і частота обертання мішалки та її глибина занурення.

2.3 Методика визначення середнього газовмісту в апараті з самоусмоктуючими мішалками

Ефективність хімічних перетворень в системах газ-рідина залежить не тільки від швидкості реакції, а й від гідродинамічного стану в апараті. Основною характеристикою двофазних систем в апаратах з механічними мішалками є газовміст. Її величина необхідна для визначення об'єму апарату, розрахунку потужності і масообміну.

Висоту зростання поверхні газорідинного середовища визначали за допомогою трьох лінійок, розміщених по колу апарату під кутом 120° . В період випробувань проводили по три заміри приросту газорідинного шару по відношенню до висоти заповнення при певних числах обертання мішалки, відхилення швидкості якої не перевищувало 5%. Далі визначали середньоарифметичне значення $\bar{\phi}$, яке приймалося до уваги та заносилося до таблиць.

Отримані експериментальні дані показують, що при постійних фізико-хімічних властивостях рідини середній газовміст $\bar{\phi}$ в апараті зростає із збільшенням числа обертів та діаметру мішалки і зменшується із збільшенням глибини занурення мішалки (рисунок 2.6).

Локальний газовміст ϕ_0 визначали в різних точках апарату через отвори в

циліндричній обичайці апарату за допомогою медичного шприцу 11 (рисунок 2.2) об'ємом 100 см^3 , сполученого з зондом. Зонд представляє собою трубку діаметром 2,5мм з внутрішнім діаметром 1,8мм. Відбір проб в кількості 5-7 проб з локального газовмісту проводили при встановленій частоті обертання мішалки та постійній продуктивності по газу. Попередні випробування по визначенню швидкості відбору проби за допомогою шприца показали, що середнє значення локального газовмісту в середині шприца не відрізняється не більше ніж на 3%. Локальний газовміст ϕ_0 визначали по формулі

$$\phi_0 = \frac{100 - V_p^{III}}{100} \quad (2.2)$$

де V_p^{III} - об'єм рідини в середині шприца, см^3 .

Аналіз проведених випробувань показав, що навіть при високих числах обертання мішалки, в вертикальному перетині апарату спостерігається три зони, які відрізняються між собою різним газовмістом:

- кільцевий об'єм, утворений лопатями мішалки. В цій зоні локальний газовміст ϕ_0 значно перевищує середній газовміст $\bar{\phi}$ в апараті;
- зона розміщена в нижній частині апарату, тут спостерігається найвищий газовміст;
- зона розташована над мішалкою, вона має найкращий розподіл бульбашок повітря в перемішуемому об'ємі. На практиці в цій зоні газовміст досить близько співпадає з середнім газовмістом $\bar{\phi}$.

Також було відмічено, що величина середнього газовмісту впливає на величину насосної продуктивності, а також на величину надлишкового тиску в середині самоусмоктуючої мішалки. Про це свідчить зниження пропорційності зростання насосної продуктивності по газовій фазі при збільшенні числа обертання мішалки в межах 15-20 об/с.

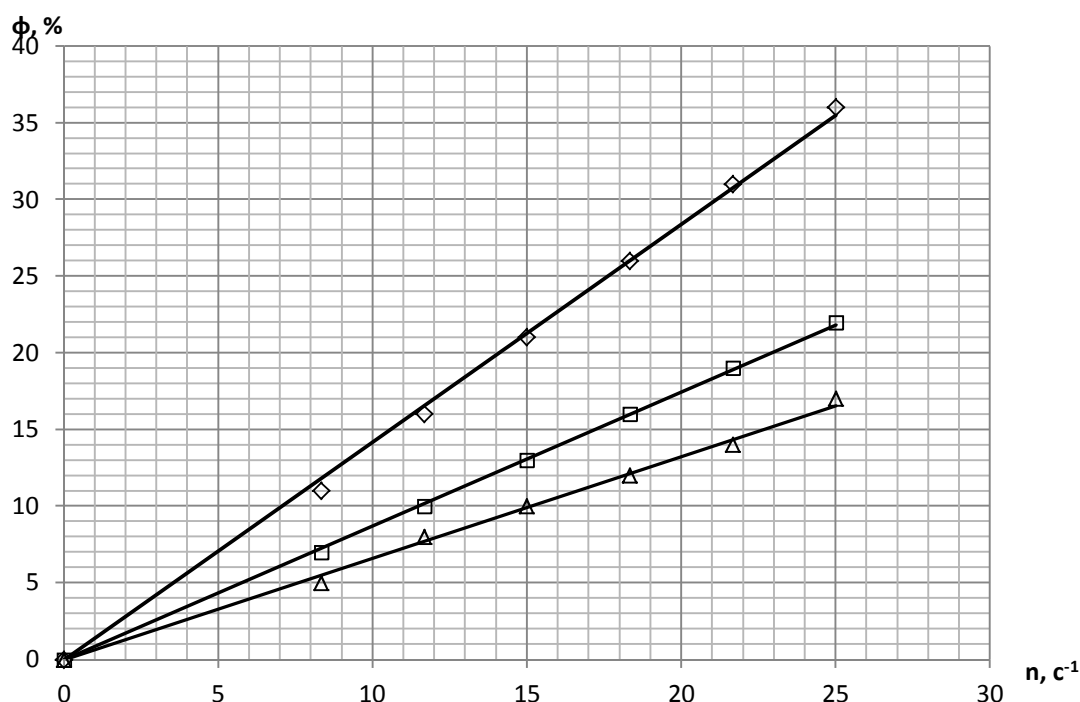


Рисунок 2.6 – Залежність середнього газовмісту $\bar{\phi}$ в апараті з самоусмоктуючою мішалкою від числа обертів при різних глибинах занурення

◇ - глибина занурення мішалки 120 мм;

□ - глибина занурення мішалки 180 мм;

△ - глибина занурення мішалки 240 мм

Аналіз отриманих даних під час проведених досліджень середнього та локального газовмісту в апараті з самоусмоктуючою мішалкою підтверджує раніше отримані висновки [12], що між локальним газовмістом ϕ_0 в кільцевому об'ємі, який утворюється лопатями мішалки, і середнім газовмістом $\bar{\phi}$ існує залежність, описана рівнянням

$$\phi_0 = 1,2\bar{\phi}^{-0,6} \quad (2.3)$$

Ця залежність справедлива для самоусмоктуючих мішалок і може використовуватися під час підрахунків продуктивності та виборі частоти обертання мішалок.

2.4 Опис експериментальної установки для вивчення гідродинаміки витікання рідини та дослідних лабораторних пристроїв

Транзитний (усмоктуючий) потік води і повітря в порожнині ротору самоусмоктуючої мішалки повторює рух, аналогічний руху, який описується в гідравліці [13] в розділі «витікання рідини через отвори і насадки». Основним питанням даного розділу є визначення швидкості витікання і витрати рідини для різних форм отворів та насадок.

Для вивчення гідродинаміки витікання рідини та визначення коефіцієнту витрати μ були виготовлені лабораторні моделі пристроїв (рисунок 2.8 і 2.9), в яких транзитний потік води витікає з отвору в боковій поверхні в повітряний простір під певним тиском. Лабораторна модель пристрою представляє собою прозору трубку, діаметр якої дорівнює діаметру ротору лабораторної моделі самоусмоктуючої мішалки. На утворюючій поверхні циліндричних трубок товщиною 4мм були просвердлені циліндричні отвори діаметром 4, 6, 8, 10мм. Також були виготовлені лабораторні моделі пристроїв, які були копією лабораторних самоусмоктуючих мішалок. В них на утворюючій стороні трубок розташовували прямокутні вертикальні щілини з геометричними параметрами, рівними внутрішнім розмірам самоусмоктуючої мішалки. Така конструкція моделей пристрою дозволяє провести дослідження по визначенню швидкості перетікання рідини із порожнини трубки через отвори в боковій поверхні. Під час експериментів рідину в моделі пристроїв подавали з наростаючою потужністю, яку регулювали по показникам об'ємного ротаметру РС-5. Величину тиску в середині трубки визначали по показникам висоти рідини в пьезометричній трубці, приєднаній через штуцер до верхньої кришки пристрою.

Умови витікання рідини у цих пристроях незалежно від форми отворів однакові: рідина із порожнини трубки наближається до отвору із усього прилеглого об'єму, рухаючись з прискоренням по різних плавних траєкторіях. Струмінь рідини відривається від внутрішньої стінки біля кромки отвору і далі

стискається в перетині. Стиснення струменю обумовлене дією фізичних законів, що діють при зміні напрямку руху рідини.

Лабораторні моделі пристрої були поділені на два типи: перший тип моделей мав циліндричні або прямокутні отвори (рисунок 2.8), другий – на утворюючій поверхні мав вертикальні прямокутні щілини з розміром, рівним перетину лопаті в лабораторній моделі самоусмоктуючої мішалки (рисунок 2.9). Їх для випробувань вмонтовували в експериментальну установку (рисунок 2.7), де проводилися дослідження за визначенням коефіцієнта витрати через циліндричні або вертикальний щілинний отвір та щілинний насадок. Експериментальна установка дозволяє проводити дослідження при різних числах Рейнольдса.

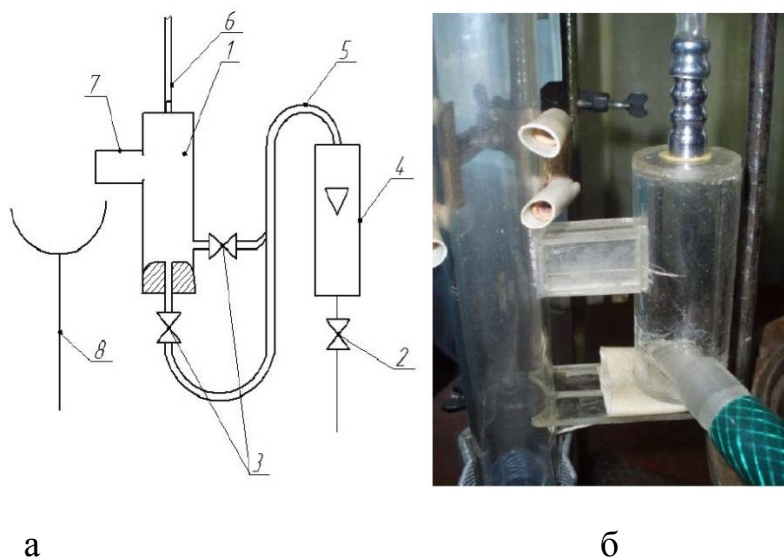


Рисунок 2.7 – Лабораторний стенд для випробування гідродинаміки транзитного потоку:

а – Схема лабораторного стенду для випробування гідродинаміки транзитного потоку в середині самоусмоктуючої мішалки: 1 – порожнистий пристрій у вигляді циліндричної трубки; 2 – вентиль для регулювання подачі рідини; 3 – вентилі і штуцера для подачі рідини; 4 – ротаметр; 5 – трубка подачі рідини; 6 – п'езометр; 7 – насадок, що повторює в перетині лопать самоусмоктуючої мішалки; 8 – каналізаційний трубопровід; б – Фото лабораторного стенду для випробування гідродинаміки транзитного потоку в середині самоусмоктуючої мішалки

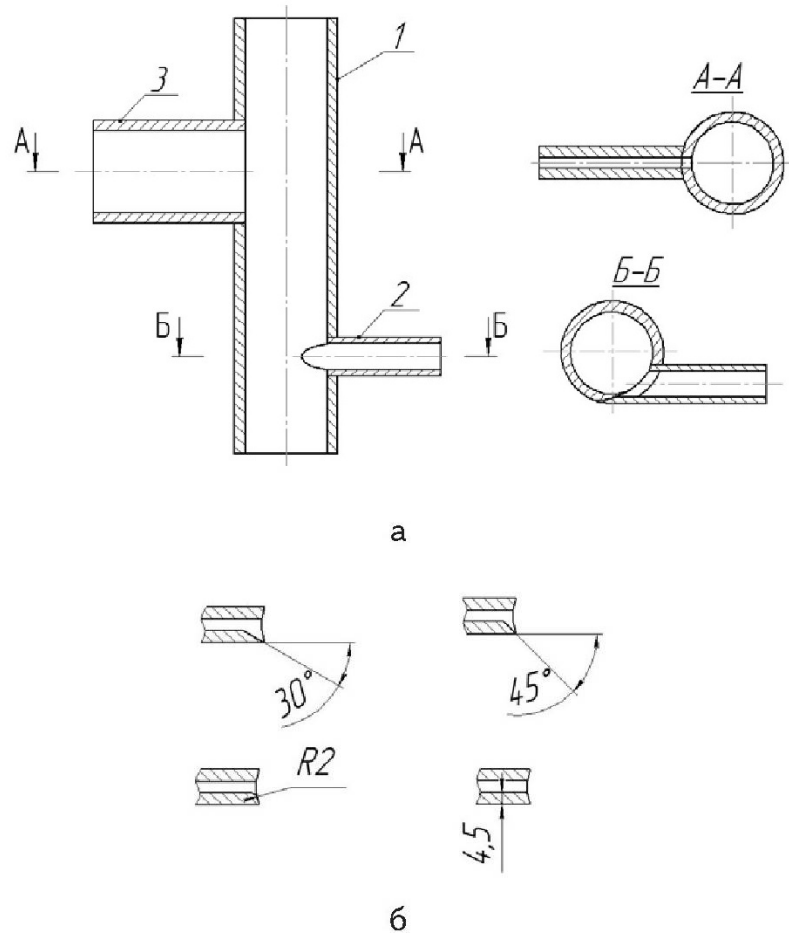


Рисунок 2.8 Пристрій для проведення лабораторних досліджень а – загальна схема лабораторного пристрою: 1 – порожниста циліндрична трубка; 2 – штуцер для подачі рідини; 3 – насадок, копія лопаті лабораторної моделі самоусмоктуючої мішалки; б – насадки різних конфігурацій

2.5 Випробування витратних характеристик при витіканні рідини із отвору на боковій поверхні

Під час руху транзитного потоку по різних ділянках лабораторної моделі апарату, зокрема по патрубку і розподільному пристрою на кришці апарату, трубчатій частині валу, роторі мішалки і порожнистих лопатях, відбувається зміна напрямку руху і середньої швидкості транзитного потоку. Причиною зміни швидкості служить зміна площі перетину каналів, по яких рухається транзитний потік. У даному випадку найбільших змін зазнає потік при проходженні через

конструктивні елементи самоусмоктуючої мішалки: при русі транзитного потоку з порожнини ротора в порожнину лопатей мішалки. Частинки потоку рідини при наближенні до отвору із об'єму ротора мішалки рухаються по плавних траєкторіях. Струмінь на вході в отвір приймає коноїдальну форму і стикається за краями отвору тільки біля вхідної кромки.

Випробування проведені авторами [14-16] по визначенню коефіцієнта витрати μ показали, що на коефіцієнт витрати впливають одні і ті ж фактори, які впливають на коефіцієнти швидкості ϕ та стискання ε . Останні коефіцієнти залежать від чисел Фруда, Вебера і Рейнольдса. В практичних випадках при витіканні рідини через циліндричний отвір в тонкій стінці вплив чисел Фруда і Вебера можна не враховувати [14-16], коефіцієнти ϕ і ε , а відповідно і коефіцієнт витрат μ є функцією числа Рейнольдса.

Нами були проведені випробування на лабораторних пристроях товщиною 1мм з циліндричними отворами діаметром 3, 4, 5, 6, 8 мм, які мають прямі кромки. Під час випробувань проводили записи показників надлишкового тиску та витрати води на лабораторний пристрій. Для аналізу отриманих результатів брали середнє значення з 3-5 випробувань. Воду на лабораторні пристрої подавали через осьовий патрубок. Отримані результати підтверджують вище приведені викладки про те, що для круглих отворів різних діаметрів коефіцієнт витрати не є постійною величиною (рисунок 2.10).

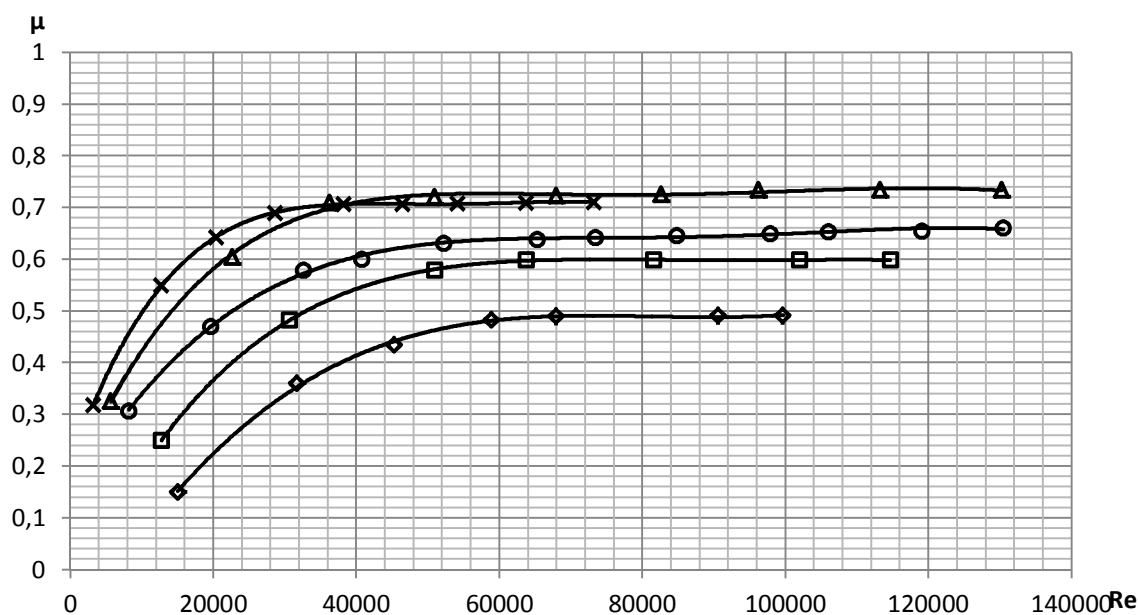


Рисунок 2.10 – Залежність коефіцієнта витрати при витіканні через стінку товщиною 1 мм з циліндричним отвором від числа Рейнольдса

◇ – діаметр отвору 3 мм

Δ – діаметр отвору 6 мм

□ – діаметр отвору 4 мм

x – діаметр отвору 8 мм

○ – діаметр отвору 5 мм

До того ж, товщина трубки, в якій просвердлений отвір суттєво впливає на коефіцієнт витрати. Випробування проводилися в широкому діапазоні чисел Рейнольдса від 2000 до 140000. Для пристроїв з отворами в боковій стінці з прямими кромками, товщина стінки білу отвору складала 1 мм.

Із збільшенням числа Рейнольдса спостерігається поступовий ріст коефіцієнту витрати для усіх діаметрів отворів, а після $Re > 40000$ величина коефіцієнту витрати приймала постійне значення, яке коливалося від 0,5 для отвору діаметром 3 мм до 0,7 для круглого отвору діаметром 8 мм в діапазоні величин $Re > 40000 - 120000$. Отримані результати майже співпадають з приведеними з незначною різницею, яка відображає відхилення за рахунок, напевно, товщини стінки отвору, автори [14-16] проводили випробування на отворах з гострими кромками. Були також проведені випробування на пристроях з отворами в боковій стінці товщиною 4 мм. Отримані результати показують, що

товщина стінки для малих отворів (діаметром 3 і 4 мм), які не перевищують товщину стінки впливає на коефіцієнт витрати більше ніж для отворів діаметром від 5 до 10 мм.

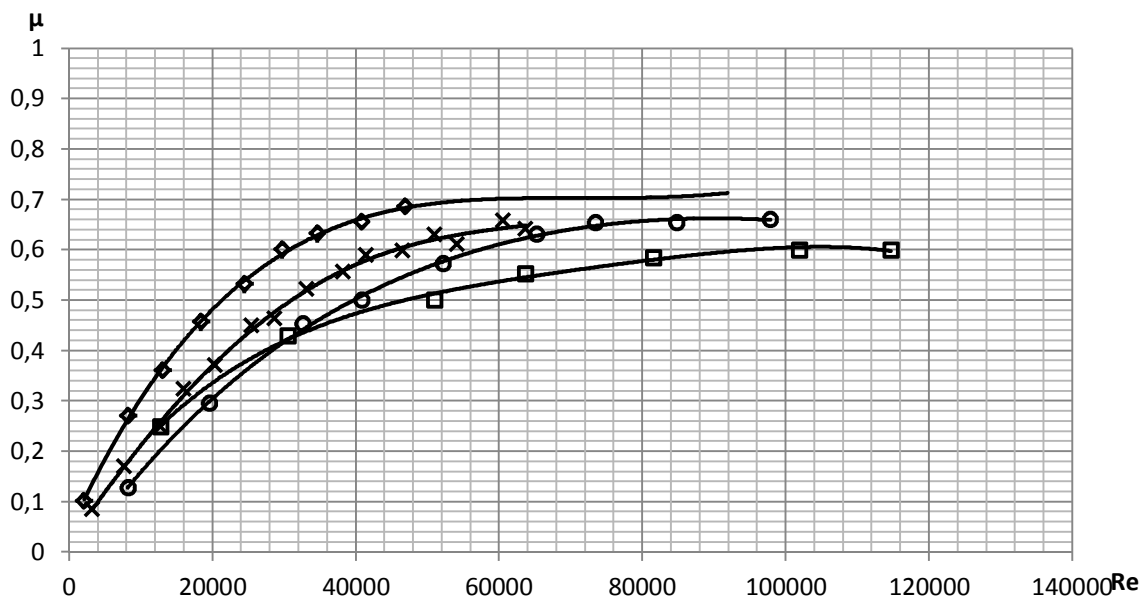


Рисунок 2.11 – Залежність коефіцієнта витрати через стінку товщиною 4 мм з циліндричним отвором від числа Рейнольдса

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| □ – діаметр отвору 4 мм | x – діаметр отвору 8 мм |
| ○ – діаметр отвору 5 мм | ◇ – діаметр отвору 10 мм |

В літературі приведені дані для отворів з гострими кромками. Для отвору діаметром 3 мм нами отримана величина коефіцієнту витрати, яка відрізняється від відомої. В той же час для круглих отворів з шириною стінки в 4 мм коефіцієнт витрати знаходиться в межах $\mu=0,62-0,64$. Ці дані дають змогу зробити висновки, що під час витікання із круглого отвору рідина в товстій стінці стискається до певного діаметру і коефіцієнт витрати μ в даному випадку залежить від типу отвору, коефіцієнту стискання ε та швидкості ϕ .

На рисунку 2.12 приведені дані про коефіцієнт витрати для випадку довершеного стискання при витіканні води через циліндричний отвір діаметром 5 мм з прямими кромками та скошеною частиною кромки. При чому, чим більше значення числа Рейнольдса, тим менше ця залежність і при $Re > 10^5$ настає

автомодельний режим витікання з постійним значенням коефіцієнту витрати.

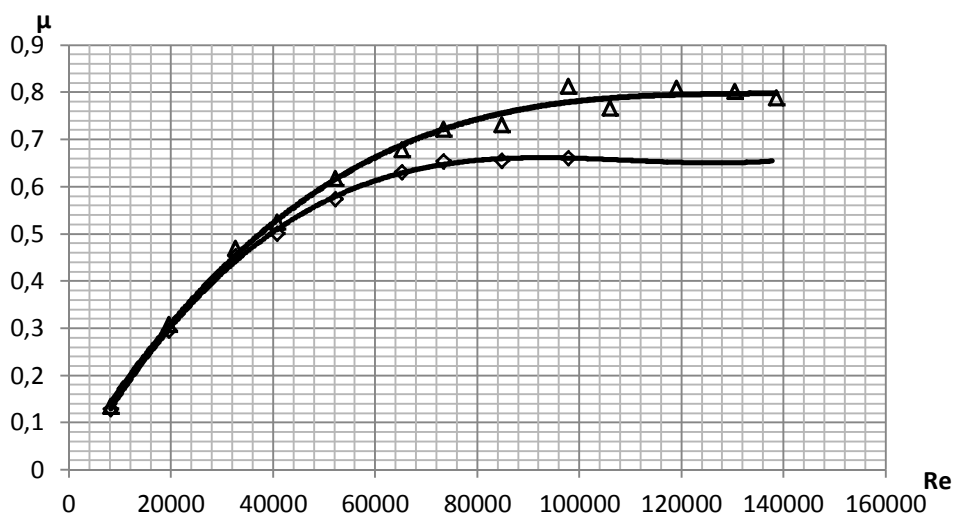


Рисунок 2.12 – Залежність коефіцієнта витрати через стінку товщиною 4 мм з циліндричним отвором від числа Рейнольдса
діаметр циліндричного отвору \diamond – 0,005 м;
діаметр циліндричного отвору Δ – 0,005 м зі скосом

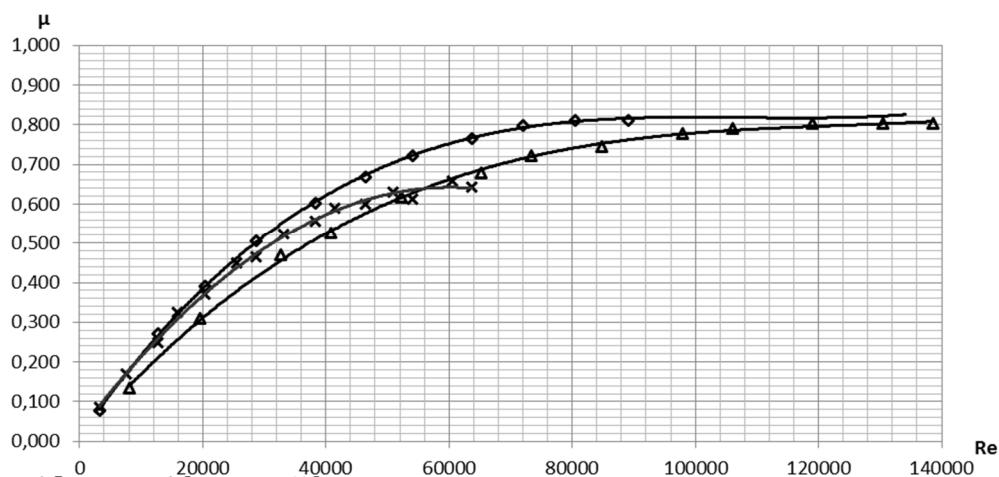


Рисунок 2.13 – Залежність коефіцієнта витрати через стінку товщиною 4 мм з циліндричним отвором від числа Рейнольдса
 Δ – діаметр отвору 5 мм
 \diamond – діаметр отвору 8 мм, кромка отвору виконана з кутом скосу 45°
x – діаметр отвору 8 мм, пряма кромка

Як видно з графічної залежності (рисунок 2.12) отриманий коефіцієнт витрати для отворів з прямими кромками при $Re \gt 80000$ дорівнює величині 0,63-0,64, що практично не відрізняється від аналогічних випробувань іншими авторами [14]. В той же час проведена реконструкція вхідної кромки отвору привела до збільшення коефіцієнту витрати при $Re \gt 100000$ на 0,1-0,15 одиниць, який став складати 0,78-0,8. Аналогічні випробування пристроїв з отворами на боковій стінці діаметром 8 мм підтверджують таку ж саму тенденцію розгалуження кривих у зв'язку з зміною конфігурації вхідної кромки (рисунок 2.14).

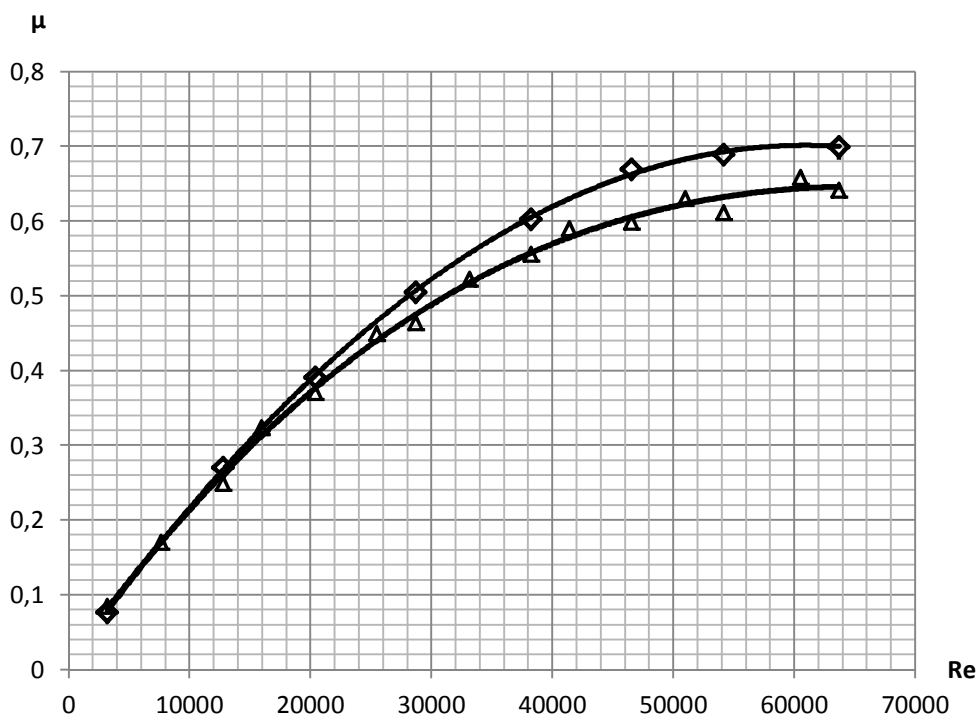


Рисунок 2.14 – Залежність коефіцієнта витрати через стінку товщиною 4 мм з циліндричним отвором від числа Рейнольдса
діаметр циліндричного отвору Δ – 0,008 м
діаметр циліндричного отвору \diamond – 0,008 м зі скосом

Із графічних залежностей виходить, що коефіцієнт витрати μ для круглих отворів в боковій стінці товщиною 4 мм змінюється поступово без різких коливань в той же час в діапазоні $Re \gt 5 \cdot 10^5 \div 9 \cdot 10^5$ коефіцієнт витрати зростає

поступово, і при $Re > 10^5$ для отворів діаметром 0,005-0,010 м можна рахувати постійною величиною. При витіканні рідини вплив в'язкості на коефіцієнт витрати відбувається тільки при ламінарному режимі, а при турбулентному режимі - незначний, особливо при $Re > 3 \cdot 10^4$ становить $\mu = 0,62 - 0,64$. Прості розрахунки для рідини, що витікає з циліндричного отвору приймають наступні значення: $\mu = 0,64$; $\phi = 0,97$; $\varepsilon = 0,64$, що відповідає проведеним випробуванням інших авторів [14, 15]. Для отворів з зміненою конфігурацією кромки вхідного отвору ці показники мають інші значення: для отвору діаметром 5 мм - $\mu = 0,8$; $\phi = 0,97$; $\varepsilon = 0,83$, а для отвору діаметром 8 мм - $\mu = 0,7$; $\phi = 0,97$; $\varepsilon = 0,73$. Приведені дані показують, що величина коефіцієнту витрати залежить від конфігурації вхідних кромки: скіс частини кромки та кут скошу приводять до збільшення коефіцієнту витрати. В період випробувань було визначено, що скіс кромки, що прилягає до циліндричного отвору досить важко виконати. Тому результати випробувань на отворах діаметром 8 і 10 мм показують загальну тенденцію збільшення коефіцієнту витрати і нестабільність при визначенні його величини у зв'язку з труднощами точного виконання отворів та поверхонь сполучення. А це, на наш погляд, не в повній мірі змінює режим витікання води, тобто, в зоні дії сполучення поверхонь частково виникає стискання потоку. Тому в подальших випробуваннях доцільно використовувати прямокутні щілинні отвори, які відповідають розмірам лабораторних моделей самоусмоктуючих мішалок.

2.4.1 Випробування витратних характеристик при витіканні рідини із вертикального прямокутного отвору

Самоусмоктуючі мішалки [17-21] мають специфічну особливість: плоскі порожнисті лопаті, які виконуються із трубок певного розміру і довжини. Потім вони стискаються до плоского стану з певною шириною. Враховуючи це розглянемо гідродинаміку течії транзитного потоку в середині самоусмоктуючої мішалки, як процес витікання рідини через вертикальну прямокутну щілину [15],

розташовану на боковій стороні циліндру. В даному разі необхідно враховувати, що напір в усіх точках вертикальної щілини не однаковий: так як для точок в нижній частині щілини він буде більший, а для верхньої частини значно менший. Тому розрахунок продуктивності рідини через вертикальний щілинний отвір висотою a і шириною b визначається інтегруванням елементарних витрат рідини, що проходить через перетин отвору шириною b та безкінечно малої висоти dh .

Тоді розрахунок продуктивності через елементарну ділянку висотою dh і шириною b буде

$$dQ = \mu b \sqrt{2gh} dh \quad (2.4)$$

де h - напір по висоті елементарної вертикальної щілини.

Приймаючи до уваги, що продуктивність транзитного потоку через елементарний отвір шириною b є величина постійна $\mu = const$, тоді загальна продуктивність через вертикальну щілину може визначитися інтегруванням формули (2.4)

$$Q = \mu b \sqrt{2g} \int_{h_1}^{h_2} \sqrt{h} dh \quad (2.5)$$

В цій формулі межі інтегрування h_1 і h_2 є висоти стовпа рідини в пьезометрі відносно глибини занурення нижньої та верхньої кромки щілини, які дорівнюють $h_1 = h_c + \frac{a}{2}$ і $h_2 = h_c - \frac{a}{2}$.

Повна продуктивність через вертикальний отвір буде дорівнювати:

$$Q = \mu S \sqrt{2gh_c} \quad (2.6)$$

де $S = ab$ - площа перетину вертикальної щілини;

h_c - глибина занурення центру щілини від вільної поверхні рідини в пьезометрі або розрахунковий напір, під яким витікає рідина.

Тому, під час випробувань висоту п'єзометричного тиску визначали від середини зробленої на боковій поверхні трубки прямокутної щілини.

Тоді коефіцієнт витрати (продуктивності) може бути обчислений, якщо відома потужність транзитного потоку та параметри отвору, з якого витікає рідина

$$\mu = \frac{Q}{S\sqrt{2gh_c}} \quad (2.7)$$

Для цього випадку були виготовлені лабораторні пристрої з під'єднанням до бокової сторони трубки насадком (рисунок 2.8), який повторює форму та геометричні параметри полої лопаті лабораторної моделі самоусмоктуючої мішалки. Лабораторні пристрої (рисунок 2.8) вмонтовуються в лабораторну експериментальну схему (рисунок 2.7) для проведення випробувань. Так як в літературі немає свідчень про те, як рухається транзитний потік в роторі самоусмоктуючої мішалки, подачу води в лабораторну модель пристрою проводили через нижню частину трубки двома способами. За першим способом вода подавали через тангенціально встановлений патрубок, по іншому - через патрубок встановлений по осі пристрою. Незадіяний в період проведення дослідів патрубок перекривався вентилем. На початку проводили дослідження на лабораторній установці з вертикальною прямокутною щілиною, що була прорізана на боковій поверхні трубок, розміром 20x4 мм з прямими кромками при товщині стінки біля отвору 1 мм.

При цьому проводили вимірювання витрати і визначення впливу його на швидкість закінчення через щілинний отвір, враховуючи попередні пропозиції, що до визначення висоти п'єзометричного стовпа h_c . В процесі експерименту визначали витрату за свідченнями ротаметра 6 і тиск по п'єзометричній трубці 7,

закріпленою на кришці пристрою. Для усунення пульсації потоку, що підводиться тангенціально до пристрою, в нижній частині пристрою розмістили тонкоструйний струєвипрямовувач. Як видно з графічної залежності (рисунок 2.15, 2.16) в даному випадку спосіб подачі води, осьовий або тангенціальний в пристрій, не має суттєвого значення. Коефіцієнт витрати для обох випадків подачі води для отвору з округлою кромкою досягає величини $\mu \approx 0,7$ і він значно вищий, чим для отворів з прямими кромками.

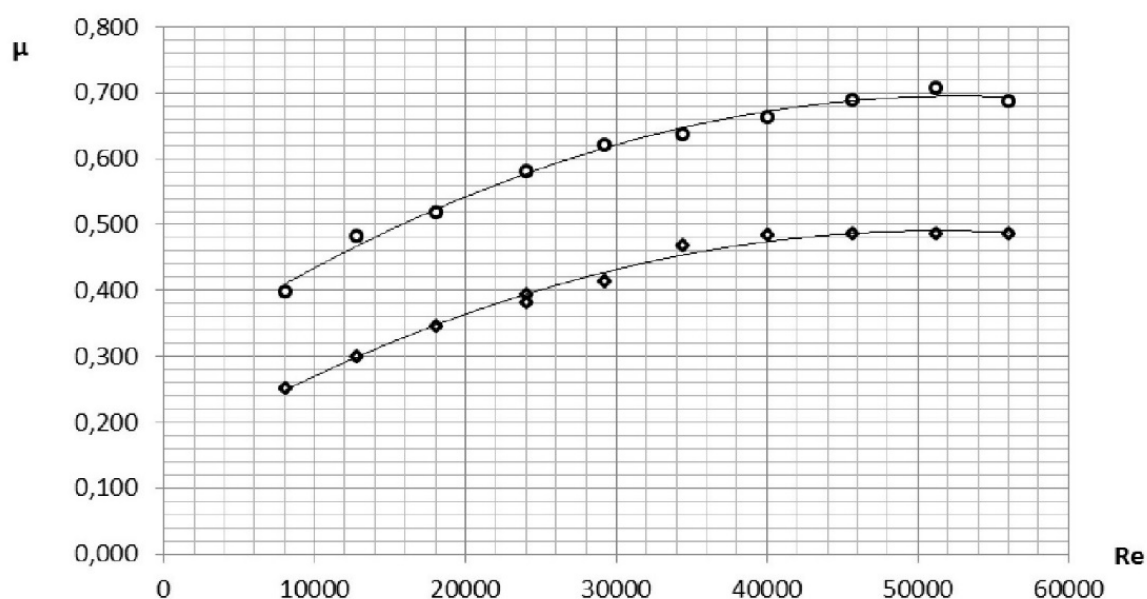


Рисунок 2.15 – Залежність коефіцієнту витрат для вертикальної щілини від числа Рейнольдса при осьовій подачі рідини

◇ - вертикальна щілина з прямими кромками

○ - вертикальна щілина з однією скругленою кромкою

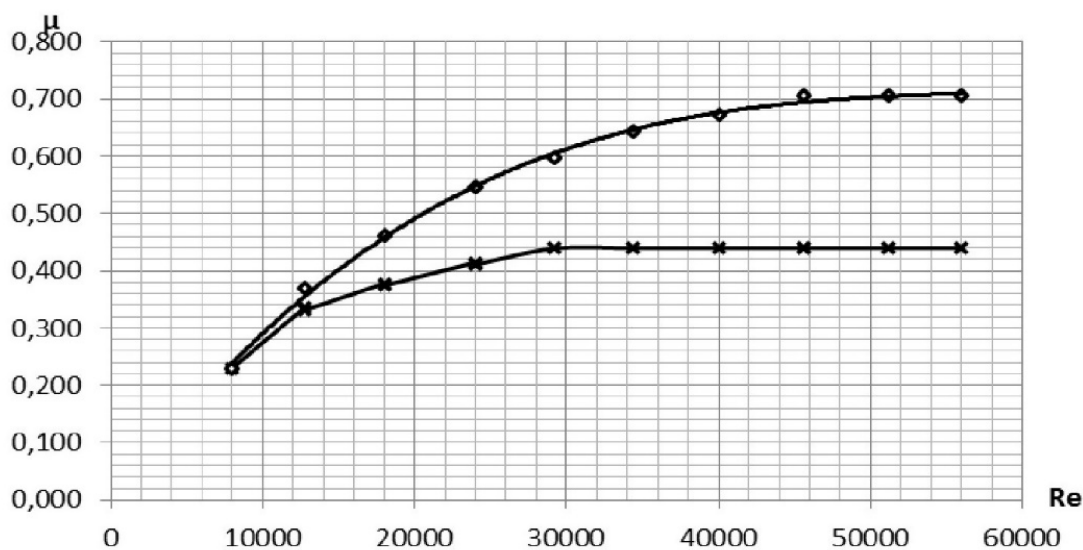


Рисунок 2.16 – Залежність коефіцієнту витрат для вертикальної щілини від числа Рейнольдса при подачі води через тангенціальний штуцер

x - прямі кромки щілини отвору, подача рідини через тангенціальний штуцер;

◇- кромка щілини отвору, що округляє, подача рідини через тангенціальний штуцер.

При подачі води в пристрій з товщиною стінки 4 мм через осьовий патрубок витікаючий потік з прямокутної щілини шириною 3 мм і висотою 20 мм з прямими кромками струмінь рідини стискався по всьому периметру отвору, а при подачі води через тангенціальний патрубок, витікання потоку води з щілини набувало неоднозначного характеру. Процес витікання рідини з трубки через вертикальну щілину здійснюється таким чином: частинки рідини з порожнини трубки наближаються до щілини з усіх боків, рухаючись з прискоренням по різних траєкторіях. Біля щілини рідина відривається від стінки трубки, стискається на деякій відстані від кромки і далі рухається в осьовому напрямку.

Такі дослідження повторювали на пристроях з прямокутною щілиною, в якій одна вертикальна кромка має скіс під певним кутом.

Візуально було визначено, що часткове звуження струменя спостерігалось з боку обертання потоку в трубці, при чому напрям витікаючого потоку був криволінійним. Струмінь відхилявся від осі прямокутного отвору щілини у бік

обертання потоку. Досліди повторювалися 3-5 разів, отримані результати зводилися в таблиці 2.4, 2.5 і представлені у вигляді графічних залежностей (рисунок 2.14-2.15): витрати води від п'єзометричного тиску в середині трубки та коефіцієнта витрати від числа Рейнольдса витікаючого струменю.

З приведеної графічної залежності (рисунок 2.16) витрати при витіканні рідини з вертикальної щілини з округленою однією вертикальною кромкою значно вищі, чим для щілини з прямокутними кромками.

Аналіз отриманих даних показує, що спосіб подачі рідини в випробовуваний пристрій впливає на результати витікання рідини: при осьовій подачі коефіцієнт витрати для моделей пристроїв з прямими кромками менше, ніж для моделі із зміненою конфігурацією кромки. Тому подальші випробування будуть проводитися тільки при осьовій подачі рідини в лабораторний пристрій. Приведені дані свідчать про те, що коефіцієнт витрати значною мірою залежить від конфігурації вхідного отвору.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ

3.1 Визначення розрахункових параметрів

3.1.1 Вихідні дані:

1. Номінальний об'єм апарата	$V = 6,3 \text{ м}^3$
2. Внутрішній діаметр апарата	$D = 1400 \text{ мм}$
3. Висота обичайки	$l = 2630 \text{ мм}$
4. Внутрішній надлишковий тиск	$P_B = 0,95 \text{ МПа}$
5. Тиск у сорочці	$P_H = 0,225 \text{ МПа}$
6. Агресивність середовища	100% стеаринова кислота
7. Температура середовища	$t = 250 \text{ C}^\circ$
8. Тип перемішуючого пристрою	з заокругленою вхідною кромкою
9. Щільність середовища	$\rho = 1217 \text{ кг/м}^3$
10. В'язкість середовища	$\mu_c = 1,321 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$
11. Матеріал корпусу апарата	12X18H10T
12. Матеріал сорочки апарата	сталь 20
13. Матеріал кріпильних виробів болтів, шпильок і гайок:	
- для фланців штуцерів корпусу	сталь 35X
- для фланців штуцерів сорочки	сталь 35

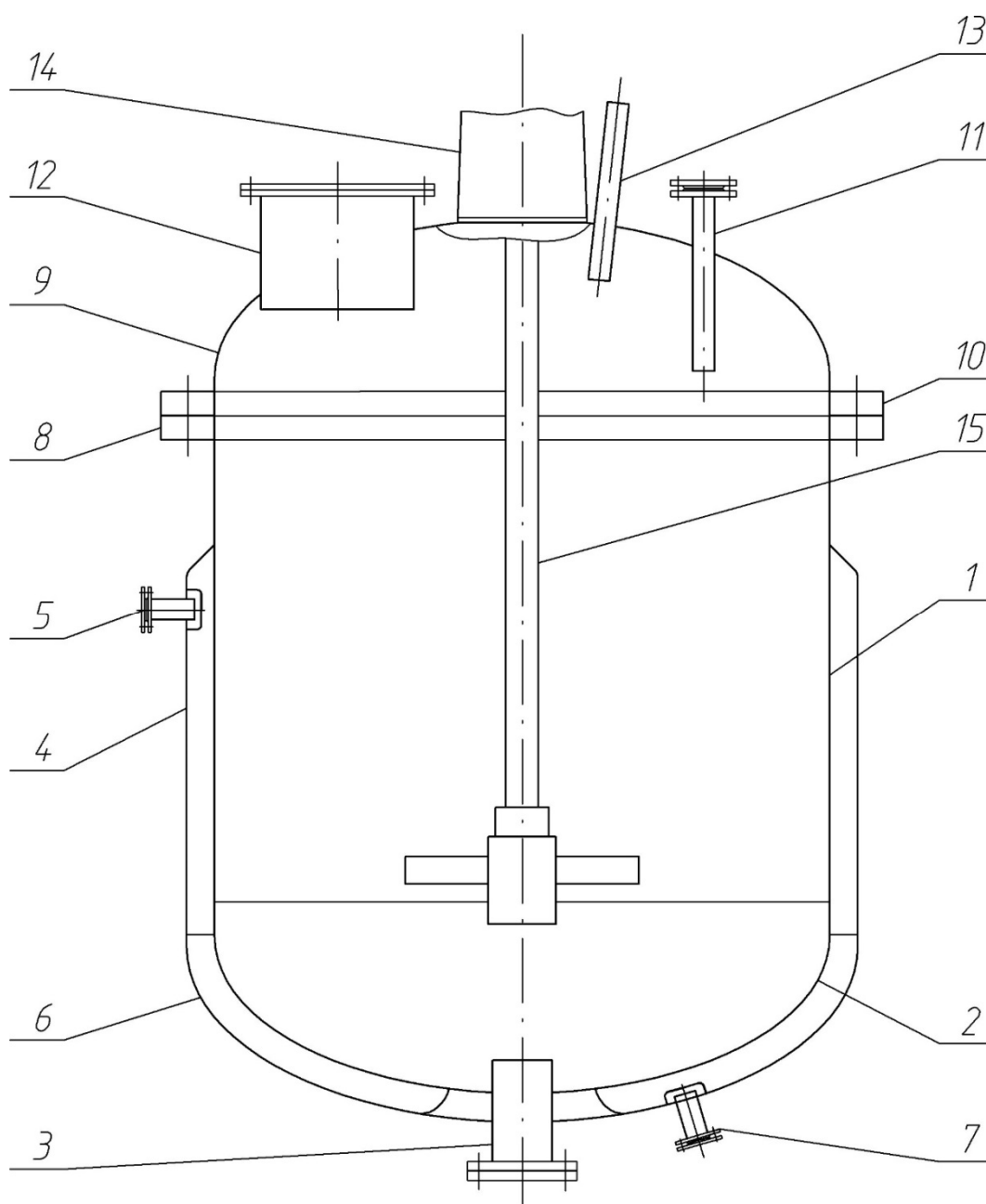


Рисунок 3.1 – Апарат з самоусмоктуючою мішалкою

Корпус апарата: 1 – обичайка апарата; 2 – днище апарата; 3 – випускний штуцер апарата; 4 – обичайка сорочки; 5 – штуцер подачі теплоносія в сорочку; 6 – днище сорочки; 7 – випускний штуцер сорочки; 8 – приводний фланець.

Кришка апарата: 9 – кришка апарата; 10 – фланець кришки апарата; 11 – технологічний штуцер; 12 – оглядовий люк; 13 – патрубок термометра.

Перемішувач: 14 – привід перемішувача; 15 – вал перемішувача.

Розрахункова температура $t = 250^{\circ}\text{C}$.

Допустиме напруження

Для апарата: сталь 12Х18Н10Т

$$[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{250} = 154 \text{ МПа};$$

де $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження при 20°C ;

$[\sigma]$ – допустиме напруження при розрахунковій температурі.

Коефіцієнт міцності зварених швів – $\varphi = 1$.

Збільшення до розрахункових товщин конструктивних елементів.

Сума збільшень до розрахункової товщини стінки обичайки ухвалюємо:

$$C = 2 \text{ мм}$$

3.2 Розрахунок циліндричної обичайки апарата

Розрахункова товщина стінки обичайки апарата:

$$S_p = \frac{P_v \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_v}, \quad (3.1)$$

де P_v – максимальний надлишковий тиск апарату, МПа;

D – внутрішній діаметр обичайки, мм.

$$S_p = \frac{0,95 \cdot 1400}{2 \cdot 154 \cdot 1 - 0,95} = 4,33 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки обичайки визначаємо по формулі:

$$S \geq S_p + C \quad (3.2)$$

$$S \geq 4,33 + 2 = 6,33 \text{ мм}$$

Приймаємо: $S = 8 \text{ мм}$

Внутрішній допустимий надлишковий тиск:

$$[P_6] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (3.3)$$

$$[P_6] = \frac{2 \cdot 154 \cdot 1 \cdot (8 - 2)}{1400 + (8 - 2)} = 1,31 \text{ МПа}$$

$$P_6 \leq [P_6], \quad 0,95 < 1,31 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

3.3 Розрахунок кришки апарата

Розрахункова товщина стінки кришки від внутрішнього тиску:

$$S_{1p} = \frac{P_6 \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P_6} \quad (3.4)$$

де P_6 – внутрішній надлишковий тиск, МПа;

$R=D$ – радіус еліптичного днища, мм.

φ – коефіцієнт міцності зварених швів;

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

$$S_{1p} = \frac{0,95 \cdot 1400}{2 \cdot 154 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,95} = 4,32 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S_1 \geq S_{1p} + C \quad (3.5)$$

$$S_1 \geq 4,32 + 2 = 6,32 \text{ мм}$$

Приймаємо: $S_1 = 8 \text{ мм}$.

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[P] = \frac{2 \cdot (S_1 - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0,5(S_1 - C)} \quad (3.6)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot (8 - 2) \cdot 1 \cdot 154}{1400 + 0,5 \cdot (8 - 2)} = 1,32 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$P \leq [P]$$

$$P = 0,95 \text{ МПа} < [P] = 1,32 \text{ МПа} - \text{виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$0,002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0,100 \quad (3.7)$$

$$0,002 \leq \frac{8 - 2}{1400} \leq 0,1$$

$$0,002 \leq 0,0043 \leq 0,1 - \text{виконується}$$

3.4 Розрахунок еліптичного днища апарата

Розрахунок товщини стінки днища від внутрішнього тиску

$$S_{1p} = \frac{0,95 \cdot 1400}{2 \cdot 154 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,95} = 4,32 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S_1 \geq 4,32 + 2 = 6,32 \text{ мм}$$

Приймаємо $S_1 = 8 \text{ мм}$.

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[P] = \frac{2 \cdot (8 - 2) \cdot 1 \cdot 154}{1400 + 0,5 \cdot (8 - 2)} = 1,32 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$P \leq [P]$$

$P = 0,95 \text{ МПа} < [P] = 1,32 \text{ МПа}$ - виконується.

3.5 Розрахунок обичайки апарата на зовнішній тиск

Розрахункова товщина стінки обичайки апарата від зовнішнього тиску:

$$S_p^H = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot P_H \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\}, \quad (3.9)$$

де P_H – розрахунковий зовнішній тиск,

K_2 – коефіцієнт, обумовлений по номограмі залежно від K_1 і K_3 .

Коефіцієнт K_1 визначають по формулі:

$$K_1 = \frac{n_y \cdot P_H}{E \cdot 2,4 \cdot 10^{-6}}, \quad (3.10)$$

де n_y – коефіцієнт запасу стійкості; $n_y = 2,4$

E – модуль поздовжньої пружності матеріалу обичайки при розрахунковій температурі, МПа.

$$E_{250} = 195 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

$$K_1 = \frac{2,4 \cdot 0,225}{195 \cdot 10^3 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6}} = 1,15$$

Коефіцієнт K_3 визначаємо по формулі:

$$K_3 = \frac{l_p}{D}, \quad (3.11)$$

де l_p – розрахункова довга гладкої обичайки із сорочкою, мм

$$l_p = l + \frac{1}{3} \cdot H_{\text{дн}} \quad (3.12)$$

де l – довжина циліндричної частини обичайки.

$H_{\text{дн}}$ – висота днища,

$$H_{\text{дн}} = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1400 = 350 \text{ мм}$$

$$l_p = 3630 + \frac{1}{3} \cdot 350 = 3746,66 \text{ мм}$$

таким чином, маємо

$$K_3 = \frac{3746,66}{1400} = 2,676$$

По номограмі визначаємо коефіцієнт K_2 :

$$K_2 = 0,7 \text{ [25]}$$

$$S_p^h = \max \left\{ 0,7 \cdot 1400 \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot 0,225 \cdot 1400}{2 \cdot 154} \right\} = \max \{9,8; 1,125\} = 9,8 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки обичайки S визначаємо по формулі:

$$S^h \geq S_p^h + C \quad (3.13)$$

$$S^h \geq 9,8 + 2 = 11,8 \text{ мм}$$

Приймаємо: $S = 12 \text{ мм}$

Визначення тиску, що допускається

$$[P_n] = \frac{[P]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{II}}{[P]_E}\right)^2}} \quad (3.14)$$

де $[P]_{II}$ – допустимий тиск із умови міцності, МПа;

$[P]_E$ – допустимий тиск із умови стійкості, МПа

Допустимий тиск із умови міцності визначається по формулі:

$$[P]_{II} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S^n - C)}{D + (S^n - C)} \quad (3.15)$$

$$[P]_{II} = \frac{2 \cdot 154 \cdot (12 - 2)}{1400 + (12 - 2)} = 2,06 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск із умови стійкості в межах пружності визначається по формулі:

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot E}{n_y \cdot B_1 \cdot l_p} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S^n - C)}{D} \right]^{2,5} \quad (3.16)$$

де B_1 - безрозмірний коефіцієнт:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S^n - C)}} \right\} \quad (3.17)$$

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{1400}{3746,66} \cdot \sqrt{\frac{1400}{100 \cdot (12 - 2)}} \right\} = \min \{1,0; 4,18\} = 1,0$$

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1400 \cdot 195 \cdot 10^3}{2,4 \cdot 1 \cdot 3746,66} \cdot \left[\frac{100 \cdot (12 - 2)}{1400} \right]^{2,5} = 0,27 \text{ МПа}$$

Зовнішній допустимий тиск розраховуємо по формулі:

$$[P_n] = \frac{2,06}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,06}{0,27}\right)^2}} = 0,26 \text{ МПа}$$

При цьому повинне виконуватися умова:

$$P_n \leq [P_n]$$

$0,225 \text{ МПа} < 0,26 \text{ МПа}$ - умова міцності виконується.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} < 0,1 \quad (3.18)$$

$$\frac{12 - 2}{1400} = 0,0071 < 0,1 \text{ - умова виконується.}$$

Товщина стінки обичайки, навантаженої зовнішнім тиском $S_n = 12$ мм. З іншого боку, товщина стінки обичайки на внутрішній надлишковий тиск $S = 8$ мм.

За остаточну виконавчу товщину обичайки апарата ухвалюється більше із двох значень виконавчих товщин, розрахованих на внутрішній і зовнішній тиск

$$S = \max\{S; S^n\} = 12 \text{ мм}$$

3.6 Розрахунок товщини стінки днища від зовнішнього тиску

$$S_{1p}^n = \max\left\{\frac{K_{\varnothing} \cdot R}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_n}{10^{-6} \cdot E}}; \frac{P_n \cdot R}{2 \cdot [\sigma]}\right\} \quad (3.19)$$

де K_{\varnothing} – коефіцієнт приведення радіуса кривизни днища;

$n_y = 2,4$ – коефіцієнт запасу стійкості;

E – модуль поздовжньої пружності матеріалу днища, МПа;

Для попереднього розрахунку ухвалюємо $K_{\varnothing} = 0,9$.

$$S_{1p}^n = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 1400}{510} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,225}{10^{-6} \cdot 195 \cdot 10^3}}; \frac{0,225 \cdot 1400}{2 \cdot 154} \right\} = \max \{4,11; 1,02\} = 4,11 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінок днища:

$$S_1^n \geq S_{1p}^n + C \quad (3.20)$$

$$S_1^n \geq 4,11 + 2 = 6,11 \text{ мм}$$

Ухвалюємо: $S = 8 \text{ мм}$

Визначаємо розрахункове значення коефіцієнта $K_{\text{э}}$:

$$K_{\text{э}} = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3,0 + 10 \cdot x) \cdot x}, \quad (3.21)$$

$$x = 10 \cdot \frac{S_1^n - C}{D} \left(\frac{D}{2H_{\text{дн}}} - \frac{2H_{\text{дн}}}{D} \right) \quad (3.22)$$

$$x = 10 \cdot \frac{8 - 2}{1400} \left(\frac{1400}{2 \cdot 350} - \frac{2 \cdot 350}{1400} \right) = 0,064$$

$$K_{\text{э}} = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot 0,064) \cdot 0,064}{1 + (3 + 10 \cdot 0,064) \cdot 0,064} = 0,962$$

Визначення допустимого тиску.

Зовнішній допустимий тиск визначаємо за формулою:

$$[P]_n = \frac{[P]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{II}}{[P]_E} \right)^2}} \quad (3.23)$$

де

$$[P]_{II} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_1^n - C)}{R + 0,5 \cdot (S_1^n - C)} \quad (3.24)$$

$$[P]_{II} = \frac{2 \cdot 154 \cdot (8 - 2)}{1400 + 0,5 \cdot (8 - 2)} = 0,66 \text{ МПа}$$

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S_1^n - C)}{K_{\text{э}} \cdot D} \right]^2 \quad (3.25)$$

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 195 \cdot 10^3}{2,4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (8-2)}{0,962 \cdot 1400} \right]^2 = 0,42 \text{ МПа}$$

$$[P] = \frac{0,66}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,66}{0,42} \right)^2}} = 0,35 \text{ МПа}$$

Умова міцності

$P = 0,225 < [P] = 0,35$ МПа - виконується.

3.7 Розрахунок фланцевих з'єднань

По умовному тискові $P_y = 1,0$ МПа й діаметру апарата ухвалюємо фланцеве з'єднання виконань 4 і 5 з ущільнювальною поверхнею виступ-западина [26].

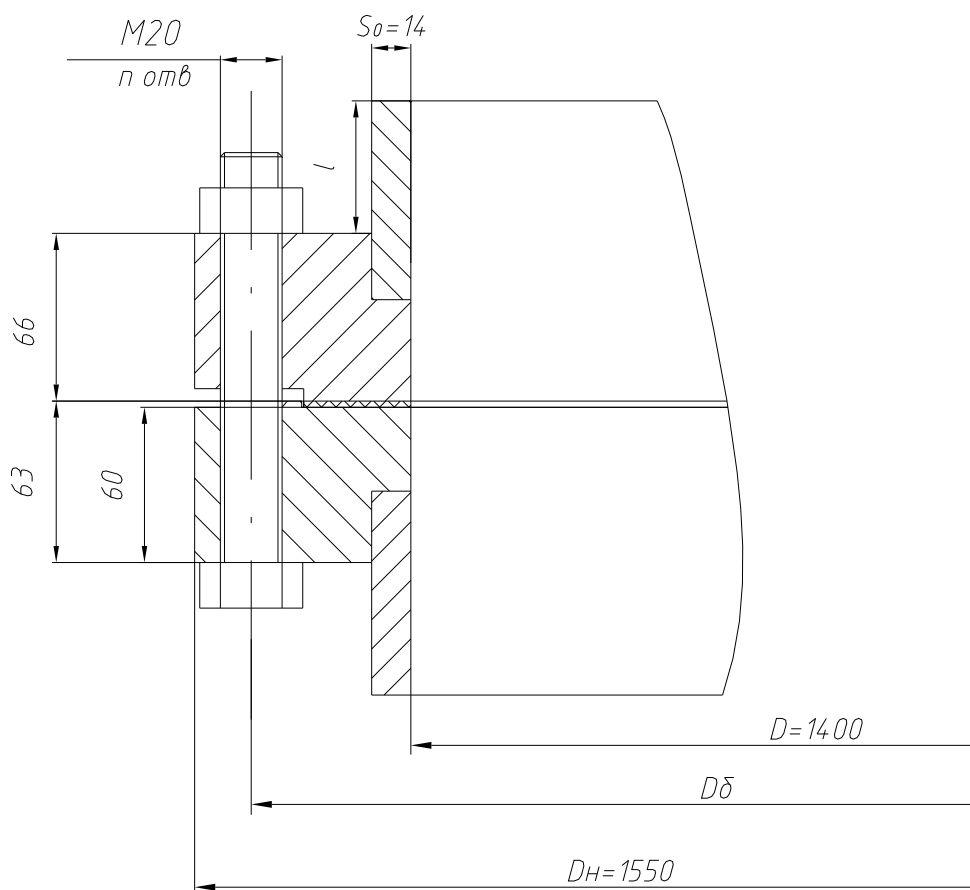


Рисунок 3.2 – Фланцеве з'єднання апарата

За ГОСТ 28759.6 – 90 вибираємо прокладку з неметалічних матеріалів – пароніт.

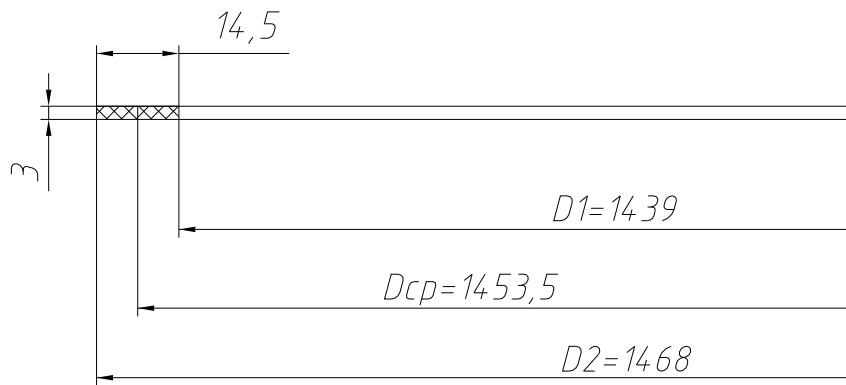


Рисунок 3.3 – Прокладка апарата

Визначення розрахункових параметрів.

Тип фланця: фланець сталевий, плоский приварної з ущільнювальною поверхнею виступ-западина

Матеріал фланців – сталь 12Х18Н10Т

Матеріал прокладки – пароніт

Матеріал кріплення: сталь 35Х

Температура:

- фланця: $t_{\phi} = t = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

- болтів: $t_{\sigma} = 0,97 t = 242,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Допустимі напруження

для болтів:

$$[\sigma]_{\sigma}^{20} = 230 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{\sigma} = 223 \text{ МПа}$$

для фланців:

$$[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа}$$

$$[\sigma] = 154 \text{ МПа}$$

Визначення розмірів перетину прокладки й розміру болтів

Зовнішній діаметр прокладки

$$D_2 = 1,468 \text{ м}$$

Внутрішній діаметр прокладки

$$D_1 = 1,439 \text{ м}$$

Ефективна ширина плоскої прокладки

$$b = \frac{D_2 - D_1}{2} = \frac{1468 - 1439}{2} = 14,5 \text{ мм}$$

$$b = 14,5 \text{ мм}$$

Для стягування фланцевих з'єднань апаратів, що працюють під внутрішнім тиском 0,6 – 1,0 МПа, що й мають внутрішній діаметр $D = 1400$ мм застосовуються болти М20

$$d_\sigma = 0,02 \text{ м}$$

Визначення розмірів втулки фланця

Товщина втулки $S_0 = 14$ мм.

Товщина обичайки $S = 12$ мм.

Висота втулки фланця

$$l = 0,5 \cdot \sqrt{D \cdot (S_0 - C)} \quad (3.27)$$

$$l = 0,5 \cdot \sqrt{1400 \cdot (14 - 2)} = 64,8 \approx 65 \text{ мм}$$

Визначення основних діаметрів фланцевих з'єднань

Діаметр болтової окружності

$$D_\sigma = D + 2 \cdot (2 \cdot S_0 + d_\sigma + 0,006) \quad (3.28)$$

$$D_\sigma = 1,4 + 2 \cdot (2 \cdot 0,014 + 0,02 + 0,006) = 1,508 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр фланця

$$D_H = 1,55 \text{ м}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{CP} = \frac{D_2 + D_1}{2} = \frac{1468 + 1439}{2} = 1453,5 \text{ мм}$$

Кількість болтів у фланцевім з'єднанні

$$n = \frac{\pi \cdot D_{\phi}}{t_u} \quad (3.29)$$

де t_u – рекомендований крок розташування болтів, виходячи з тиску обичайці апарата;

$$t_u = (3,5-4,2) \cdot d_{\phi}$$

$$n = \max \left\{ \frac{3,14 \cdot 1,51}{3,5 \cdot 0,02}, \frac{3,14 \cdot 1,51}{4,2 \cdot 0,02} \right\} = \max \{67,7; 56,4\}$$

$$n = 64 \text{ шт}$$

Товщина фланця

$$h = \lambda \cdot \sqrt{S_0 \cdot D} \quad (3.30)$$

де λ – коефіцієнт, що враховує гнучкість фланця, $\lambda = 0,43$

$$h = 0,43 \cdot \sqrt{14 \cdot 1400} = 60 \text{ мм}$$

Ширина прокладки	$b = 0,0145 \text{ м}$
Товщина прокладки	$h_n = 0,003 \text{ м}$
Діаметр болтів	$d_{\phi} = 0,02 \text{ м}$
Товщина втулки	$S_0 = 0,014 \text{ м}$
Висота втулки	$l = 0,065 \text{ м}$
Діаметр болтової окружності	$D_{\phi} = 1,151 \text{ м}$
Зовнішній діаметр фланців	$D_n = 1,55 \text{ м}$
Зовнішній діаметр прокладки	$D_2 = 1,468 \text{ м}$
Середній діаметр прокладки	$D_{cp} = 1,4535 \text{ м}$
Кількість болтів	$n = 64$
Товщина фланця	$h = 0,06 \text{ м}$

3.8 Визначення розмірів перемішуючого пристрою, розрахунок потужності, що потрібна для перемішування

Визначення відносного діаметра листового пристрою, що перемішує, проводиться по формулі [24, с.702, табл. 31.1]

$$d_m = \frac{D}{2} \quad (3.31)$$

$$d_m = \frac{1400}{2} = 700 \text{ мм}$$

Визначення потужності, що потрібна для перемішування

Розрахункова потужність, споживана пристроєм, що перемішує

$$P'_m = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5 \quad (3.32)$$

де $\rho_c = 1,217 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – щільність розчину

n – частота обертання мішалки; $n = 1,05 \text{ об/с}$;

$\mu_c = 1,321 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості розчину;

K_N – критерій потужності, визначається за графіком [24, с.707, рис. 31.1] залежно від відцентрового критерію Рейнольдса:

$$\text{Re}_\mu = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_c} \quad (3.33)$$

$$\text{Re}_\mu = \frac{1,217 \cdot 10^3 \cdot 1,05 \cdot 0,7^2}{1,321 \cdot 10^{-3}} = 4,74 \cdot 10^5$$

$$K_N = 0,38$$

$$P'_m = 0,38 \cdot 1,217 \cdot 10^3 \cdot 1,05^3 \cdot 0,7^5 = 89,98 \text{ Вт}$$

Остаточна розрахункова потужність, необхідна на перемішування

$$P_m = P'_m \cdot K_H \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (3.34)$$

$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ – коефіцієнти, що підвищують потужність і враховуючі наявність внутрішніх пристроїв в апараті (змійовики, гільзи термометра й т.д). У цьому випадку $K_1 = 1; K_2 = 1; K_3 = 1,1; K_4 = 1,2; K_5 = 1; K_6 = 1;$

K_H – коефіцієнт, що враховує висоту стовпа рідини в апараті, $K_H \geq 1$

Висота стовпа рідини в апараті, через те, що апарат заповнюється не більше ніж на 70% обчислюється по формулі

$$H_{ж} = 0,7 \cdot (l + H_{дн}) \quad (3.35)$$

де $H_{дн} = 350$ мм – висота днища;

$l = 3630$ мм – довжина обичайки.

$$H_{ж} = 0,7 \cdot (3630 + 350) = 2786 \text{ мм}$$

$$K_H = \left[\frac{H_{ж}}{D} \right]^{0,5} \quad (3.36)$$

$$K_H = \left[\frac{2786}{1400} \right]^{0,5} = 1,41$$

$$P_m = 89,98 \cdot 1,41 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 167,47 \text{ Вт}$$

Визначення потужності на валу електродвигуна привода

$$P_{прив} = \frac{P_m}{\eta} \quad (3.37)$$

де η – к.к.д привода, перебуває в межах 0,9 – 0,96. Для типу привода приймається $\eta = 0,9$.

$$P_{прив} = \frac{167,47}{0,9} = 186,07 \text{ Вт}$$

Виходячи з потужності привода $P_{прив} = 186,07 \text{ Вт}$ і кутової швидкості обертання валу, що перемішує пристрою $\omega = 6,6 \text{ рад/с}$ [24,с.704,табл.31.2],

вибираємо необхідний типорозмір мотор-редуктора привода мішалки 10 [24,с.726,табл.32.2], відповідно до якого обґрунтовано використання вертикального привода з кінцевою опорою валу (тип І) (по МН 5855-66), у комплект якого входить:

- 1 – мотор-редуктор по МН 5534-66;
- 2 – стійка;
- 3 – муфта по МН 5871-66;
- 4 – ущільнення по МН 5866-66, МН 5868-66;
- 5 – опора валу кінцева по МН 5864-66, МН 5865-66;
- 6 – вал пристрою, що переміщує, [24, с.728, табл. 32.7]:

Діаметр валу $d = 40$ мм

Висота привода $H = 1000$ мм

Висота стійки $H_I = 565$

L – не більш 2000 мм

l – не менш 40 мм

Маса привода = 180 кг

Допустиме осьове навантаження на вал = 4900 Н

Потужність привода $P = 2200$ Вт

Кутова швидкість обертання валу, що переміщує пристрій $\omega = 6,6$ рад/с.

Визначення остаточного діаметра валу мішалки

За остаточний діаметра валу пристрою, що переміщує, ухвалюється більше із двох значень:

стандартний діаметра валу обраного привода $d = 40$ мм, отриманий з умови міцності на крутіння:

$$\tau = \frac{P_{прив}}{0,2 \cdot d_e^3 \cdot \omega} \leq [\tau] \quad (3.38)$$

звідки

$$d_e \geq \sqrt[3]{\frac{P_{прив}}{0,2 \cdot [\tau] \cdot \omega}} \quad (3.39)$$

де $[\tau]$ - допустиме напруження валу при крутінні, $[\tau] = 35 \text{ МПа}$

$$d_e \geq \sqrt[3]{\frac{186,07}{0,2 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 6,6}} = 0,016 \text{ м}$$

Тоді $d_e = 40$ мм – найближче значення діаметра валу, що випускається вітчизняною промисловістю.

Як впливає з результатів даного пункту розрахунку, стандартизований вал вертикального привода з кінцевою опорою валу, що відповідає 10 типорозміру мотор-редуктора, має достатній запас міцності на крутіння й немає необхідності в заміні його на вал більшого діаметра.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОБІТ

4.1 Загальні питання з охорони праці

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці. Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Завданням даної магістерської роботи було дослідити та розробити програмні засоби для забезпечення безпеки WEB-додатків користувачів комп'ютерних систем від несанкціонованого втручання в їх роботу. Дана робота з точки зору питань з охорони праці проводилась в офісному приміщенні при нормальних кліматичних умовах з використанням сучасного персонального комп'ютера та офісної техніки (принтера та сканера).

При роботі з обчислювальною технікою змінюються фізичні і хімічні фактори навколишнього середовища: виникає статична електрика, електромагнітне випромінювання, змінюється температура і вологість, рівень вміст кисню і озону в повітрі. Повітря забруднюється шкідливими хімічними речовинами антропогенного походження за рахунок деструкції полімерних матеріалів, які використовуються для обробки приміщень та обладнання. Неправильна організація робочого місця сприяє загальному і локальній напрузі м'язів шиї, тулуба, верхніх кінцівок, викривлення хребта і розвитку остеохондрозу. На всіх підприємствах, в установах, організаціях повинні створюватися безпечні і нешкідливі умови праці. Забезпечення цих умов покладається на власника або уповноважений ним орган (далі роботодавець).

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці. Роботодавець повинен впроваджувати сучасні засоби техніки безпеки, які запобігають виробничому травматизмові, і забезпечувати санітарно-гігієнічні умови, що запобігають виникненню професійних захворювань працівників. Він не має права вимагати від працівника виконання роботи, поєднаної з явною небезпекою для життя, а також в умовах, що не відповідають законодавству про охорону праці. Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або людей, які його оточують, і навколишнього середовища.

4.1.1 Правові та організаційні основи охорони праці

Основним організаційним напрямом у здійсненні управління в сфері охорони праці є усвідомлення пріоритету безпеки праці і підвищення соціальної відповідальності держави, і особистої відповідальності працівників.

Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Відповідно до статті 3 [28] законодавство про охорону праці складається з [29, 30] та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів, норм міжнародного договору (ратифіковані Конвенції і Рекомендації МОТ, директиви Європейської Ради).

На законодавчому рівні визначено такі пріоритетні напрямки з безпеки праці:

- кожен працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених Законом, нормами і правилами вимог;
- напрямки реалізації конституційного права громадян на їх життя і

здоров'я в процесі трудової діяльності:

- пріоритет життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення належних – безпечних і здорових умов праці;
- соціальний захист працівників, повне відшкодування збитків особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- комплексне розв'язання завдань охорони праці;
- підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;
- соціальний захист працівників, повне відшкодування збитків особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- використання економічних методів управління охороною праці, участь держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці;
- використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародної співпраці.

Користувачі персональних комп'ютерів, для яких ця робота є головною, підлягають медичним оглядам: попереднім — під час влаштування на роботу і періодичним — протягом професійної діяльності раз на два роки. Жінок з часу встановлення вагітності та в період годування дитини грудьми до роботи з ПК не допускають.

Обов'язки працівників щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці (ст. 14), відповідальність робітників всіх категорій за порушення вимог щодо охорони праці (ст. 44) та структура організації/виробництв системи управління охорони праці визначені безпосередньо «Інструкцією на робоче місце № 1», та іншими затвердженими власними нормативними актами з питань охорони праці (правилами, нормами, регламентами, положеннями, стандартами, інструкціями та іншими документами, обов'язковими до виконання), тобто тих, що діють на підприємстві/організації, і визначені в [31].

Наявні трудові відносини між працівниками і роботодавцями в Україні за темою роботи регулюються [34], відповідно до якого права працюючої людини на охорону праці охороняються всебічно та норми охорони праці неухильно інтегровані до правил внутрішнього розпорядку організації/підприємства.

4.1.2 Організаційно-технічні заходи з безпеки праці

В організації/підприємстві проводиться навчання і перевірка знань з питань охорони праці відповідно до вимог [32], затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 231/10511.

Також впроваджені організаційні заходи з пожежної безпеки - навчання і перевірку знань відповідно до вимог [33], затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 29.09.2003 N 368, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 11.12.2003 за N 1148/8469.

Обов'язковими вимогами враховане наступне:

– не слід допускати до роботи осіб, що в установленому порядку не пройшли навчання, інструктаж та перевірку знань з охорони праці, пожежної безпеки та цих Правил.

– на підприємстві/організації, де експлуатуються ПК з ВДТ і ПП, розробляється інструкція з охорони праці відповідно до [34], затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 29.01.98 N 9, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 07.04.98 за N 226/2666.

– ознайомлення з правилами безпеки праці, одержання відповідних інструктажів засвідчується у журналі інструктажів.

– перед допуском до самостійної роботи кожен працівник має право на навчання з питань охорони праці і роботодавець зобов'язаний, і проводить таке навчання у вигляді двох інструктажів з питань охорони праці:

1. Вступного, який проводять працівники служби охорони праці об'єкта

господарювання з усіма працівниками, яких приймають на роботу незалежно від їхньої освіти та стажу роботи за програмою, в якій подають загальні питання охорони праці із врахуванням її особливостей на об'єкті господарювання;

2. Первинного, який проводять керівники структурних підрозділів на місці праці з кожним працівником до початку їхньої роботи на цьому робочому місці.

Проходження працівником цих інструктажів з питань охорони праці підтверджується записами у відповідних журналах обліку інструктажів і скріплюється підписами осіб, які проводили інструктажі та осіб, які отримали інструктажі.

3. Повторний (не рідше одного разу в 6 місяців);

4. Позаплановий (при зміні правил охорони праці);

5. Поточний (проводять з працівниками перед виконанням робіт, на яких оформляється наряд-допуск)

– обов'язкові організаційні заходи перед початком, під час і після завершення роботи повинні включати перевірку (візуально) наявності і справності електрообладнання та його заземлення, а під час виконання роботи вимогу «не залишати без нагляду обладнання, яке працює». Після закінчення роботи - вимагається прибирання робочого місця, відключення всіх електроприладів від електромережі.

Не допускається:

– виконувати обслуговування, ремонт та налагодження ПК з ВДТ і ПП безпосередньо на робочому місці оператора;

– зберігати біля ПК з ВДТ і ПП папір, дискети, інші носії інформації, запасні блоки, деталі тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи;

– відключати захисні пристрої, самочинно проводити зміни у конструкції та складі ПК з ВДТ і ПП або їх технічне налагодження;

– працювати з ВДТ, у яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо;

– працювати з матричним принтером за відсутності вібраційного килимка та зі знятою (піднятою) верхньою кришкою.

4.2 Аналіз стану умов праці

4.2.1 Вимоги до організації місця праці

При порівнянні відповідності характеристик робочого місця нормативним основні вимоги до організації робочого місця [36] і відповідними фактичними значеннями для робочого місця, констатуємо повну відповідність в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Характеристики робочого місця

Найменування параметра	Фактичне значення	Нормативне значення
Висота робочої поверхні, мм	750	680 – 800
Висота простору для ніг, мм	730	не менше 600
Ширина простору для ніг, мм	660	не менше 500
Глибина простору для ніг, мм	700	не менше 650
Висота поверхні сидіння, мм	470	400 □ 500
Ширина сидіння, мм	400	не менше 400
Глибина сидіння, мм	400	не менше 400
Висота поверхні спинки, мм	600	не менше 300
Ширина опорної поверхні спинки, мм	500	не менше 380
Радіус кривини спинки в горизонтальній площині, мм	400	400
Відстань від очей до екрану дисплея, мм	800	700 – 800

Робочий стіл на досліджуваному місці також містить достатньо простору для ніг. Крісло, що використовується в якості робочого сидіння, є підйомно-поворотним, має підлокітники і можливість регулювання за висотою і кутом нахилу спинки, також воно м'яке і виконане з екологічної шкіри, що дає можливість працювати у комфорті. Екран монітору знаходиться на відстані 0.8 м,

клавіатура має можливість регулювання кута нахилу 5-15°. Отже, за всіма параметрами робоче місце відповідає нормативним вимогам.

Приміщення кабінету знаходиться на другому поверсі трьох поверхової будівлі і має об'єм 78 м³, площу – 18 м². У цьому кабінеті обладнано три місця праці, з яких два укомплектовані ПК.

Температура в приміщенні протягом року коливається у межах 18–24°C, відносна вологість – близько 50%. Швидкість руху повітря не перевищує 0,2 м/с. Шум на робочому місці знаходиться на рівні 50 дБА. Система вентилявання приміщення — природна неорганізована, а опалення — централізоване.

Розміщення вікон забезпечує природне освітлення з коефіцієнтом природного освітлення не менше 1,5%, а загальне штучне освітлення, яке здійснюється за допомогою восьми люмінесцентних ламп, забезпечує рівень освітленості не менше 200 Лк.

У кабінеті є електрична мережа з напругою 220 В, яка створює небезпеку ураження електричним струмом. ПК та периферійні пристрої можуть бути джерелами електромагнітних випромінювань, аерозолів та шкідливих речовин (часток тонеру, оксидів нітрогену та озону).

За ступенем пожежної безпеки приміщення належить до категорії В. Кабінет має бути оснащений переносним вуглекислотним вогнегасником ВВК-5.

Наявна аптечка для надання долікарської допомоги, а також у кабінеті роблять вологе прибирання та щоденно провітрюють приміщення.

4.2.2 Навантаження та напруженість процесу праці

Як приклад наведено опис процесу праці оформлення роботи під час виконання магістерської роботи за фізичним навантаженням робота відноситься до категорії легкі роботи (Ia), її виконують сидячи з періодичним ходінням. Щодо характеру організації роботи, то розділи роботи необхідно виконати у встановлені конкретні терміни. За ступенем нервово-психічної напруги виконання роботи можна віднести до II – III ступеня і кваліфікувати як помірно напружений –

напружений за умови успішного виконання поставлених завдань.

Під час виконання робіт використовують ПК та периферійні пристрої, що призводить до навантаження на окремі системи організму. Такі перекося у напруженні різних систем організму, що трапляються під час роботи з ПК, зокрема, значна напруженість зорового аналізатора і довготривале малорухоме положення перед екраном, не тільки не зменшують загального напруження, а навпаки, призводять до його посилення і появи стресових реакцій.

Найбільшому ризику виникнення різноманітних порушень піддаються: органи зору, м'язово скелетна система, нервово-психічна діяльність, репродуктивна функція у жінок.

Тобто наявне психофізіологічні небезпечні та шкідливі фактори:

а) фізичного перевантаження:

- статичного;

- динамічного;

б) нервово-психічного перевантаження:

- розумового перенапруження;

- монотонності праці;

- перенапруження аналізаторів;

- емоційних перевантажень.

Роботу за дипломним проектом визнано, таку, що займає 50% часу робочого дня та за восьмигодинної робочої зміни рекомендовано встановити додаткові регламентовані перерви:

- для розробників програм тривалістю 15 хв. через кожну годину роботи.

4.3 Виробнича санітарія

На підставі аналізу небезпечних та шкідливих факторів при виробництві (експлуатації), пожежної безпеки можуть бути надалі вирішені питання необхідності забезпечення працюючих достатньою кількістю освітлення, вентиляції повітря, організації заземлення, тощо.

4.3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при роботі на ПК

Роботу, пов'язану з персональним комп'ютером (далі – ПК) з відео дисплейними терміналами (далі - ВДТ), у тому числі на тих, які мають робочі місця, обладнані ПК з ВДТ і периферійними пристроями (далі - ПП), виконують із забезпеченням виконання [37], які встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць, до роботи із застосуванням ПК з ВДТ і ПП. Переважно роботи за проектами виконують у кабінетах чи інших приміщеннях, де використовують різноманітне електрообладнання, зокрема персональні комп'ютери (ПК) та периферійні пристрої.

Робочі місця мають відповідати вимогам [36, 37].

Це передбачає, що визначена виробнича діяльність пов'язана з наявністю певної кількості небезпечних та/або шкідливих виробничих факторів. Тому у першій частині цього підрозділу за результатами аналізу повинні бути визначені такі фактори.

Робота ПК та периферійних пристроїв супроводжує виділення багатьох хімічних речовин, зокрема озону, оксидів нітрогену та аерозолів (високодисперсних частинок тонера). Для прикладу, за умов роботи з ПК виникають наступні небезпечні та шкідливі чинники: несприятливі мікрокліматичні умови, освітлення, електромагнітні випромінювання, забруднення повітря шкідливими речовинами (джерелом яких може бути принтер, сканер та ін.), шум, вібрація, електричний струм, електростатичне поле, напруженість трудового процесу та інше.

Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів виконується у табличній формі (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	Джерела факторів (види робіт)	Кількісна оцінка	Нормативні документи
1	2	3	4
<i>фізичні</i>			
- підвищена температура поверхонь обладнання	Експлуатація ПК	2	ДСН 3.3.6.042-99
- підвищений рівень шуму на робочому місці	Система охолодження ПК	2	ДСН 3.3.6.037-99
- підвищений рівень вібрації	Система охолодження ПК, привід	2	ДСН 3.3.6.039-99 ДСТУ ГОСТ 12.1.012-90
- недостатність природного світла	Порушення умов праці (вимог до приміщень)	2	ДБН В.2.5-28:2015
- недостатнє освітлення робочої зони	Порушення гігієнічних параметрів виробничого середовища	3	ДБН В.2.5-28:2015
- підвищена яскравість світла	Порушення умов праці (організації місця праці- налагодження моніторів)	1	ДСанПіН 3.3.2.007-98
<i>психофізіологічні:</i>			
- нервово-психічна перевантаження (розумове, перенапруження аналізаторів-зорових)	- пошук інформації для постановки теми; - пошук та аналіз аналогів і літератури; - пошук наявних технологій, моделювання та аналіз алгоритмів; - виконання роботи за темою диплома, тестування; - оформлення роботи	4	НПАОП 0.00-1.28-10 ДСанПіН 3.3.2.007-98

4.3.2 Пожежна безпека

Небезпека розвитку пожежі на обчислювальному центрі обумовлюється застосуванням розгалужених систем електроживлення ПК, вентиляції і кондиціонування. Небезпека загоряння пов'язана з особливістю комп'ютерів - із значною кількістю щільно розташованих на монтажній платі і блоках електронних вузлів і схем, електричних і комутаційних кабелів, резисторів, конденсаторів, напівпровідникових діодів і транзисторів. Надійна робота окремих елементів і мікросхем в цілому забезпечується тільки в певних інтервалах температури, вологості і при заданих електричних параметрах. При відхиленні реальних умов експлуатації від розрахункових можуть виникнути пожежонебезпечні ситуації.

Висока щільність елементів в електронних схемах призводить до значного підвищення температури окремих вузлів (80...100 °С). При проходженні електричного струму по провідниках і деталей виділяється тепло, що в умовах їх високої щільності може привести до перегріву, і може служити причиною запалювання ізоляційних матеріалів. Слабкий опір ізоляційних матеріалів дії температури може викликати порушення ізоляції і привести до короткого замикання між струмоведучими частинами обладнання (шини, електроди). Також ймовірна небезпека внаслідок перевантаження напруги, розрядки зарядів статичної електрики, пошкодження обладнання та електропроводки. Електростатичний розряд виникає під час тертя двох ізольованих матеріалів.

Пожежна безпека при застосуванні ПК забезпечується:

- системою запобігання пожежі,
- системою протипожежного захисту,
- організаційно-технічними заходами.

Згідно [38] таке приміщення, площею 25 м², відноситься до категорії "В" (пожежонебезпечної) та для протипожежного захисту в ньому проектом передбачено устаткування автоматичною пожежною сигналізацією із застосуванням датчиків-сповіщувачів РІД-1 (сповіщувач димовий ізоляційний) в

кількості 1 шт., і застосуванням первинних засобів пожежогасіння. Відповідно до норм первинних засобів пожежогасіння пропонується використовувати:

- ручний вуглекислий вогнегасник ОУ-5 в кількості 1 шт. або хімічний пінний ОХП-10 – 1 шт;
- ковдра 1 м², кошму 2×1,5 м² або азбестове полотно 2×2 м² в кількості 1 шт.

Виникнення пожежі можливе, якщо на об'єкті є горючі речовини, окислювач і джерела запалювання. Вірогідність пожежної небезпеки приймається значною, якщо ймовірна взаємодія цих трьох чинників. Горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, підлоги, двері, ізоляція силових, сигнальних кабелів і т.д.

Горючими матеріалами в приміщенні, де розташовані ПК, є:

- поліамід – матеріал корпусу мікросхем, горюча речовина, температура самозаймання 420 С,
- полівінілхлорид – ізоляційний матеріал, горюча речовина, температура запалювання 335 С, температура самозаймання 530 С,
- склотекстоліт ДЦ – матеріал друкарських плат, важкогорючий матеріал, показник горючості 1.74, не схильний до температурного самозаймання,
- пластикат кабельний №.489 – матеріал ізоляції кабелів, горючий матеріал, показник горючості більше 2.1,
- деревина – будівельний і обробний матеріал, з якого виготовлені меблі, горючий матеріал, показник горючості більше 2.1, температура запалювання 255 С, температура самозаймання 399 С.

Для відводу теплоти від ПК діє система кондиціонування. Тому кисень, як окиснювач процесів горіння, є в будь-якій точці приміщень ВЦ.

Простори усередині приміщень в межах, яких можуть утворюватися або знаходиться пожежонебезпечні речовини і матеріали відповідно [38] відносяться до пожежонебезпечної зони класу П-Па. Це обумовлено тим, що в приміщенні знаходяться тверді горючі та важкозаймисті речовини та матеріали. Приміщенню, у якому розташоване робоче місце, присвоюється II ступень вогнестійкості.

Потенційними джерелами запалювання можуть бути:

- іскри і дуги короткого замикання;
- електрична іскра при замиканні і розмиканні ланцюгів;
- перегріву від тривалого перевантаження,
- відкритий вогонь і продукти горіння,
- наявність речовин, нагрітих вище за температуру самозаймання,
- розрядна статична електрика.

Причинами можливого загоряння і пожежі можуть бути:

- несправність електроустановки;
- конструктивні недоліки устаткування;
- коротке замикання в електричних мережах;
- запалювання горючих матеріалів, що знаходяться в безпосередній близькості від електроустановки.

Продуктами згорання, що виділяються на пожежі, є: окис вуглецю; сірчистий газ; окис азоту; синильна кислота; акромін; фосген; хлор і ін. При горінні пластмас, окрім звичних продуктів згорання, виділяються різні продукти термічного розкладання: хлорангідридні кислоти, формальдегіди, хлористий водень, фосген, синильна кислота, аміак, фенол, ацетон, стирол [39].

Для захисту персоналу від дії небезпечних і шкідливих чинників пожежі проектом передбачається застосування промислового протигаза, що фільтрує, з коробкою марки «В» із сірою відміткою забарвлення – захист від неорганічних газів (хлор, фтор, бром, сірководень, сірковуглець, хлорціан, галогени), а цей фільтр не захистить від СО (тобто від чадного газу).

Можливе також відповідне застосування фільтрувальної коробки з маркуванням «СО» із фіолетовим забарвленням на фільтрі означає, що він захищає від Чадного газу. Або фільтру для протигазу з літерним маркуванням «SX» із фіолетовим забарвленням захистить від спец речовин таких як (зарин, зоман та фосген).

4.3.3 Електробезпека

На робочому місці виконуються наступні вимоги електробезпеки: ПК, периферійні пристрої та устаткування для обслуговування, електропроводи і кабелі за виконанням та ступенем захисту відповідають класу зони за ПУЕ (правила улаштування електроустановок), мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів. Лінія електромережі для живлення ПК, периферійних пристроїв і устаткування для обслуговування, виконана як окрема групова три-провідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників мають спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Електромережа штепсельних розеток для живлення персональних ПК, укладено по підлозі поруч зі стінами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. Металеві труби та гнучкі металеві рукави заземлені. Захисне заземлення включає в себе заземлюючих пристроїв і провідник, який з'єднує заземлюючий пристрій з обладнанням, яке заземлюється - заземлюючий провідник.

4.4 Гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища

4.4.1 Мікроклімат

Мікроклімат робочих приміщень – це клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючої на організм людини з'єднанням температури, вологості, швидкості переміщення повітря. В даному приміщенні проводяться роботи, що виконуються сидячи і не потребують динамічного фізичного напруження, то для нього відповідає категорія робіт Ia. Отже оптимальні значення

для температури, відносної вологості й рухливості повітря для зазначеного робочого місця відповідають [40] і наведені в таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 – Норми мікроклімату робочої зони об'єкту

Період року	Категорія робіт	Температура С°	Відносна вологість %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	легка-1 а	22 - 24	40 – 60	0,1
Тепла	легка-1 а	23 - 25	40 – 60	0,1

Дане приміщення обладнане системами опалення, кондиціонування повітря або припливно-витяжною вентиляцією. У приміщенні на робочому місці забезпечуються оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й рухливості повітря у відповідності [40]. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі мають відповідати [40]. Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні проводяться перерви в роботі користувача, з метою його провітрювання. Існують спеціальні системи кондиціонування, які забезпечують підтримання в приміщенні балансу оптимальних параметрів мікроклімату. Контроль параметрів мікроклімату в холодний і теплий період року здійснюється не менше 3-х разів на зміну (на початку, середині, в кінці). 80

4.4.2 Освітлення

Світло є природною умовою існування людини. Воно впливає на стан вищих психічних функцій і фізіологічні процеси в організмі. Хороше освітлення діє тонізуюче, створює гарний настрій, покращує протікання основних процесів вищої нервової діяльності.

Збільшення освітленості сприяє поліпшенню працездатності навіть в тих випадках, коли процес праці практично не залежить від зорового сприйняття. При

поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, виникає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків.

Освітленість приміщення має велике значення при роботі на ППК. Вона багато в чому визначається колірною і мережевий обстановкою. Для зменшеного поглинання світла стеля і стіни вище панелей (1,5-1,7м.). Якщо вони не облицьовані звукопоглинальним матеріалом, фарбуються білою водоемульсійною фарбою (коефіцієнт відбиття повинен бути не менше 0,7). Для забарвлення стіни панелей рекомендується віддавати перевагу світлим фарбам.

Основний потік природного світла при цій повинен бути зліва. Не допускається спрямування основного світлового потоку природного світла праворуч, ззаду і спереду працівника на ППК.

Робота на ППК може здійснюватися за таких видах освітлення:

– загальному штучному освітленні, коли відео монітори розташовуються по периметру приміщення або при центральному розташуванні робочих місць у два ряди по довжині кімнати з екранами, звернені в протилежні сторони;

– суміщене освітлення (природне + штучне) тільки при одному і трьох рядном розташуванні робочих місць, коли екран і поверхню робочого столу знаходяться перпендикулярно світла несучій стіні. При цьому штучне освітлення буде виконане стельовими або підвісними люмінесцентними світильниками, рівномірно розміщеними по стелі рядами паралельно світловим прорізам так, щоб екран відео монітора знаходився в зоні захисного кута світильника, і його проекції не доводилися на екран. Працюючі на ППК не повинні бачити відображення світильників на екрані. Застосовувати місцеве освітлення при роботі на ППК не рекомендується.

Природне освітлення, коли робочі місця з ППК розташовуються в один ряд по довжині приміщення на відстані 0,8 - 1,0 м від стіни з віконними прорізами, і екрани знаходяться перпендикулярно цієї стіни. Основний потік природного світла при цій повинен бути зліва. Не допускається спрямування основного світлового потоку природного світла праворуч, ззаду і спереду працює на ППК. Оптимальна відстань очей до екрана відео монітора повинна становити 60-70 см,

допустиме не менше 50 см. Розглядати інформацію ближче 50 см не рекомендується.

У проєкті, що розробляється, передбачається використовувати суміщене освітлення. У світлий час доби використовуватиметься природне освітлення приміщення через віконні отвори, в решту часу використовуватиметься штучне освітлення. Штучне освітлення створюється газорозрядними лампами.

Штучне освітлення в робочому приміщенні передбачається здійснювати з використанням люмінесцентних джерел світла в світильниках загального освітлення, оскільки люмінесцентні лампи мають високу потужність (80 Вт), тривалий термін служби (до 10000 годин), спектральний складом випромінюваного світла, близький до сонячного. При експлуатації ПК виконується зорова робота IV в розряді точності (середня точність). При цьому нормована освітленість на робочому місці (E_n) рівна 200 лк. Джерелом природного освітлення є сонячне світло.

У приміщенні, де розташовані ПК передбачається природне бічне освітлення, рівень якого відповідає [41]. Джерелом природного освітлення є сонячне світло. Регулярно повинен проводитися контроль освітленості, який підтверджує, що рівень освітленості задовольняє [41] і для даного приміщення в світлий час доби достатньо природного освітлення.

4.5 Заходи з організації виробничого середовища та попередження виникнення надзвичайних ситуацій

Відповідно до санітарно-гігієнічних нормативів та правил експлуатації обладнання наводимо приклади деяких заходів безпеки.

Заходи безпеки під час експлуатації персонального комп'ютера та периферійних пристроїв передбачають:

- правильне організування місця праці та дотримання оптимальних режимів праці та відпочинку під час роботи з ПК;
- експлуатацію сертифікованого обладнання;

- дотримання заходів електробезпеки;
- забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату;
- забезпечення раціонального освітлення місця праці (освітленість робочого місця не перевищувала 2/3 нормальної освітленості приміщення).

Зниження рівня шуму та вібрації:

- у джерелі виникнення, шляхом застосування раціональних конструкцій, нових матеріалів і технологічних процесів;
- звукоізолювання устаткування за допомогою глушників, резонаторів, кожухів, захисних конструкцій, оздоблення стін, стелі, підлоги тощо;
- використання засобів індивідуального захисту).

Заходи безпеки під час експлуатації інших електричних приладів передбачають дотримання таких правил:

- постійно стежити за справним станом електромережі, розподільних щитків, вимикачів, штепсельних розеток, лампових патронів, а також мережевих кабелів живлення, за допомогою яких електроприлади під'єднують до електромережі;
- постійно стежити за справністю ізоляції електромережі та мережевих кабелів, не допускаючи їхньої експлуатації з пошкодженою ізоляцією;
- не тягнути за мережевий кабель, щоб витягти вилку з розетки;
- не закривати меблями, різноманітним інвентарем вимикачі, штепсельні розетки;
- не підключати одночасно декілька потужних електропристроїв до однієї розетки, що може викликати надмірне нагрівання провідників, руйнування їхньої ізоляції, розплавлення і загоряння полімерних матеріалів;
- не залишати включені електроприлади без нагляду;
- не допускати потрапляння всередину електроприладів крізь вентиляційні отвори рідин або металевих предметів, а також не закривати їх та підтримувати в належній чистоті, щоб уникнути перегрівання та займання приладу;
- не ставити на електроприлади матеріали, які можуть під дією теплоти, що виділяється, загорітися (канцелярські товари, сувенірну продукцію тощо).

4.6 Техніка безпеки при проведенні науково-дослідницьких робіт

4.6.1 Вимоги безпеки під час виконання експериментів

У лабораторіях кафедри ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

- включати і вимикати випробувальне устаткування без дозволу викладача або інженера кафедри;
- торкатися до струмопровідних частин установок, електроприводів, електропроводів і кабелів;
- торкатися до рухомих частин випробувальних машин і лабораторних установок;
- відгвинчувати, загвинчувати вентилі, рукоятки, маховики, сигнальні лампи, електрозапобіжники лабораторного устаткування;
- збірка і розбирання установок, що знаходяться під електронапругою;
- залишати працюючі (включені) установки без нагляду;
- знаходитися в лабораторіях у верхньому одязі, складати верхній одяг на лабораторному устаткуванні;
- захаращувати проходи між лабораторними установками особистими речами (портфелями, сумками);
- знімати захищаючі кожухи деталей або електричних пускорегулюючих пристроїв, що обертаються.
- у приміщеннях лабораторій забороняється приймати їжу.

4.6.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

- перед початком роботи необхідно надіти спецодяг;
- перевірити з'єднання електроустаткуванні з контуром захисного заземлення, його справність, полягання інструменту, автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність первинних засобів пожежогасіння;
- при експлуатації електроустаткування необхідно суворо керуватися

правилами, висловленими в техпаспорті;

- при виявленні несправностей електроустаткування, приладів, стендів, захисного заземлення негайно повідомити про це зав. кафедрою або зав. лабораторією.

4.6.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

- студентам дозволяється працювати тільки на справному електроустаткуванні;

- відключення від мережі проводити, тільки узявшись за роз'єм, вилку або фішку щоб уникнути короткого замикання і можливого при цьому нещасного випадку;

- забороняється виймати штепсельні роз'єми, вилки, фішки, узявшись за дріт;

- забороняється працювати на електроустаткуванні у вологому одязі, вологими руками;

- забороняється залишати без нагляду, ремонтувати і переносити включене в мережу електроустаткування;

- забороняється підключати декілька споживачів електричної енергії до однієї штепсельної розетки щоб уникнути перевантаження електричної мережі і виникнення загоряння;

- забороняється заміна запобіжників, що перегоріли, "жучками". Необхідно застосовувати тільки запобіжники заводського виготовлення, що калібруються;

- забороняється захаращувати підступи до електричних пристроїв, шафам, автоматичним вимикачам, розеткам, а також відкривати їх;

- при раптовому припиненні подачі електроенергії всі вимикачі і важелі повинні бути негайно вимкнені;

- не допускається залишати неізольованими оголені дроти, перенавантажувати електромережу, користуватися розбитими вилками, розетками, вимикачами;

- роботи по ремонту апаратури і проведення експериментів на відкритих схемах з небезпечною для життя напругою виконувати тільки удвох;
- робоче місце тримати в сухому і чистому стані;
- при виявленні несправностей електроустаткування, вимірювальних приладів, стендів, за відсутності їх заземлення, а також при появі іскріння або характерного запаху перегрітої ізоляції, негайно знеструмити їх і повідомити про це керівника робіт або обслуговуючий персонал;
- приступати до роботи дозволяється тільки після усунення помічених несправностей електроустаткування, вимірювальних приладів і стендів.

4.6.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

- після закінчення роботи вимкнути електроприлади, відключити від мережі лабораторні стенди;
- вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити подовжувачі мережі 220 V, що використовуються;
- один раз в квартал проводити очищення від пилу і бруду за допомогою пилососа або щітки вузлів персональних комп'ютерів;
- забороняється проводити очищення від пилу і бруду включене в мережу електроустаткування;
- після закінчення роботи зняти спецодяг і помістити його в спеціально відведене місце;
- при відході з приміщення необхідно вимкнути всі споживачі електроенергії;
- привести в порядок робоче місце;
- здати ключі від лабораторії на вахту.

Про знайдені під час роботи і після закінчення роботи несправності і негаразди електроустаткування повідомити керівника занять або обслуговуючий персонал.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження з гідродинаміки руху транзитного потоку показали, що зміна конфігурації вхідного отвору в порожнисту лопать самоусмоктуючої мішалки дозволяє збільшити продуктивність транзитного потоку в режимі самоусмоктування за рахунок збільшення коефіцієнта витрати μ . Це у свою чергу дало можливість провести зміни конфігурації вхідної кромки лопаті самоусмоктуючої мішалки і без збільшення діаметра мішалки або частоти обертання досягти збільшення продуктивності транзитного потоку в режимі самоусмоктування. Випробування таких мішалок на лабораторному стенді дозволили розробити вдосконалену конструкцію самоусмоктуючої мішалки та отримати патент України [53]. Як показали дослідження, самоусмоктуючі мішалки мають невисокий енергетичний ККД, проте гарне дроблення газу забезпечує більшу площу поверхні контакту фаз, ставить ці перемішуючі пристрої по питомим енерговитратам на один рівень з високопродуктивними диспергуючими пристроями. Використання цих самоусмоктуючих мішалок в газорідних реакторах на наш розсуд є більш ефективне від існуючих в промисловості. Вони можуть бути впроваджені в виробництва на стадіях, наприклад, хлорування індантрона або антрахінона, сульфування алкілбензолів газоподібним сірчанам ангідридом, та озонування вуглеводнів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Соколов В. Н., Доманский И. В. Газожидкостные реакторы. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1976. 216 с.
2. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971. Пер. с польск. под ред. Щупляка И.А. Л., «Химия», 1975., 384 стр.
3. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. – Л.: Химия, 1984. – 336 с., ил.
4. Соколов В.Н., Яблокова М.А. Аппаратура микробиологической промышленности. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 278 с.: ил.
5. Доманский И. В., Соколов В. Н. Обобщение различных случаев конвективного теплообмена с помощью полуэмпирической теории турбулентного переноса, – «Теор. основы хим. технол.», 1968, т. 2, с. 761 – 767.
6. Восточно-Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774. Удосконалення перемішуючих пристроїв для газорідинних реакторів об'ємного типу. В. Я. Стороженко - кандидат технічних наук, професор; В. І. Склабінський – доктор технічних наук, професор; С. В. Шабрацький – аспірант (e-mail: shabrasky@rambler.ru). Кафедра процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв Сумський державний університет вул. Римського-Корсакова 2, м. Суми, Україна, 40007.
7. А. С. № 771089 (СССР) Способ получения алкил-арилсульфокислот или кислых алкилсульфатов и устройство для его осуществления / В. Я. Стороженко, В. И. Шабрацкий, В. И. Барвин и др. – Оpubл. в Б.И., 1980.
8. А.С. №1606168 (СССР) Устройство для перемешивания жидких сред / Шабрацкий В. И., Барвин В.И., Барвин А.И., и др. – Оpubл. в Б.И. №42, 1988.
9. Биргер И. А. Сопротивление материалов: учебное пособие / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов. – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1986. – 560 с.
10. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: учебное пособие для студентов втузов/ М.Ф. Михалев и др.;

под общ. ред. Михалева М. Ф. - Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1984. - 301 с.

11. РТМ 26-01-72-82. Валы вертикальных аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчета.

12. Шабрацкий В.И. Гидродинамика газожидкостных аппаратов с самовсасывающими мешалками. Автореф. канд. дис. М., 1995.

13. Башта Т.М. и др.. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. Ученик для машиностроительных вузов / Т.М. Башта и др.. М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

14. Альштуль А.Д. Гидравлические сопротивления.–М.:Недра,1970.–216 с.

15. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. – 384 с.

16. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат.: Учеб. пособие для машиностроительных вузов/ Под ред. С.С.Руднева и Л.Г. Подвидза, Изд. М.: Машиностроение, 1974. – 416 с.

17. А.С. 398265 СССР. Устройство для смешения жидкостей./ Парафенко Н.И., Розкин М.Я. Оpubл. 1973, Бюл.№38.

18. А.С. 771089 СССР. Способ получения алкиларилсульфокислот или кислот алкилсульфатов и устройство для его осуществления./ Стороженко В.Я., Барвин В.И., Шабрацкий В.И. и др.. Оpubл. 1980. Бюл. №38.

19. А. с. 1655548 СССР. Устройство для смешения жидкости с газом. /Д. И. Белкин, В. И. Шабрацкий, В. А. Носач и др. Оpubл. 1991, Бюл. № 22.

20. А. с. 398265 СССР. Устройство для смешения жидкостей. / Н. И. Парафенко, М. Я. Розкин. Оpubл. 1973, Бюл. № 38.

21. А. с. 1606168 СССР. Устройство для перемешивания жидких сред. /Шабрацкий В.И., Барвин В.И., Барвин А.И. и др.Оpubл.1990, Бюл. № 42.

22. Белкин Д.И., Шабрацкий В.И., Барвин В.И., Шабрацкий С.В. Увеличение производительности самовсасывающих мешалок по газовому реагенту. Матеріали восьмої міжнародної науково-практичної конференції. Том 7, Полтава 2012 р. с24-26.

23. Белкин Д.И., Шабрацкий С.В., Барвин В.И., Шабрацкий В.И. Усовершенствование конструкции самовсасывающих мешалок. Матеріали восьмої міжнародної науково-практичної конференції. Том 8, Полтава 2012 р. с46-48.

24. Лацинский А.А., Толчинский А.Р., Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.

25. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М Штонда. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища. Навчальний посібник.-Луганськ: Вид-во Східноукр.нац.ун-ту імені Володимира Даля 2005-300с.,56 іл.,42 табл., 33 бібліогр. назв.

26. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М Штонда. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. Навчальний посібник. - Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля 2007-306с.,108 іл.,117 табл., 48 бібліогр. назв.

27. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Введ. 01.01.90. – 80 с.

28. Закон України «Про охорону праці».

29. Кодексу законів України про працю.

30. Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності".

31. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві».

32. НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

33. НАПБ Б.02.005-2003 «Типове положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України».

34. НПАОП 0.00-4.15-98 «Положення про розробку інструкцій з охорони праці».

35. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
36. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».
37. НПАОП 0.00.-1.28-10 «Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин».
38. НАПБ Б.03.002-2007. «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».
39. ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».
40. ДСН 3.3.6.042-99. «Санітарні норми мікроклімату виробничих».
41. ДБН-В.2.5-28-2006. «Природне і штучне освітлення».
42. ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
43. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
44. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
45. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення».
46. Закон України «Про відходи».
47. Закон України «Про охорону атмосферного повітря».
48. Закон України Закон України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру».
49. ДСанПіН 2.2.7.029. «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення».
50. ДСТУ 3911-99. Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Загальні вимоги.
51. ДК 005-96. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів.
52. Патент 1104032 Великобританія. Methods of Mixing Liquids and Apparatus therefor - Eastman Kodak Company, опубл. 21.02.68 МКИ B01F.

ДОДАТОК

Таблиця 2.1 – Експериментальні та розрахункові дані для визначення коефіцієнта витрати циліндричних отворів з товщиною стінки 4мм

h, м	Q, л/с	Q, м ³ /с	V, м/с	ζ	μ	Re
1	2	3	4	5	6	7
Діаметр отвору 0,004 м						
0,130	0,005	0,000005	0,398	16,094	0,249	12738,85
0,220	0,012	0,000012	0,955	4,728	0,430	30573,25
0,420	0,020	0,00002	1,592	3,249	0,500	50955,41
0,660	0,025	0,000025	1,990	3,268	0,553	63694,27
1,000	0,032	0,000032	2,548	3,022	0,585	81528,66
1,300	0,040	0,00004	3,185	2,514	0,600	101910,8
1,560	0,045	0,000045	3,583	2,384	0,600	114649,7
Діаметр отвору 0,005 м						
0,200	0,005	0,000005	0,254777	60,451673	0,128616	8152,866
0,218	0,012	0,000012	0,611465	11,439639	0,295661	19566,88
0,258	0,02	0,00002	1,019108	4,8739161	0,452961	32611,46
0,330	0,025	0,000025	1,273885	3,9898104	0,500638	40764,33
0,412	0,032	0,000032	1,630573	3,0402941	0,573512	52178,34
0,532	0,04	0,00004	2,038217	2,5125226	0,630877	65222,93
0,654	0,045	0,000045	2,292994	2,4404564	0,654	73375,8
0,950	0,052	0,000052	2,649682	2,654821	0,655	84789,81
1,060	0,06	0,00006	3,057325	2,2249574	0,661	97834,39
Діаметр отвору 0,005 м із скосом						
0,183	0,005	0,000005	0,254777	55,31328	0,134458	8152,866
0,200	0,012	0,000012	0,611465	10,495082	0,308679	19566,88
0,240	0,02	0,00002	1,019108	4,5338754	0,46964	32611,46
0,300	0,025	0,000025	1,273885	3,6271004	0,525074	40764,33
0,355	0,032	0,000032	1,630573	2,6196709	0,617841	52178,34
0,460	0,04	0,00004	2,038217	2,172482	0,678456	65222,93
0,515	0,045	0,000045	2,292994	1,9217661	0,721356	73375,8
0,670	0,052	0,000052	2,649682	1,8723475	0,730814	84789,81
0,720	0,06	0,00006	3,057325	1,5112918	0,813441	97834,39
0,950	0,065	0,000065	3,312102	1,6990855	0,767171	105987,3
1,080	0,073	0,000073	3,719745	1,5314272	0,808075	119031,8
1,315	0,08	0,00008	4,076433	1,5526162	0,802542	130445,9
1,540	0,085	0,000085	4,33121	1,6106501	0,787951	138598,7
0,720	0,06	0,00006	3,057325	1,5112918	0,813441	97834,39

Продовження таблиці 2.1

Діаметр отвору 0,008 м						
1	2	3	4	5	6	7
0,070	0,005	0,000005	0,099522	138,66163	0,084922	3184,713
0,100	0,012	0,000012	0,238854	34,390285	0,170523	7643,312
0,130	0,02	0,00002	0,398089	16,094653	0,249264	12738,85
0,120	0,025	0,000025	0,497611	9,5082259	0,324302	15923,57
0,150	0,032	0,000032	0,636943	7,2542007	0,371283	20382,17
0,160	0,04	0,00004	0,796178	4,952201	0,449367	25477,71
0,190	0,045	0,000045	0,895701	4,6465096	0,463913	28662,42
0,200	0,052	0,000052	1,035032	3,6628706	0,522504	33121,02
0,235	0,06	0,00006	1,194268	3,2326868	0,556184	38216,56
0,245	0,065	0,000065	1,29379	2,8716905	0,590108	41401,27
0,300	0,073	0,000073	1,453025	2,7878782	0,598912	46496,82
0,325	0,08	0,00008	1,592357	2,5147896	0,630593	50955,41
0,390	0,085	0,000085	1,691879	2,6731604	0,611628	54140,13
0,420	0,095	0,000095	1,890924	2,3046254	0,658718	60509,55
0,490	0,1	0,0001	1,990446	2,4265785	0,641952	63694,27
Діаметр отвору 0,008 м із скосом						
0,085	0,005	0,000005	0,099522	168,37483	0,077066	3184,713
0,110	0,02	0,00002	0,398089	13,618553	0,270978	12738,85
0,135	0,032	0,000032	0,636943	6,5287806	0,391367	20382,17
0,160	0,045	0,000045	0,895701	3,9128502	0,505538	28662,42
0,200	0,06	0,00006	1,194268	2,7512228	0,602889	38216,56
0,240	0,073	0,000073	1,453025	2,2303026	0,669604	46496,82
0,310	0,085	0,000085	1,691879	2,1248198	0,69	54140,13
0,390	0,1	0,0001	1,990446	1,9313584	0,7	63694,27

Таблиця 2.2 – Експериментальні та розрахункові дані для визначення коефіцієнта витрати циліндричних отворів

h, м	Q, л/с	Q, м ³ /с	V, м/с	ζ	μ	Re
1	2	3	4	5	6	7
Діаметр отвору 5 мм, рівні кромки, товщина стінки 4мм						
0,200	0,005	0,000005	0,254777	60,451673	0,128	8152,866
0,218	0,012	0,000012	0,611465	11,439639	0,295	19566,88
0,258	0,02	0,00002	1,019108	4,8739161	0,452	32611,46
0,330	0,025	0,000025	1,273885	3,9898104	0,500	40764,33
0,412	0,032	0,000032	1,630573	3,0402941	0,573	52178,34
0,532	0,04	0,00004	2,038217	2,5125226	0,630	65222,93
0,654	0,045	0,000045	2,292994	2,4404564	0,654	73375,8
0,950	0,052	0,000052	2,649682	2,654821	0,655	84789,81
1,060	0,06	0,00006	3,057325	2,2249574	0,661	97834,39
Діаметр отвору 5 мм, скіс під кутом, товщина стінки 4мм						
0,183	0,005	0,000005	0,254777	55,31328	0,134	8152,866
0,200	0,012	0,000012	0,611465	10,495082	0,309	19566,88
0,240	0,02	0,00002	1,019108	4,5338754	0,470	32611,46
0,300	0,025	0,000025	1,273885	3,6271004	0,525	40764,33
0,355	0,032	0,000032	1,630573	2,6196709	0,618	52178,34
0,460	0,04	0,00004	2,038217	2,172482	0,678	65222,93
0,515	0,045	0,000045	2,292994	1,9217661	0,721	73375,8
0,670	0,052	0,000052	2,649682	1,8723475	0,731	84789,81
0,720	0,06	0,00006	3,057325	1,5112918	0,813	97834,39
0,950	0,065	0,000065	3,312102	1,6990855	0,767	105987,3
1,080	0,073	0,000073	3,719745	1,5314272	0,808	119031,8
1,315	0,08	0,00008	4,076433	1,5526162	0,803	130445,9
1,540	0,085	0,000085	4,33121	1,6106501	0,788	138598,7
Діаметр отвору 5 мм, товщина стінки 1мм						
0,035	0,005	0,000005	0,254777	10,579043	0,307	8152,866
0,060	0,012	0,000012	0,611465	3,1485246	0,47	19566,88
0,130	0,02	0,00002	1,019108	2,4558492	0,58	32611,46
0,240	0,025	0,000025	1,273885	2,9016803	0,587	40764,33
0,370	0,032	0,000032	1,630573	2,7303612	0,605	52178,34
0,510	0,04	0,00004	2,038217	2,4086213	0,644	65222,93
0,675	0,045	0,000045	2,292994	2,5188197	0,630	73375,8
0,880	0,052	0,000052	2,649682	2,4592027	0,637	84789,81
1,105	0,06	0,00006	3,057325	2,3194131	0,656	97834,39
1,340	0,065	0,000065	3,312102	2,3966048	0,654	105987,3
1,600	0,073	0,000073	3,719745	2,2687811	0,655	119031,8
1,830	0,08	0,00008	4,076433	2,160675	0,661	130445,9

Продовження таблиці 2.2

Діаметр отвору 8 мм, рівні кромки, товщина стінки 4мм						
1	2	3	4	5	6	7
0,070	0,005	0,000005	0,099522	138,66163	0,084	3184,713
0,100	0,012	0,000012	0,238854	34,390285	0,170	7643,312
0,130	0,02	0,00002	0,398089	16,094653	0,249	12738,85
0,120	0,025	0,000025	0,497611	9,5082259	0,324	15923,57
0,150	0,032	0,000032	0,636943	7,2542007	0,371	20382,17
0,160	0,04	0,00004	0,796178	4,952201	0,449	25477,71
0,190	0,045	0,000045	0,895701	4,6465096	0,463	28662,42
0,200	0,052	0,000052	1,035032	3,6628706	0,522	33121,02
0,235	0,06	0,00006	1,194268	3,2326868	0,556	38216,56
0,245	0,065	0,000065	1,29379	2,8716905	0,590	41401,27
0,300	0,073	0,000073	1,453025	2,7878782	0,598	46496,82
0,325	0,08	0,00008	1,592357	2,5147896	0,630	50955,41
0,390	0,085	0,000085	1,691879	2,6731604	0,611	54140,13
0,420	0,095	0,000095	1,890924	2,3046254	0,658	60509,55
0,490	0,1	0,0001	1,990446	2,4265785	0,641	63694,27
Діаметр отвору 8 мм, рівні кромки, товщина стінки 4мм						
0,085	0,005	0,000005	0,099522	168,37483	0,077	3184,713
0,110	0,02	0,00002	0,398089	13,618553	0,270	12738,85
0,135	0,032	0,000032	0,636943	6,5287806	0,391	20382,17
0,160	0,045	0,000045	0,895701	3,9128502	0,505	28662,42
0,200	0,06	0,00006	1,194268	2,7512228	0,602	38216,56
0,240	0,073	0,000073	1,453025	2,2303026	0,669	46496,82
0,310	0,085	0,000085	1,691879	2,1248198	0,690	54140,13
0,390	0,1	0,0001	1,990446	1,9313584	0,700	63694,27
Діаметр отвору 8 мм, товщина стінки 1мм						
0,005	0,005	0,000005	0,099522	9,904402	0,317	3184,713
0,020	0,02	0,00002	0,398089	2,4761005	0,550	12738,85
0,050	0,032	0,000032	0,636943	2,4180669	0,643	20382,17
0,100	0,045	0,000045	0,895701	2,4455314	0,690	28662,42
0,140	0,06	0,00006	1,194268	1,9258559	0,707	38216,56
0,215	0,073	0,000073	1,453025	1,9979794	0,707	46496,82
0,320	0,085	0,000085	1,691879	2,1933624	0,708	54140,13
0,425	0,1	0,0001	1,990446	2,1046854	0,709	63694,27
0,530	0,115	0,000115	2,289013	1,984625	0,711	73248,41

Таблиця 2.3 Експериментальні та розрахункові дані для визначення коефіцієнта витрати щілинних вертикальних отворів

h, м	Q, л/с	Q, м ³ /с	V, м/с	ζ	μ	Re			
1	2	3	4	5	6	7			
Вертикальна щілина отвору має усі прямі кромки									
0,005	0,02	0,00002	0,25	6,2784	0,399094	8000			
0,025	0,032	0,000032	0,4	4,905	0,451524	12800			
0,042	0,045	0,000045	0,5625	3,534507	0,531907	18000			
0,055	0,06	0,00006	0,75	3,06944	0,570782	24000			
0,064	0,073	0,000073	0,9125	3,157461	0,56277	29200			
0,072	0,086	0,000086	1,075	3,005075	0,576863	34400			
0,08	0,1	0,0001	1,25	2,82528	0,594935	40000			
0,085	0,114	0,000114	1,425	2,869629	0,59032	45600			
0,089	0,128	0,000128	1,6	2,889352	0,588301	51200			
0,092	0,14	0,00014	1,75	2,979037	0,579378	56000			
Вертикальна щілина отвору має одну вертикальну скошену кромку (кут скосу кромки вхідної щілини 60 ⁰), а інші прямі кромки									
0,0015	0,02	0,00002	0,25	4,7088		8000			
0,015	0,032	0,000032	0,4	3,310875	0,549577	12800			
0,028	0,045	0,000045	0,5625	2,480356	0,634955	18000			
0,038	0,06	0,00006	0,75	2,16256	0,680011	24000			
0,045	0,073	0,000073	0,9125	2,167809	0,679187	29200			
0,0505	0,086	0,000086	1,075	2,275029	0,662989	34400			
0,058	0,1	0,0001	1,25	2,297894	0,659683	40000			
0,065	0,114	0,000114	1,425	2,289906	0,660832	45600			
0,068	0,128	0,000128	1,6	2,322211	0,65622	51200			
0,07	0,14	0,00014	1,75	2,351197	0,652162	56000			
Вертикальна щілина отвору має одну вертикальну скошену кромку (кут скосу кромки вхідної щілини 45 ⁰), а інші прямі кромки									
0,02	0,02	0,00002	0,25	0,025	0,008	0,3	0,39	8000	0,00254
0,04	0,03	0,00003	0,4	0,04	0,005	0,5	0,61	12800	0,00407
0,01	0,04	0,00004	0,562	0,056	0,001	0,7	0,78	18000	0,02150
0,03	0,06	0,00006	0,75	0,075	0,001	0,8	0,99	24000	0,01592
0,05	0,07	0,00007	0,912	0,091	0,001	0,9	1,02	29200	0,01697
0,07	0,08	0,00008	1,075	0,107	0,001	0,9	1,01	34400	0,01682
0,09	0,1	0,0001	1,25	0,125	0,001	0,9	1,01	40000	0,016766
0,13	0,11	0,00011	1,425	0,142	0,001	0,9	1,01	45600	0,01556
0,16	0,12	0,00012	1,6	0,16	0,001	0,9	1,01	51200	0,01553
0,21	0,14	0,00014	1,75	0,175	0,001	0,9	1,01	56000	0,01486

Продовження таблиці 2.3

Вертикальна щілина отвору має одну вертикальну скошену кромку (кут скосу кромки вхідної щілини 60°), а інші прямі кромки									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,025	0,02	0,00002	0,25	0,025	0,008	0,35	0,39	8000	0,00254
0,040	0,032	0,00003	0,4	0,04	0,005	0,47	0,52	12800	0,00407
0,047	0,045	0,00004	0,562	0,056	0,003	0,58	0,65	18000	0,00686
0,068	0,06	0,00006	0,75	0,075	0,002	0,64	0,72	24000	0,00843
0,107	0,073	0,00007	0,912	0,091	0,003	0,648	0,720	29200	0,007933
0,140	0,086	0,00008	1,075	0,107	0,002	0,649	0,721	34400	0,008414
0,190	0,1	0,0001	1,25	0,125	0,002	0,647	0,719	40000	0,008383
0,247	0,114	0,00011	1,425	0,142	0,002	0,647	0,719	45600	0,00838
0,325	0,128	0,00012	1,6	0,16	0,002	0,647	0,719	51200	0,008029
0,395	0,14	0,00014	1,75	0,175	0,003	0,647	0,719	56000	0,007903
Вертикальна щілина отвору має усі прямі кромки									
0,040	0,032	0,000032	0,4	0,04	0,005	0,45	0,75	12800	0,004077
0,070	0,045	0,000045	0,5625	0,056	0,004	0,49	0,82	18000	0,004608
0,105	0,06	0,00006	0,75	0,075	0,004	0,53	0,88	24000	0,005461
0,160	0,073	0,000073	0,9125	0,091	0,004	0,53	0,89	29200	0,005305
0,178	0,086	0,000086	1,075	0,107	0,003	0,54	0,90	34400	0,006618
0,245	0,1	0,0001	1,25	0,125	0,003	0,54	0,90	40000	0,006501
0,317	0,114	0,000114	1,425	0,142	0,003	0,54	0,90	45600	0,00653
0,420	0,128	0,000128	1,6	0,16	0,003	0,54	0,90	51200	0,006213
0,520	0,14	0,00014	1,75	0,175	0,003	0,54	0,90	56000	0,006003