

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Факультет інженерії
Кафедра машинобудування та прикладної механіки**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської роботи

на тему: Проектування та розрахунок біореакторів з турбінними мішалками

Студента ІІ курсу ІІ групи ГМ-20-2дм
напряму підготовки: 133 – Галузеве машинобудування

Алієв В. Е.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник роботи доц., к. фіз-мат. н. Черніков М. Г.

*(вчене звання, науковий ступінь,
прізвище та ініціали)*

(підпис)

Завідувач кафедри проф., д.т.н. Соколов В.І.

*(вчене звання, науковий ступінь,
прізвище та ініціали)*

(підпис)

Сєверодонецьк – 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра машинобудування та прикладної механіки

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

Профілізація Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв.

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри
д.т.н., проф. СОКОЛОВ В. І.

« _____ » _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Алієв Валерій Едуардович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Проектування та розрахунок біореакторів з турбінними мішалками**

керівник роботи кандидат фізико-математичних наук, доцент Черніков М. Г.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «11» листопада 2021 року № 174/15.28

2. Строк подання студентом роботи 17.12.2021 року

3. Вихідні дані роботи: объем корпуса аппарата $V=2 \text{ м}^3$, діаметр корпуса апарата $D=1,2 \text{ м}$, тиск в рубашці $P_p=0,3 \text{ МПа}$, температура стінки рубашки $T_p=140^\circ\text{C}$, тиск в корпусі апарата $P=0,1 \text{ МПа}$, температура стінки корпусу апарата, $T=130^\circ\text{C}$, діаметр мешалки $D_m=0,22 \text{ м}$, кВт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Реферат. Вступ. Опис реакторів з механічним перемішуванням. Специфіка розрахунку конструкцій біореакторів. Розрахунок параметрів перемішувального пристрою. Вибір та подальший розрахунок приводу мішалки та валу. Проектно-конструкторський розрахунок деталі «Вал». Технологічний процес виготовлення деталі «Вал» Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Загальне креслення ферментатора. 2. Загальне креслення приводу реактора.

3. Робоче креслення деталі «Вал». 4. Маршрутний лист технологічного процесу виготовлення деталі «Вал»

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конструкції реакторів та перемішувальних пристроїв	Доц. Черніков М.Г.	18.10	
Вибір перемішуючого пристрою та його приводу	Доц. Черніков М.Г.	05.11	
Проектування технологічного процесу виготовлення валу	Доц. Черніков М.Г.	06.12	

7. Дата видачі завдання « » 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Згідно з календарним планом – графіком, затвердженим кафедрою машинобудування та прикладної механіки, що до виконання бакалаврських робіт		
1	Конструкції біореакторів та перемішувальних пристроїв	18.10	
2	Методологія розрахунку механічних перемішуючих пристроїв	25.10	
3	Проектування у системах САД деталей	01.11	
4	Вибір приводу перемішуючого пристрою	08.11	
5	Перевірочні розрахунки деталей реактора	22.11	
6	Розрахунок заготовки валу	01.12	
7	Проектування технологічного процесу виготовлення валу	10.12	
8	Затвердження завідувачем кафедри виконаного дипломного проекту	17.12	

Студент

(підпис)

Алієв В. Е.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Черніков М. Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається із 90 аркушів. До неї входять 21 ілюстрація, 22 таблиці.

Метою роботи є закріплення знань з розрахунків вертикальних апаратів з механічними переміщуючими пристроями, розрахунків приводів вертикальних апаратів, проектування технологічного процесу виготовлення валів а також ознайомлення з діючими нормативними документами (ГОСТ, ДСТУ, ОСТ та ін.).

Об'єкт дослідження: вертикальні апарати з механічними мішалками, нормативні документи (ГОСТ, ОСТ, ДСТУ та ін.), технологія виготовлення валу та вивчення етапів технологічного процесу на верстатах.

Предмет дослідження: технологія виготовлення валів, механічні верстати для обробки деталей.

Методи дослідження: У роботі використані проектні розрахункові моделі виконані у системі MathCad, метод фактичного контролю параметрів якості виготовлених деталей, креслення у САПР КОМПАС 3D.

ВСТУП	8
I ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Фізична сутність процесу перемішування механічними мішалками в ємностях	9
1.2 Перебіг рідини в апараті.....	9
1.3 Вплив перемішування на процеси хімічної технології.....	13
1.4 Вплив перемішування на масообмін.....	13
1.5 Масообмін між твердою та рідкою фазами.....	14
1.6 Вплив перемішування на теплопередачу.....	15
1.7 Апарати для перемішування та їх класифікація	15
1.8 Призначення апаратів та області їх роботи	18
1.9 Основні параметри апаратів.....	18
1.10 Вибір та вимоги до матеріалів для виготовлення хімічних реакторів.....	18
1.11 Типи і параметри мішалок	19
II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ	
2.1 Вибір типу перемішувального пристрою	34
2.2 Розрахунок потужності при перемішуванні.....	36
2.3 Визначення якості перемішування.....	41
2.4 Розрахунок турбінної відкритою мішалки	42
2.5 Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання.....	43
2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення операційних розмірів	48
2.7 Проектування технологічних операцій механічної обробки.....	53
2.8 Розрахунок режимів різання	54
2.5 Розрахунок точності технологічних операцій механічної обробки.....	58
III РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	60
3.1 Вхідні дані.....	60
3.2 Розрахунок геометричних розмірів апарату	60
3.3 Визначення розрахункових параметрів хімічного апарату	61
3.4 Розрахунок корпусу апарату	63
3.5 Розрахунок обичайки корпусу	63
3.6 Розрахунок днища.....	67

3.7 Розрахунок кришки.....	70
3.8 Розрахунок сорочки	70
3.9 Розрахунок днища сорочки.....	71
3.10 Розрахунок мішалки	72
3.11 Розрахунок вала.....	74
3.12 Вибір і розрахунок підшипників	84
3.13 Вибір і розрахунок муфти	85
3.14 Розрахунок допоміжних пристроїв	86
3.15 Стійка вертикальна	86
3.16 Мотор-редуктор.....	88
ВИСНОВОК.....	89
Список літератури	90

ВСТУП

Магістерської роботи є виконання дослідження апаратів для культивування мікроорганізмів, фізичних процесів, що відбуваються при вирощуванні, огляд типів перемішувачів пристроїв вертикальних апаратів, проектування вертикального апарату з турбінною мішалкою відкритого типу, розробка технологічного процесу виготовлення валу.

Було виконано проектний розрахунок деталі вал на базі раніше розрахованих параметрів приводу перемішувача пристрою і вертикального реактора, міцнісних розрахунків, а також розрахунків параметрів середовища в якій відбувається перемішування, в ході роботи було проведено:

- розрахунок параметрів реактора;
- розрахунок параметрів приводу перемішувача пристрою;
- розрахунок режиму роботи валу перемішувача пристрою;
- визначення параметрів валу та технології його виготовлення;
- розрахунок допусків валу;
- розробка маршрутного технологічного процесу обробки деталі.

Значну увагу приділено дослідженню типів мішалок, розрахунку критеріїв стійкості валу, а також вибору технологічного обладнання.

I ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Фізична сутність процесу перемішування механічними мішалками в ємностях

Механічні мішалки в ємностях застосовуються, за рідкісним винятком, для перемішування краплинних рідин.

Механічні мішалки створюють у рідині, що наповнює ємність, протягом, внаслідок якого забезпечується її перемішування. Найбільш широко застосовуються мішалки, що обертаються.

Мішалка передає рідині кількість руху від двигуна і тим самим викликає її рух.

Залежно від способу передачі рух рідини розрізняють два типи обладнання:

1. Мешалка передає кількість руху рахунок тангенціального напруги у бік, перпендикулярному напрямку руху мішалки.
2. Передача кількості руху відбувається за рахунок тиску лопаток мішалки на рідину у напрямку руху потоку.

До першої групи належить, наприклад, дискова мішалка. Коли така мішалка почне обертатися, то разом з нею почне рухатися прикордонний (“прилиплий”) шар рідини. Під дією в'язкості поступово почнуть починати рух і наступні шари рідини, поки течія не виникне у всьому обсязі ємності.

До другої групи відносяться, наприклад, лопатеві, турбінні та пропелерні мішалки. І тут передача кількості руху здійснюється прямим тиском лопаток на рідину. Цей спосіб найбільш поширений і є основним при перемішуванні рідин.

Лопатки мішалки при обертанні надають тиск на рідину, що знаходиться перед лопаткою, внаслідок чого частина рідини обтікає кромку лопаті і зміщується з навколишньою рідиною, частина починає обертатися в напрямку обертання мішалки. При цьому за лопаткою виникає розрідження, що викликає підсмоктування рідини із навколишнього середовища. В результаті обтікання та підсмоктування біля лопаток утворюються турбулентні вихори. Зі збільшенням числа оборотів мішалки дія відцентрової сили на рідину, що перебуває у просторі між лопатками, збільшуватиметься. Внаслідок цього виникають рух рідини в радіальному напрямку від периферії мішалки в навколишнє середовище та підсмоктування рідини до центру мішалки. Рідина, що скидається мішалкою під впливом відцентрової сили, проникає у навколишнє середовище таким же способом, як і потік із зануреного сопла. Це

означає, що відбувається обмін кількості руху з навколишньою масою рідини, що виявляється у розширенні перерізу потоку та поступової втрати швидкості у міру віддалення від мішалки. Поєднання зазначених процесів надає руху весь вміст ємності.

1.2 Перебіг рідини в апараті

Течія рідини в апараті, викликана мішалкою, зображується так званими лініями струму. Лінія струму є уявною лінією, яка показує шлях елементарної частки під час її руху. Зазвичай зображується кілька ліній струму певних відстанях те щоб були показані найбільш характерні шляхи частинок. Лінії струму можуть бути зображені у горизонтальному або вертикальному перерізі ємності, а також в аксонометричній проекції.

Залежно від основних напрямів ліній струму розрізняють три основних типи течії:

1. Тангенціальна течія - це течія, при якій рідина в ємності рухається паралельно шляху, що описується мішалкою (рис. 1.1).

Впливання рідини з простору між лопатями мішалки та її підсмоктування до мішалки незначні. Переміщення у вертикальному напрямку мізерне. Перемішування відбувається рахунок вихорів, що виникають по контуру лопаток. Якість перемішування буде найгіршою, якщо швидкість обертання рідини виявиться такою самою, як і швидкість обертання мішалки. Переважно тангенціальна течія має місце при перемішуванні лопатевими мішалками з таким числом оборотів, при якому ще не виникають чітко виражені потоки, спричинені відцентровою силою.

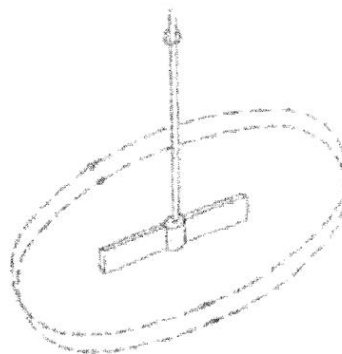


Рис. 1.1 – Схема тангенціального потоку

2. Радіальний перебіг - це перебіг, у якому рідина тече від мішалки перпендикулярно осі її обертання. Внутрішнє тертя рідини чинить опір течії, і тому виникнення потоку потрібно певне зусилля. Отже, радіальний перебіг

рідини від мішалки до периферії ємності можливий лише тоді, коли відцентрова сила буде достатньою для подолання опору навколишньої рідини. Відцентрова сила, що викликається мішалкою, залежить від діаметра мішалки та числа її оборотів. Тому, у деяких випадках, за збереження решти умов, тангенціальний перебіг у апараті можна змінити на радіальне збільшенням кількості обертів мішалки. На рис. 1.2 показані лінії струму при радіальному перебігу рідини, викликаному мішалкою, вісь якої збігається з віссю ємності. У цьому випадку мішалка утворює дві зони течії: у нижній частині ємності рідина підсмоктується знизу вгору, а у верхній частині ємності мішалка засмоктує рідину зверху вниз. Стікає рідина з мішалки перпендикулярно до осі її обертання.

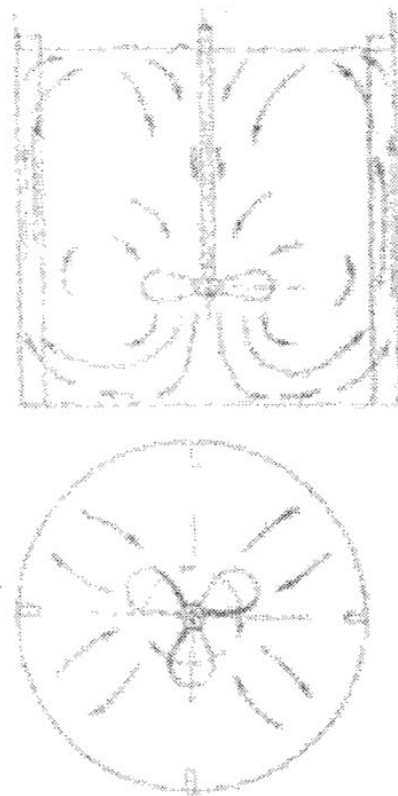


Рис. 1.2 – Схема радіального потоку рідини

3. Осьова течія - це течія, при якій рідина надходить і витікає з мішалки паралельно осі її обертання (рис. 1.3). Залежно від повороту лопат пропелера по відношенню до напрямку обертання (правий або лівий гвинт) розрізняють два типи вертикальних мішалок з осьовим перебігом рідини в апараті:

- мішалка, що засмоктує рідину від дна і нагнітає рідину до поверхні;
- мішалка, що засмоктує рідину від поверхні і нагнітає її на дно.

У промислових апаратах із мішалками можливі різні поєднання цих основних типів течії.

Знайдено, що по вертикалі, що проходить приблизно через коло, яка поділяє площу поперечного перерізу сосуду на дві рівновеликі частини, аксіальні потоки дорівнюють нулю. У центральній частині потоку аксіальні складові спрямовані вгору і спадають у напрямку вільної поверхні рідини. У зовнішній зоні потоку аксіальні складові спрямовані вниз і зростають у напрямку до дна сосуду.

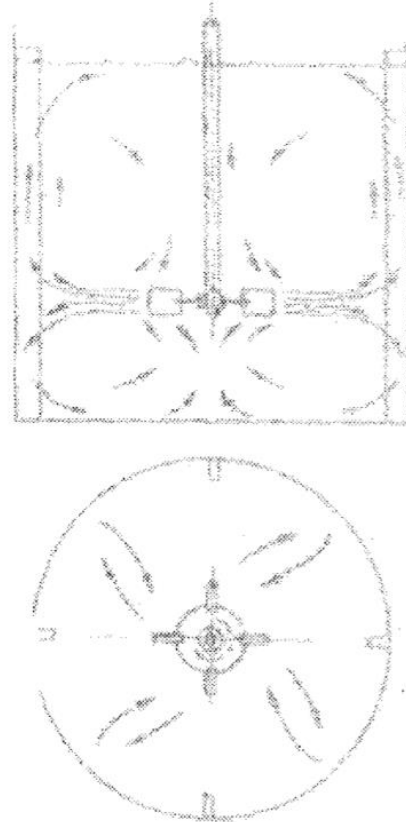


Рис. 1.3 – Схема аксіального перебігу рідини у апараті

Тангенціальні складові, за абсолютною величиною, лише не набагато менші від загальної швидкості потоку рідини. Вони значно більші за аксіальні (приблизно в 10 разів) і при переході знизу вгору зростають, хоча й незначно. У зовнішній зоні тангенціальні складові зменшуються за криволінійними залежностями, причому у малов'язких рідин - по увігнутих кривих (типу гіперболи), а у рідин зі значною в'язкістю - по опуклих.

Радіальні складові потоку, за абсолютним значенням, менше аксіальних (приблизно в 5 разів). Вони порівняно великі лише на рівні мішалки і різко зменшуються принаймні підйому потоку, причому їх кілька разів змінюється.

Узагальнити дослідні дані щодо окремих складових потоку виявилось неможливим.

1.3 Вплив перемішування на процеси хімічної технології

Перемішування призводить до зниження температурного та концентраційного градієнтів в оброблюваній системі; тому воно має дуже сприятливий вплив на перебіг всіх операцій, пов'язаних з передачею тепла або маси. До цих процесів відносяться, зокрема, такі широко поширені в хімічній технології операції, як: власне нагрівання або охолодження, розчинення, кристалізація, екстракція, абсорбція, електроліз та гетерогенні хімічні реакції, які у більшості випадків протікають у рідкому середовищі.

На цей час відносно повно вивчені лише теплопередача при перемішуванні і розчинення, хоч і з цих процесів накопичено порівняно мало експериментальних даних. В інших випадках, у зв'язку з тим, що більшість дослідників обмежувалися лише однією певною системою та одним типом мішалки, поки що важко сформулювати будь-які загальні висновки.

1.4 Вплив перемішування на масообмін

Розглянемо масообмін у багатофазних системах. Передача маси з однієї фази до іншої ускладнюється переходом маси через межу розділу фаз. Всередині окремих фаз (у разі масопередачі між фазами) переміщення маси відбувається внаслідок молекулярної дифузії, вільної та вимушеної конвекції. Так як масообмін між фазами, що відбувається тільки внаслідок мимовільних процесів, проходить занадто повільно, то для технічної практики з метою інтенсифікації масопередачі використовується вимушена конвекція, зокрема викликана перемішуванням. Більшість опублікованих робіт з впливу перемішування на масообмін присвячується системам, у яких принаймні однією фазою є рідина.

За агрегатним станом окремих фаз, що становлять систему, всі дослідження впливу перемішування на масообмін можна поділити на три групи:

- масообмін між твердою та рідкою фазами;
- масообмін між рідинами, що не змішуються;
- масообмін між газовою та рідкою фазами.

Залежно від того, який із параметрів, підведення речовини або хімічна реакція буде швидше - розрізняють дифузійну та кінетичну стадії реакції.

Якщо у реакторі протікає якийсь хімічний процес, треба написати рівняння хімічної реакції, підрахувати масу вихідних речовин і готових продуктів з урахуванням виходу, зробити перерахунок на технічний продукт, та скласти таблицю матеріального балансу.

1.5 Масообмін між твердою та рідкою фазами

Турбулентність має першорядне значення також у разі передачі маси між фазами. Найбільша турбулентність буде в центрі потоку, а до стінок або межі розділу фаз вона зменшується. Безпосередньо біля стін турбулентність буде нульовою.

Також, як і при передачі маси всередині однієї фази, інтенсивність масопередачі в багатофазній системі можна охарактеризувати густиною дифузійного потоку J_a . При цьому в основному рівнянні густини дифузійного потоку коефіцієнт дифузії слід замінити коефіцієнтом масовіддачі який має розмірність м/сек. Чисельне значення коефіцієнта масовіддачі показує, скільки речовини проходить через одиницю поверхні рідини за одиницю часу при різниці концентрацій, що дорівнює одиниці. Рівняння аналізу розмірностей можна записати за формою:

$$Nu_A = k_{\Delta} \cdot (C_{\text{тр}} - C) \quad (1.1)$$

де $C_{\text{тр}}$ – концентрація розчиненої речовини біля межі розділу фаз, а C – концентрація розчиненої речовини в потоці, у різних точках якого вона практично однакова, тому що вирівнювання концентрації за рахунок турбулентної дифузії відбувається дуже швидко.

При вивченні впливу перемішування на масовіддачу виходять із звичайного критеріального рівняння при вимушеному русі (1.2):

$$Nu_d = C \cdot Re_c^a \cdot Pr_d^b \quad (1.2)$$

де C - коефіцієнт рівняння; a та b - показники ступеня; Nu_d - дифузійний критерій Нуссельта; Re_c - відцентровий критерій Рейнольдса; Pr_d - дифузійний критерій Прандтля

Для процесів, що протікають під впливом перемішування, дифузійний критерій Нуссельта записують найчастіше у формі:

$$Nu_d = \frac{k_{\Delta} \cdot d_m}{D_d} \quad (1.3)$$

де k_{Δ} - коефіцієнт масовіддачі; D_d - коефіцієнт молекулярної дифузії; d_m - діаметр мішалки.

Дифузійний критерій Нуссельта характеризує масообмін межі розділу фаз.

Дифузійний критерій Прандтля є відношенням кінематичного коефіцієнта в'язкості до коефіцієнта молекулярної дифузії:

$$Pr_D = \frac{\nu}{D_D} = \frac{\mu}{\rho \cdot D_D} \quad (1.4)$$

Дифузійний критерій Прандтля характеризує масообмін у ядрі потоку.

Відцентровий критерій Рейнольдса виражають зазвичай для перемішування.

Підставивши відповідні значення безрозмірних груп, критеріальне рівняння масовіддачі при перемішуванні можна записати за формою:

$$\frac{k_{\Delta} \cdot d_M}{D_M} = C \cdot \left(\frac{n \cdot d^2}{\rho} \right)^a \cdot \left(\frac{\rho}{D_D} \right) \quad (1.5)$$

Значення показників ступеня a і b , а також коефіцієнта рівняння C для основних випадків масовіддачі в апаратах з пристроями, що перемішують, визначають графічно.

1.6 Вплив перемішування на теплопередачу

Теплопередача в циліндричних сосудах під час руху стисливої рідини визначається рівнянням:

$$\frac{a \cdot L}{\lambda} = C \cdot \left(\frac{\omega \cdot L \cdot \rho}{\mu} \right)^r \cdot \left(\frac{c \cdot \mu}{\lambda} \right)^{\delta} \quad (1.6)$$

Це рівняння є відомим співвідношенням між критеріями Нуссельта, Рейнольдса і Прандтля. Критерій Рейнольдса, що є мірою відношення сил інерції та молекулярного тертя, визначає схожість режиму течії в системі. Критерій Прандтля, що є мірою відношення інтенсивності передачі кількості руху за рахунок молекулярного перенесення та інтенсивності перенесення кількості теплоти за рахунок вільної конвекції, визначає подібність температурних та швидкісних полів. Критерій Нуссельта (визначена змінна) – безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі – зазвичай розглядають як співвідношення між інтенсивністю теплопередачі та напругою температурного поля у прикордонному шарі потоку теплоносія.

Для опису процесів тепловіддачі при перемішуванні замінимо у наведеному рівнянні звичайний вираз критерію Рейнольдса виразом відцентрового критерію Рейнольдса:

$$Nu = C \cdot Re_{\text{ц}}^r \cdot Pr^{\delta} \quad (1.7)$$

Отримаємо рівняння:

$$\frac{a \cdot d_M}{\lambda} = C \cdot \left(\frac{\rho \cdot n \cdot d_M^2}{\mu} \right)^r \cdot \left(\frac{c \cdot \mu}{\lambda} \right)^{\delta} \quad (1.8)$$

1.7 Апарати для перемішування та їх класифікація

Апарати з пристроями, що перемішують, є найбільш поширеним видом обладнання (рис. 1.4) використовуваного в хімічній технології для проведення різних фізичних і хімічних процесів. Вибір апаратів з пристроями, що перемішують, і конструктивні особливості апаратів визначаються характеристикою процесу, властивостями середовища, що перемішується, продуктивністю технологічної лінії, температурними параметрами процесу і тиском, при якому процес здійснюється. Таке різноманіття чинників, що впливають на вибір конструкції, ускладнюють завдання оптимального проектування апаратів.

Вирішення цього завдання вимагає знання гідродинамічних, фізичних і хімічних механізмів процесу, залежить від наявності конструкційних матеріалів, ступеня розробки стандартних конструкційних рішень та від можливостей розрахунку нетривіальних конструкцій у тих випадках, коли стандартні методи конструювання стають неприйнятними.

Такі складні проблеми можуть бути вирішені лише на основі детального вивчення окремих характеристик обладнання для того, щоб на цій основі вибрати ті основні параметри апарату, які відповідальні за швидкість протікання процесу та впливають на конструктивне його оформлення

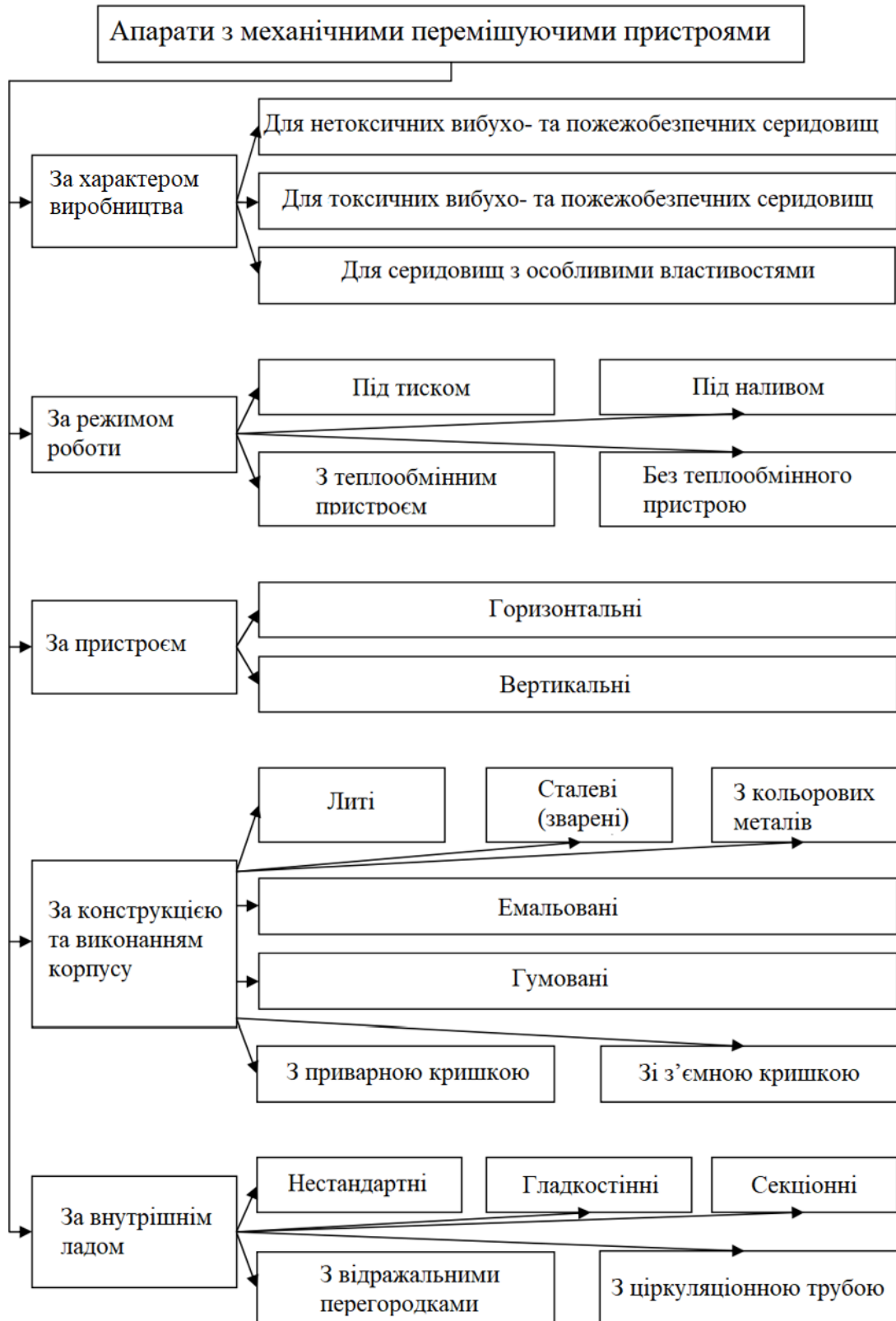


Рис. 1.4 – Класифікація апаратів з пристроями, що перемішують

1.8 Призначення апаратів та області їх роботи

Основні процеси хімічної технології здійснюються, як правило, в апаратах з пристроями, що перемішують. При цьому в середу вводиться додаткова енергія, яка використовується для перемішування.

Відомі різні методи введення енергії в середовище, що перемішується: механічний, циркуляційний, струменевий, пульсаційно, струминний, барботажний, газліфтний, електромагнітний і магнітно, вихровий. У практиці найбільшого поширення набув механічний метод перемішування рідких середовищ, здійснюваний шляхом механічного впливу робочого органу (мішалки) на робоче середовище.

Цей метод перемішування використовується в апараті, що складається, як правило, з корпусу та пристрою, що перемішує, що встановлюється на цей корпус.

Найбільш важливе значення в роботі апарату має тип і конструкція пристрою, що перемішує, робота якого полягає в перетворенні впорядкованої механічної енергії обертових елементів в невпорядковану теплову енергію за рахунок сил опору, створюваних корпусом апарату. В результаті цього пристрій, що перемішує, здійснює дисипацію енергії в обсязі апарату, величина якої залежить як від конструкції мішалки і характеристик приводу, так і від конструкції апарату і його внутрішніх пристроїв. Всі ці характеристики апарату разом визначають потужність перемішування N , яка залежить від режиму перебігу рідини в апараті.

Наявність внутрішніх пристроїв обсягом $V_{\text{вн}}$ зменшує дійсний обсяг $V_{\text{д}}$ апарату, тому при конструюванні вибір номінального об'єму апарату слід здійснювати за дійсним об'ємом, який не повинен відрізнитися від номінального більш ніж на +10% и -5%. Таким чином, $0,95 \cdot V < V_{\text{д}} < 1,1 \cdot V$, а:

$$V_{\text{д}} = V - V_{\text{вн}} + \sum V_i \quad (1.9)$$

1.9 Основні параметри апаратів

Основними параметрами апаратів для перемішування рідких неоднорідних середовищ є: номінальний обсяг, тиск у корпусі апарату, тиск у теплообмінних пристроях, температура середовища, температура теплоносія в теплообмінних пристроях, потужність приводу, частота обертання вихідного валу.

Номінальний обсяг апарату є його основною характеристикою, що визначає його продуктивність. Під номінальним об'ємом V розуміють його внутрішній об'єм з урахуванням об'єму від'ємних кришок, але без урахування об'ємів штуцерів, люків, футерування та внутрішніх вбудованих в апарат

пристроїв, об'єм яких позначений $\sum V_i$, причому значення кожного і-го обсягу відповідає, наприклад, обсягу футеровки або обсягу, що займає барбатер.

1.10 Вибір та вимоги до матеріалів для виготовлення хімічних реакторів

Хімічні реактори призначаються щодо різних фізико-хімічних процесів з перемішуванням, зберіганням, нагріванням нейтральних і агресивних, шкідливих (токсичних), вибухонебезпечних рідин, емульсій, суспензій при температурі середовища від -20°C до $+200^{\circ}\text{C}$. Тому до вибору матеріалів, з яких виготовляються реактор та його конструктивні елементи, висуваються жорсткі вимоги.

Апарати виготовляють із:

- Вуглецевої сталі Ст3;
- низьколегованої сталі 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 06ХН28МДТ(ЕІ943) (молібденвмісні сталі);
- Нержавіючої сталі 09Г2С, 16ГС, 10Г2;
- титану ВТ-1-0 та інших сталей із захисним покриттям.

1.11 Типи і параметри мішалок

Тип мішалок вибирається залежно від властивостей робочого середовища в апараті і заданої кутової швидкості мішалки (частоти обертання валу).

Для забезпечення умови міцності найбільший крутний момент на валу мішалки не повинен перевищувати значень допустимого крутного моменту, зазначеного в таблицях, відповідно до ОСТ 26-01 -1245-83.

Лопатеві і рамні мішалки відносяться до числа тихохідних. Вони мають відносно великі розміри і малу швидкість обертання. Рамні мішалки застосовують для перемішування в'язких рідин і суспензій. Турбінні пропелерні мішалки відносяться до швидкохідних і мають частоту обертання 100-1000 хв.⁻¹. У разі необхідності повідомлення рідини часткового вертикального переміщення лопатеві мішалки виконують з похилими лопатями.

Конструкція і основні розміри мішалок повинні відповідати зазначеним в таблицях.

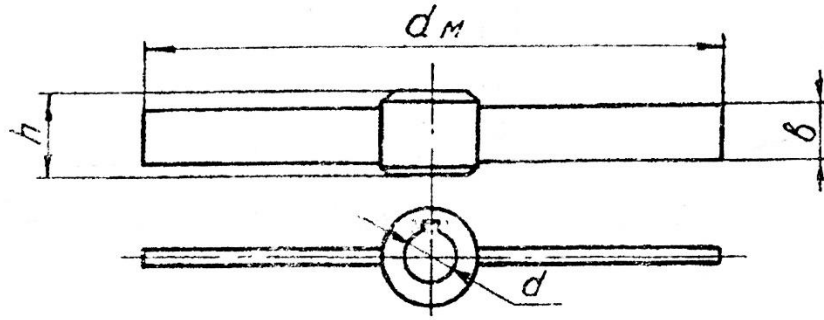
Розміри конструктивних елементів мішалок, зазначені у вигляді співвідношень на рис. 1.1, слід визначати розрахунковим шляхом виходячи з умов прийнятого конкретного типорозміру мішалки. Числові значення цих розмірів встановлюються шляхом округлення розрахункових величин до найближчого парного числа або кратного п'яти в бік збільшення.

Допускається в обґрунтованих випадках збільшення або зменшення ширини лопаті мішалки (b) в порівнянні з вказаною в таблицях не більше ніж на 25%.

Мішалки повинні виготовлятися зі сталі марок ВстЗсп4 по ГОСТ 380-71, 078Х22Н6Т, 12Х18Н10Т і 10Х17Н13МЗТ по ГОСТ 5632-72.

Допускається виготовлення мішалок зі сталі інших марок. Конструкційний матеріал повинен вибиратися з урахуванням корозійних властивостей хімічної стійкості і параметрів робочого середовища. Швидкість проникнення корозії при робочих умовах не повинна перевищувати 0,1 мм на рік.

Конструктивні та основні розміри мішалок представлені на рис. 1.5; 1.6; 1.7; 1.8; 1.9; 1.10.



Виконання 2, $d_M = 710 \div 2240$ мм

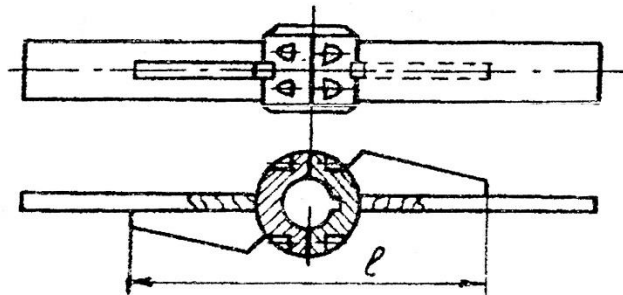
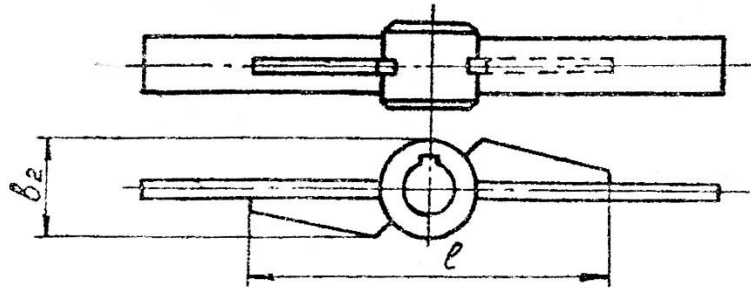


Рис. 1.5. Лопатеві мішалки

$$l = 0.63 d_M; b_2 = 1.5b, S, S_1$$

Таблиця 1.1 Параметри лопатевих мішалок по ОСТ-26-01-1245-83

d _м	d (поле допуску Н9)	d (поле допуску по Н9)	h	b	s	Допустимий крутний момент		Маса, кг, не більше
						кНм	кгс.м	
						не більше		
125	18	18	30	12	3	0,002	0,2	0,17
160	18	18	30	16	4	0,003	0,3	0,29
180	18	18	30	18	4	0,005	0,5	0,32
200	18	18	30	20	4	0,007	0,7	0,35
220	25	25	30	22	4	0,009	0,9	0,45
250	25	25	30	25	4	0,011	1,1	0,50
280	25	25	40	28	4	0,016	1,6	0,63
320	25	25	40	32	4	0,020	2,0	0,73
360	25	25	40	36	6	0,03	3	1,16
400	25	25	50	40	6	0,04	4	1,34
450	32	32	50	45	6	0,06	6	1,83
500	32	32	70	50	8	0,08	8	2,89
560	32	32	70	56	8	0,10	10	3,40
630	32	32	70	64	8	0,16	16	4,00
710	45	45	90	72	10	0,20	20	6,3
800	45	45	90	80	10	0,28	28	7,5
900	45	45	110	90	10	0,35	35	9,9
1000	45	45	110	100	12	0,45	45	13,0
1120	60	60	130	112	12	0,60	60	19,0
1250	60	60	130	125	12	0,80	80	21,0

Кінець таблиці 1.1

d_m	d (поле допуску Н9)	d (поле допуску по Н9)	h	b	s	Допустимий крутний момент		Маса, кг, не більше
						кНм	кгс.м	
						не більше		
1400	80	80	150	140	12	1,20	120	29,5
1600	80	80	180	160	14	1,6	160	37,4
1800	90	90	200	180	14	2,0	200	54,0
2000	90	90	220	200	14	3,0	300	64,1
2240	90	90	250	224	14	4,0	400	78,8

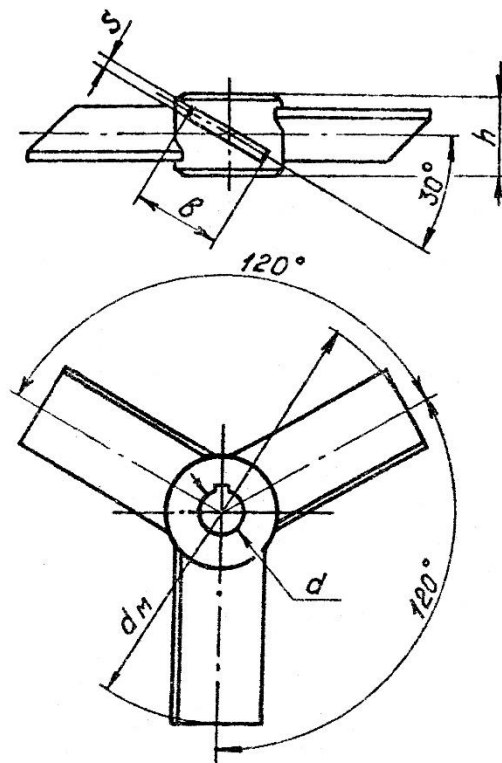


Рис. 1.6. Трилопатеві мішалки

Тип 1М (тип 31, 34)

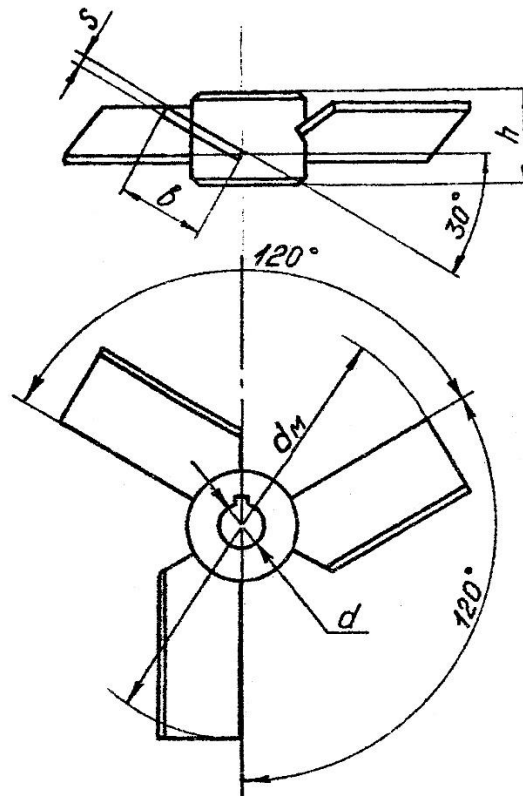


Рис. 1.7. Трилопатеві мішалки

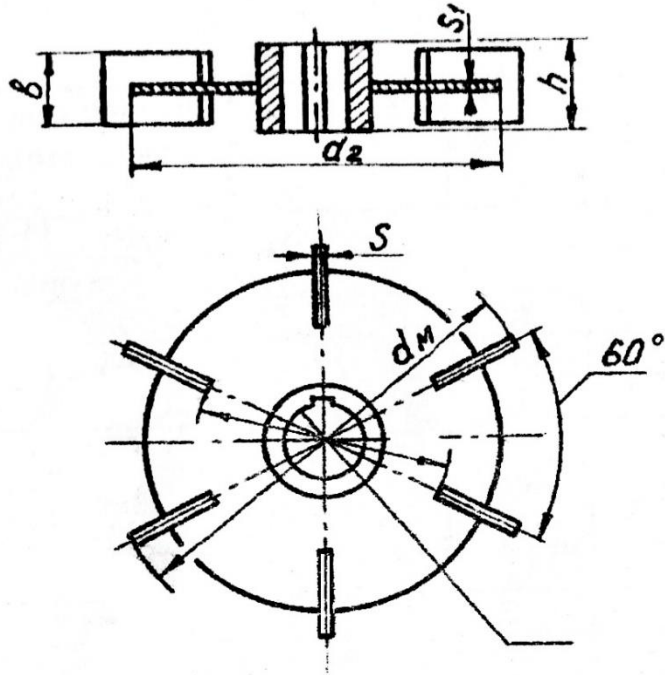
Тип 1М (тип 31, 34)

Таблиця 1.2 – Параметри лопатевих мішалок по ОСТ-26-01-1245-83

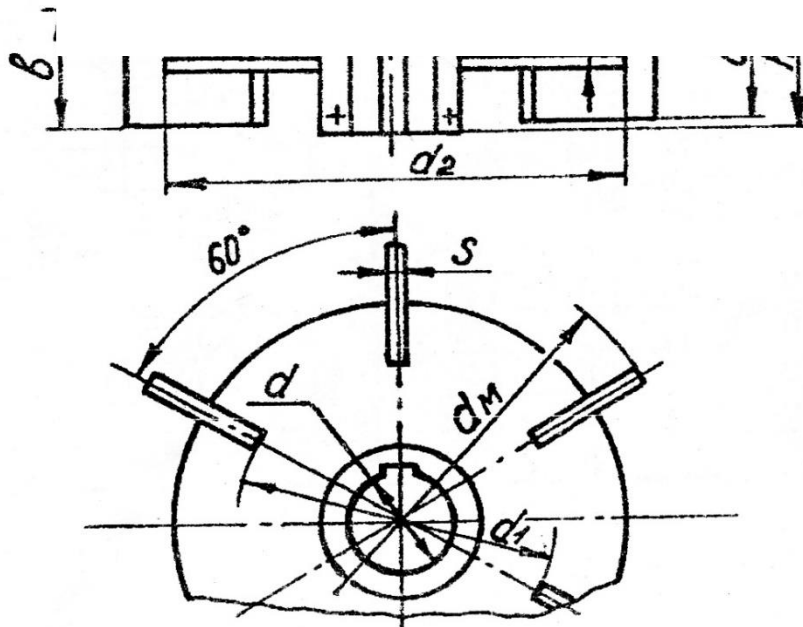
d_m	d (поле допуску Н9)	h	b	s	Допустимий крутний момент		Маса кг, не більше
					кНм	кгс.м	
					не більше		
125	18	30	12	3	0,002	0,2	0,17
160	18	30	16	4	0,003	0,3	0,29
180	18	30	18	4	0,005	0,5	0,32
200	18	30	20	4	0,007	0,7	0,35

Кінець таблиці 1.2

d _м	d (поле допуску Н9)	h	b	s	Допустимий крутний момент		Маса кг, не більше
					кНм	кгс.м	
					не більше		
220	25	30	22	4	0,009	0,9	0,45
250	25	30	25	4	0,011	1,1	0,50
280	25	40	28	4	0,016	1,6	0,63
320	25	40	32	4	0,020	2,0	0,73
360	25	40	36	6	0,03	3	1,16
400	25	50	40	6	0,04	4	1,34
450	32	50	45	6	0,06	6	1,83
500	32	70	50	8	0,08	8	2,89
560	32	70	56	8	0,10	10	3,40
630	32	70	64	8	0,16	16	4,00
710	45	90	72	10	0,20	20	6,3
800	45	90	80	10	0,28	28	7,5
900	45	110	90	10	0,35	35	9,9
1000	45	110	100	12	0,45	45	13,0
1120	60	130	112	12	0,60	60	19,0
1250	60	130	125	12	0,80	80	21,0
1400	80	150	140	12	1,20	120	29,5
1600	80	180	160	14	1,6	160	37,4
1800	90	200	180	14	2,0	200	54,0
2000	90	220	200	14	3,0	300	64,1
2240	90	250	224	14	4,0	400	78,8



Виконання 1, $d_M = 80 \div 1400$ мм

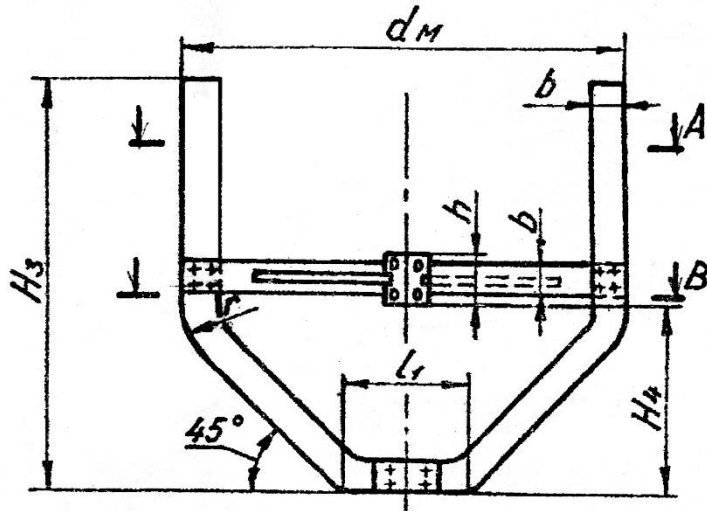
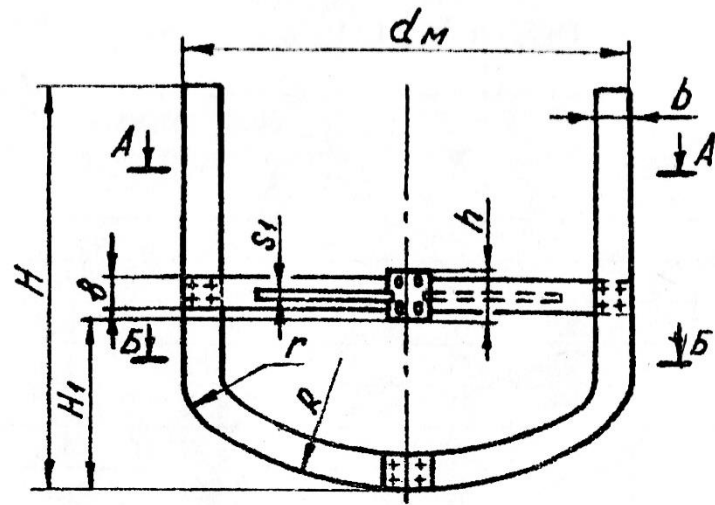


Виконання 2, $d_M = 450 \div 1400$ мм

Рис. 1.8. Турбінні відкриті мішалки, тип 0,3; 23; 33; 43

Таблиця 1.3 – Параметри турбінних відкритих мішалок ОСТ-26-01-12-45-83

d _м	d (поле допуску по Н9)	h	b	s	Допустимий крутний момент		Маса, кг, не більше
					не більше		
					кНм	кгс.м	
80	18	30	16	3	0,008	0,8	0,26
100	18	30	20	3	0,011	1,1	0,32
125	18	30	25	3	0,020	2,0	0,42
160	18	40	32	3	0,040	4,0	0,67
180	25	40	36	4	0,06	6	1,17
200	25	50	40	4	0,06	6	1,50
220	25	50	44	4	0,08	8	1,70
250	45	70	50	4	0,10	10	2,90
280	45	70	56	4	0,16	16	3,20
320	45	70	64	4	0,20	20	3,72
360	45	90	72	6	0,28	28	6,7
400	45	90	80	6	0,35	35	7,8
450	45	110	90	6	0,45	45	9,4
500	60	110	100	6	0,60	60	14,3
560	60	130	112	8	0,8	80	23,0
630	60	130	126	8	1,0	100	27,0
710	80	150	142	8	1,6	160	33,4
800	80	150	160	8	2,0	200	39,7
900	80	150	180	10	2,5	250	58,8
1000	90	200	200	10	3,0	300	77,4
1120	90	200	224	10	4,0	400	92,3
1250	100	220	250	12	6,0	600	155,0



- $B_2 = 1,5B$
- $l = 0,7d_M$
- $r = 0,152d_M$
- $R = 0,82d_M$
- $S_1 = 1,2S$

А А

Для апаратів з конічним днищем

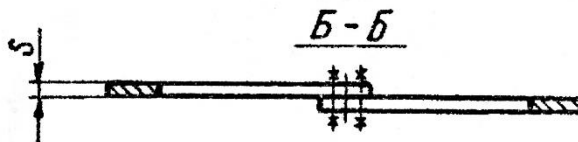


Рис. 1.9. мішалка рамна.

Виконання 2, тип 9(10)

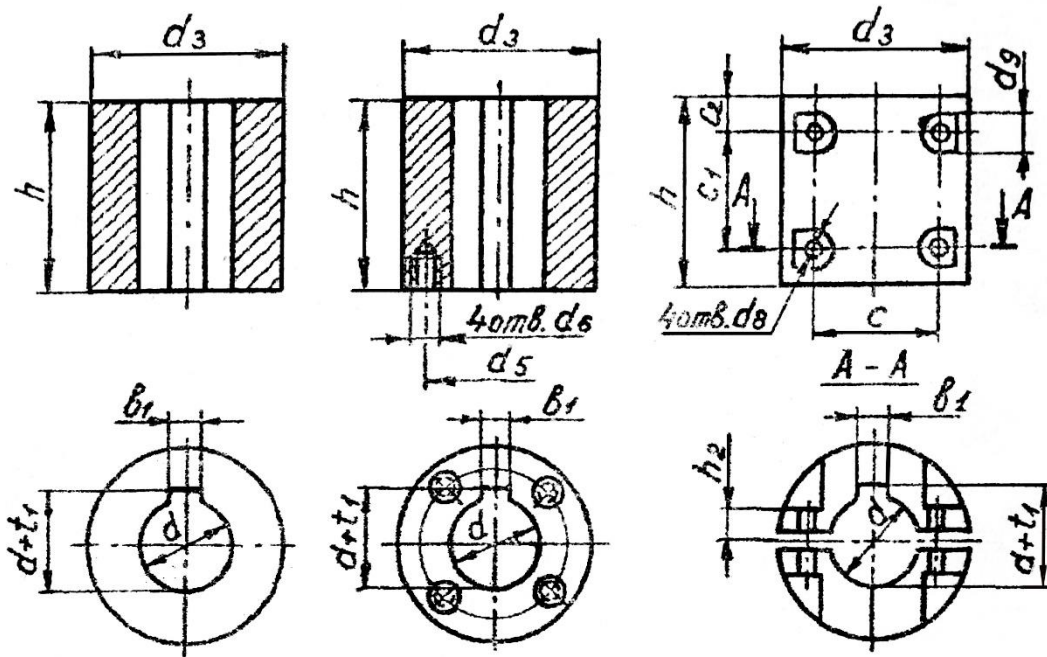
Таблица 1.4 Параметри рамних мішалок по ОСТ-26-01-1245-83

d _М	d (поле допуску по Н9)	h	Н	Н ₁	b	s	Допустимий крутний момент		Маса,кг, не більше
							кНм	кгс. м	
							не більше		
200	18	30	140	63	20	4	0,045	4,5	0,8
220	18	30	160	80	20	4	0,045	4,5	0,9
250	18	30	220	120	20	4	0,060	6,0	1,0
280	25	40	250	120	20	4	0,080	8,0	1,4
300	25	40	250	120	25	6	0,10	10	1,6
320	25	40	280	120	25	6	0,12	12	1,7
360	25	50	300	120	25	6	0,16	16	1,9
400	25	50	360	120	36	6	0,16	16	3,3
450	25	50	400	160	36	6	0,16	16	3,7
500	25	50	450	160	36	6	0,16	16	4,5
530	25	70	500	200	36	8	0,2	20	5,4
560	25	70	500	200	45	8	0,2	20	6,7
600	25	70	560	250	45	8	0,3	30	7,0
630	25	70	600	250	45	8	0,3	30	7,5
710	32	70	630	320	50	8	0,4	40	8,9
750	32	90	710	320	50	8	0,5	50	11,0
800	32	90	800	320	60	8	0,5	50	13,0
850	45	90	850	360	60	8	0,6	60	18

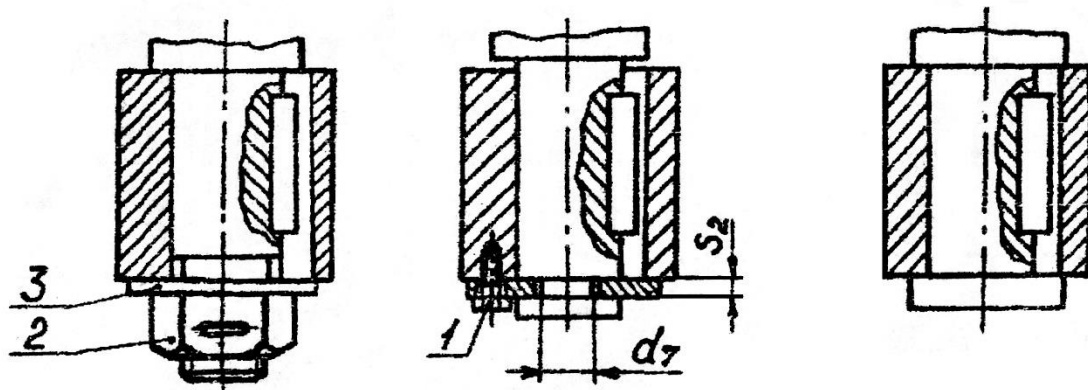
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
900	45	90	900	360	60	10	0,8	80	19
950	45	90	950	360	70	10	0,8	80	22
1000	45	90	1000	360	80	10	1,0	100	26
1060	45	110	1060	400	80	10	1,0	100	28
1120	45	110	1060	400	80	10	1,2	120	36
1180	45	110	1060	425	100	10	1,2	120	47
1250	60	130	1250	480	100	12	1,5	150	54
1320	60	130	1250	500	100	12	2,0	200	58
1400	60	130	1250	550	100	12	2,0	200	59
1500	60	130	1400	580	110	12	2,5	250	73
1600	60	130	1600	600	120	14	2,5	250	75
1700	80	150	1600	600	120	14	7,0	700	104
1800	80	150	1800	630	130	14	7,0	700	139
1900	80	150	1800	630	130	14	8,4	840	163
2000	80	150	1800	710	140	16	10,0	1000	176
2120	80	180	2000	710	150	16	10,0	1000	200
2240	80	180	2000	800	160	16	12,0	1200	230
2360	100	200	2240	800	160	16	16,0	1600	254
2500	100	200	2500	800	180	16	16,0	1600	341
2650	100	200	2500	800	180	18	20,0	2000	390
2800	100	220	2500	1000	200	18	20,0	2000	410
3000	100	250	2800	1000	220	18	24,0	2400	460

Виконання 1 (нероз'ємні),
 $d = 18+32\text{мм}$; $d = 45\cdot 100\text{ мм}$

Виконання 1 (роз'ємні),
 $d = 45+100\text{ мм}$



а)



1 - болт по ГОСТ 7798-70

2 - гайка по ГОСТ 5915-70

3 - шайба по ГОСТ 13463-77

б)

Рис.1.10 Конструкція маточин мішалок (а) і кріплення маточин на валу (б)

Таблица 1.5 – Основні розміри ступиць мішалок

d (поле допуску по Н9)	h	d+t ₁ (поле допуску по Н12)	b ₂ (поле допуску по Н9)	d ₃ Типы мішалок 1,1М,5 3, 4, 6, 10			d ₄
				Виконання 1	Виконання 2		
18	30	20,8	6	40	32	-	M10x1,25
18	40	20,8	6	-	32	-	M10x1,25
25	30	28,3	8	-	45	-	M16x1,5
25	40	28,3	8	50	45	-	M16x1,5
25	50	28,3	8	-	45	-	M16x1,5
25	70	28,3	8	-	45	-	M16x1,5
32	50	35,8	10	-	60	-	M24x1,5
32	70	35,8	10	-	60	-	M24x1,5
32	90	35,8	10	-	60	-	M24x1,5
45	70	49,9	14	80	70	95	M36x2
45	90	49,9	14	95	70	95	M36x2
45	110	49,9	14	105	70	95	M36x2
60	110	66,4	18	120	105	110	M48x3
60	130	66,4	18	140	105	110	M48x3
80	150	84	22	-	120	130	-
80	180	84	22	-	120	130	-
80	200	84	22	-	-	-	-
80	220	88,4	22	-	-	-	-
90	200	99,4	25	-	140	150	-
90	220	99,4	25	-	-	150	-
90	250	99,4	25	-	-	150	-

Кінець табл. 1.5

d (поле допуску по Н9)	h	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	c	c ₁	h ₂	s ₂
100	200	110,4	28	-	-	170	-			
100	220	110,4	28	-	160	170	-			
100	250	110,4	28	-	-	170	-			
18	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	70	55	M6	35	13	32	64	-	22	8
45	90	55	M6	35	13	32	64	50	22	8
45	110	55	M6	35	13	32	80	70	22	8
60	110	80	M8	50	13	32	80	70	25	10
60	130	80	M8	50	13	32	80	-	25	10
60	150	80	M8	50	13	32	80	-	25	10
80	150	105	M8	68	13	32	100	100	28	12
80	180	105	M8	68	13	32	100	130	28	12
80	200	105	M8	68	13	32	100	-	28	12
80	220	105	M8	68	13	32	100	-	28	12
90	200	115	M10	78	17	36	115	130	28	12
90	220	115	M10	78	17	36	115	130	28	12
90	250	115	M10	78	17	36	115	160	28	12
100	200	128	M10	8	17	36	128	130	30	15
100	220	128	M10	88	17	36	128	130	30	15
100	250	128	M10	88	17	376	128	160	30	15

II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ

2.1 Вибір типу перемішувального пристрою

Вибрати і обґрунтувати оптимальну конструкцію і параметри роботи перемішувального пристрою можна лише при наявності характеристик роботи перемішувальних пристроїв у різних технологічних процесах. Оптимальною є конструкція, що дозволяє досягти необхідної якості перемішування при мінімальних витратах енергії в найкоротший термін. Ефективність перемішування різними перемішувальними пристроями вивчена ще недостатньо й вибір мішалок виконується переважно на основі дослідних даних і рекомендацій, не позбавлених суб'єктивних чинників. При виборі прагнуть забезпечити простоту конструкції перемішувального пристрою, довговічність і надійність його роботи, мінімальні матеріальні й енергетичні витрати.

Важливою умовою при виборі конструкції мішалки є в'язкість середовища, що перемішується. Для малов'язких рідин зазвичай використовують швидкохідні мішалки (турбінні, гвинтові), для високов'язких — тихохідні

Тип мішалки	Межі застосування по в'язкості, Па·с
Турбінна	0,001 — 50
Гвинтова	0,001 — 10
Лопатева	0,1 — 50
Рамна	1 — 100
Якірна	0,1 — 2
Шнекова	5 — 500
Стрічкова	10 — 2000

Основні труднощі при виборі перемішувального пристрою є узгодження особливостей конструкції мішалки з параметрами технологічного процесу.

У процесі перемішування виникають потоки рідини різних напрямів – радіальні, аксіальні, тангенціальні. Мішалка є свого роду насосом і може подібно ньому характеризуватися напором і подачею. Більш високий напір відповідає більшій швидкості потоків і забезпечує в них більший ступінь турбулентності; подача визначає циркуляцію середовища в апараті. Високий ступінь турбулентності необхідний для процесів, що протікають на мікрорівні, а інтенсивна циркуляція — для процесів, швидкість яких лімітується переносом на макрорівні. Так, для гомогенізації рідин, що добре змішуються,

потрібна інтенсивна циркуляція, а для тепло- і масообмінних процесів — високий ступінь турбулентності.

Для інтенсивного протікання технологічного процесу важливі обидва фактори, однак співвідношення між ними різні залежно від того, яке явище лімітує процес (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Процес	Величина або явище, лімітуюче процес	Перемішуваний об'єм, м ³		
		Турбінна мішалка	Гвинтова мішалка	Лопатева мішалка
Гомогенізація	Циркуляція в об'ємі	200	4000	30
Диспергування рідин, що не змішуються	Діаметр крапель Рециркуляція			
Суспендування	Циркуляція Швидкість			
Перемішування систем газ - рідина	Напруга зсуву Циркуляція Великі швидкості			
Теплообмін	Циркуляція Великі швидкості біля поверхні теплообміну	80	40	20
Розчинення і кристалізація	Напруга зсуву Циркуляція в об'ємі	80	40	80

Лопатеві мішалки доцільно застосовувати при перемішуванні з метою суспендування, розчинення і при проведенні хімічних реакцій. Вони прості за будовою, але працюють недостатньо інтенсивно.

Турбінні мішалки використовують у всіх випадках, коли необхідно створити інтенсивне перемішування, особливо рідин, що значно розрізняються за в'язкістю, а також при диспергуванні газу в рідині.

Гвинтові (пропелерні) мішалки забезпечують достатньо інтенсивне перемішування при порівняно низькій енергоємності.

Якірні мішалки доцільно застосовувати для інтенсифікації теплообміну і запобігання випадання осаду на стінках і днищі апарата.

Рамні мішалки використовують у випадках, коли необхідно забезпечити більш інтенсивне перемішування по висоті, а також при перемішуванні в'язких рідин у великому об'ємі.

Шнекові і стрічкові мішалки застосовують для перемішування дуже в'язких рідин. Якщо при цьому необхідна інтенсифікація теплообміну, стрічкові мішалки оснащують скребачками.

2.2 Розрахунок потужності при перемішуванні

Для розрахунку потужності при сталому режимі перемішування (в робочий період) використовують рівняння із загальним виглядом:

$$Eu_M = c Re_M^m Fr^q \Gamma_D^{K_1} \Gamma_H^{K_2} \Gamma_h^{K_3} \Gamma_b^{K_4} \Gamma_B^{K_5} \Gamma_S^{K_6} \Gamma_l^{K_7} \quad (2.1)$$

де $Eu_M = \frac{N}{\rho n^3 d_M^5}$ критерій Ейлера (у технічній літературі Eu_M називають також критерієм потужності K_N); $Re_M = \frac{n \cdot d_M^2 \cdot \rho}{\mu}$ – Критерій Рейнольдса; $Fr = \frac{n^2 \cdot d_M}{g}$ – критерій Фруда; C – константа; $\Gamma_D = \frac{D}{d_M}$; $\Gamma_H = \frac{H}{d_M}$; $\Gamma_h = \frac{h}{d_M}$; $\Gamma_b = \frac{b}{d_M}$; $\Gamma_B = \frac{B}{d_M}$; $\Gamma_S = \frac{S}{d_M}$; $\Gamma_l = \frac{l_T}{d_M}$ – симплекс геометричної подібності; n – частота обертання мішалки, s^{-1} ; N – потужність перемішування в робочий період, Вт; ρ густина середовища, що перемішується, $кг/м^3$; μ – в'язкість середовища, що перемішується, $Па \cdot c$; D – діаметр апарата, м; d_M – діаметр мішалки, м; H – висота шару рідини в апараті, м; h – відстань мішалки від дна, м; b – ширина лопаті мішалки, м; B – ширина відбивної перегородки, м; S – крок гвинтової (пропелерної) мішалки, м; l_T – довжина лопаті мішалки, м; m, q, K_i – показники степеня.

Критерій Ейлера містить шукану величину потужності і дозволяє розрахувати її:

$$N = Eu_M n^3 d_M^5 \rho. \quad (2.2)$$

Для геометрично подібних конструкцій апаратів з мішалками симплекс геометричної подібності рівний і критеріальне рівняння спрощується:

$$Eu_{M_0} = C_0 Re_M^m Fr^q \quad (2.3)$$

При розрахунку критерія Ейлера зазвичай користуються графічними залежностями критерія Ейлера або комплексу $\Phi = \frac{Eu_M}{Fr^q}$ від критерія Рейнольдса, побудованими для найпоширеніших конструкцій мішалок. Вплив критерія Фруда, пов'язаний з обертанням рідини і утворенням воронки, виявляється лише при $Re_M > 300$ у реакторах без відбивних перегородок

переважно з турбінними й гвинтовими (пропелерними) мішалками. Показник ступеня q при критерії Фруда можна визначити за емпіричною формулою

$$q = \frac{a - \lg Re_M}{b}$$

де a, b — константи (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Γ/D	Гвинтові мішалки		Турбінні мішалки	
	a	a	a	a
2,1	2,6	18	-	-
2,7	2,3	18	-	-
3	2,1	18	1	40
3,3	1,7	18	1	40

Якщо конструкція проектованої мішалки відрізняється від тих, для яких відома залежність $Eu = f(Re_M)$ або $\Phi = f(Re_M)$, необхідно ввести виправлення, що враховують відхилення відповідних геометричних параметрів. При цьому розрахункове критеріальне рівняння приймає вид:

$$Eu_M = C_0 Re_M^m Fr^q \psi_M = Eu_{M_0} \psi_M \quad (2.4)$$

Поправочний множник цього рівняння

$$\psi_M = \psi_D \psi_H \psi_h \psi_b \psi_B \psi_S \psi_l \psi_n \psi_\Pi,$$

де $\psi_D = \left(\frac{\Gamma_D}{\Gamma_{D0}}\right)^{k1}$; $\psi_H = \left(\frac{\Gamma_H}{\Gamma_{H0}}\right)^{k2}$; $\psi_h = \left(\frac{\Gamma_h}{\Gamma_{h0}}\right)^{k3}$; $\psi_b = \left(\frac{\Gamma_b}{\Gamma_{b0}}\right)^{k4}$; $\psi_B = \left(\frac{\Gamma_B}{\Gamma_{B0}}\right)^{k5}$;

$\psi_S = \left(\frac{\Gamma_S}{\Gamma_{S0}}\right)^{k6}$; $\psi_l = \left(\frac{\Gamma_{lT}}{\Gamma_{lT0}}\right)^{k7}$; $\psi_n = \left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right)^{k8}$; $\psi_\Pi = \left(\frac{z_\Pi}{z_{\Pi0}}\right)^{k9}$ — окремі поправочні множники; z_n — число перегородок (відбивних); z_Π — число лопатей.

Індексом «0» позначено симплекси геометричної подібності й геометричні параметри досліджених конструкцій мішалок. Відношення симплексів може бути замінено відношенням відповідних параметрів. Значення показників степеня k_i для деяких конструкцій мішалок зведені в табл.5

Таблиця 2.3

Тип мішалки	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	Параметри типової мішалки
Турбінна	0	0,5	-	1,09	0,3	-	1,5	0,43	0,7	$\Gamma_D = \Gamma_H = 3; \Gamma_H = 1$ $\Gamma_h = 1; z_M = 6; \Gamma_l = 0,25$ $\Gamma_b = 0,2; \Gamma_B = 0,3; z_n = 4$
Гвинтова (пропелерна)	0,9 3	0,5	0	-	-	1,7	-	-	-	$\Gamma_D = \Gamma_H = 3; \Gamma_h = 1;$ $z_L = 3; \Gamma_B = 0,3$
Лопатева	1,2	0,5	-	0,3	-	-	-	-	-	$\Gamma_D = 2...3; \Gamma_b = 0,3;$ $\Gamma_H = 3; \Gamma_h = 1,5$

Наведені рівняння справедливі для розрахунку потужності при перемішуванні однофазних потоків ньютонівських рідин, а також для двофазних систем рідина — рідина і рідина — тверде тіло при об'ємній частці дисперсної фази $\varphi < 0,3$ і відмінності густин фаз не більше 30%. В інших випадках в'язкість і густину системи, що переміщується, не можна приймати рівними аналогічним параметрам основної рідини, а варто розраховувати за спеціальними рівняннями. Так, для розрахунку густини двофазної системи використовують рівняння:

$$\rho_c = \rho_\phi \varphi + \rho_p (1 - \varphi), \quad (2.5)$$

де $\rho_c, \rho_p, \rho_\phi$ — густини системи, рідини і дисперсної фази, кг/м³; φ — об'ємна

частка дисперсної фази.

При зважуванні твердих частинок в рідині в'язкість системи розраховують за такими рівняннями:

$$\text{При } \varphi < 0,1 \quad \mu_c = \mu_p (1 + 2,5\varphi); \quad (2.6)$$

$$\text{При } \varphi > 0,1 \quad \mu_c = \mu_p (1 + 4,5\varphi); \quad (2.7)$$

де μ_c та μ_p — відповідно в'язкість системи і основної рідини, Па·с.

При перемішуванні систем рідина — газ потужність визначають за рівняннями виду:

$$N_{p-г} = f(N_p, V_{гс}, n, d_m) \quad (2.8)$$

де N_p – потужність при перемішуванні тією ж мішалкою суцільної рідини, Вт;
 $V_{гс}$ – витрата газу, м³/с.

Для апаратів з турбінними мішалками рівняння приймає вигляд:

$$N_{p-г} = 0,695 N_p^{0,9} \frac{(n d_m^3)^{0,45}}{V_{гс}^{0,25}} \quad (2.9)$$

Для розрахунку потужності при перемішуванні неньютонівських рідин використовують значення так званої уявної в'язкості, що визначається експериментально при ламінарному режимі перемішування. Потужність на валу перемішуючого пристрою, що можна розрахувати за потужністю в робочий період N введенням поправочних коефіцієнтів:

$$N_B = A_1 \cdot (1 + \sum A_2) \cdot N \quad (2.10)$$

де A_1 коефіцієнт, що враховує збільшення потужності в пусковий період і в'язкість середовища (при $\mu_c > 0,5$ Па·с); A_2 – коефіцієнти, що враховують збільшення потужності при наявності в апараті різних допоміжних пристроїв (при $\mu_c < 0,1$ Па·с).

Для малов'язких середовищ A_1 у більшості випадків можна прийняти рівним одиниці, тому що сучасні електродвигуни розраховані на роботу з достатньо великими пусковими перевантаженнями. При перемішуванні в'язких середовищ рекомендуються такі значення: для однолопатевих мішалок $A_1 \leq 2$ для багатолопатевих, якірних, рамних і турбінних $A_1 \leq 2,5$, для гвинтових (пропелерних) мішалок $A_1 \leq 1,3$.

Орієнтовні значення коефіцієнта A_2 при установці різних допоміжних пристроїв: труби для перетискування розчину – 0,2; двох вертикальних труб – 0,3; гільз для термометра – 0,1; змійовика біля стінки апарата (Рис. 2.1) – 2; спірального змійовика, розташованого біля дна апарата, – 2,5...3. При наявності в апараті відбивних перегородок впливом на потужність внутрішніх допоміжних пристроїв зневажають.

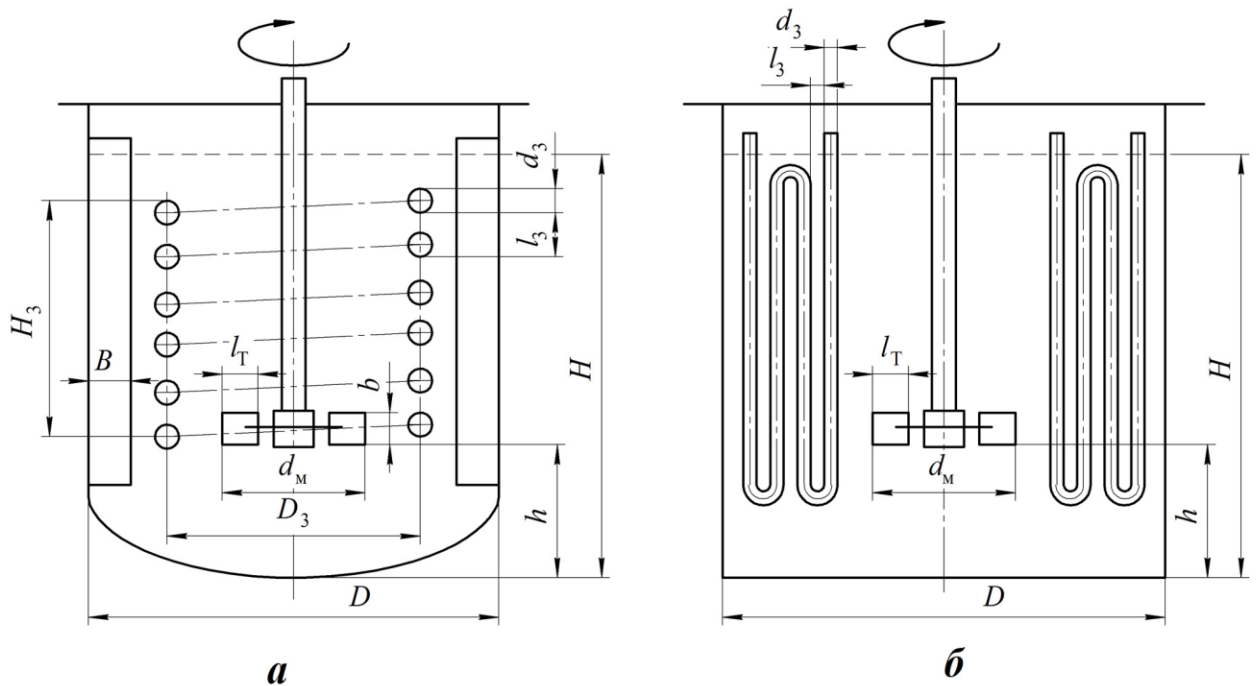


Рис. 2.1. Схема установки в апараті з турбінною мішалкою:

a – спірального змійовика і відбивних перегородок; *б* – вертикального плоского змійовика

За потужністю на валу мішалки визначають номінальну потужність електродвигуна приводу:

$$N_e = \frac{N_B}{\eta}$$

де η – ККД редуктора приводу мішалки (для нормалізованих приводів $\eta = 0,9 \dots 0,95$).

Потужність приводу, частота обертання мішалки і об'єм апарату за ДСТУ 20680–75 повинні знаходитися в межах, указаних в табл.6. При цьому номінальна потужність приводу відповідає ряду, кВт: 0,25; 0,75; 1,5; 3; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 90; 110; 132.

Найпоширенішими є вертикальні виносні індивідуальні приводи із стандартними електродвигунами і типовими мотор-редукторами. Ці приводи нормалізовані й поділяються на дев'ять типів (МН 5855-66 ... МН 5863-66). Нормалізовані також конструкції кінцевих опор (МН 5864-66, МН 5865-66), ущільнень (МН 5866-66...МН 5870-66) і муфт (МН 5871-66, МН 5872-66) валів перемішувальних пристроїв.

Таблиця 2.4

Номінальний об'єм, м ³	Внутрішній апарата, мм	діаметр	Потужність при-вуду, кВт	Частота обертання, хв ⁻¹
0,01	250		0,25 – 0,75	25 – 1500
0,016	300		0,25 – 0,75	25 – 1500
0,025	350		0,25 – 0,75	25 – 1500
0,04	400		0,75 – 1,5	25 – 1500
0,063	400		0,75 – 1,5	20 – 1500
0,1	500		0,75 – 3	20 – 1500
0,16	600		0,75 – 5,5	20 – 1500
0,25	700		0,75 – 7,5	16 – 1500
0,4	800		0,75 – 11	16 – 1500
0,63	800;1000		0,75 – 11	16 – 1500
1	1000; 1200		1,5 – 15	12,5 – 750
1,25	1000; 1200		1,5 – 15	12,5 – 750
1,6	1000; 1200		1,5 – 18,5	12,5 – 750
2	1200; 1400		1,5 – 22	10 – 750
2,5	1200; 1400		1,5 – 22	10 – 750
3,2	1200; 1600		1,5 – 30	10 – 750
4	1400; 1600		1,5 – 30	10 – 750
5	1400; 1800		1,5 – 37	8 – 500
6,3	1600; 1800		1,5 – 45	8 – 500
8	1600; 2000		1,5 – 45	8 – 500
10	1800; 2200		1,5 – 55	8 – 500
12,5	1800; 2400		1,5 – 55	8 – 500
16	2000; 2400; 2800		3,0 – 55	8 – 500
20	2200; 2600; 3000		3,0 – 75	6 – 500
25	2400; 2800; 3200		3,0 – 90	5 – 400
32	2600; 3000; 3400		3,5 – 90	5 – 400
40	2800; 3200; 3600		3,5 – 90	5 – 400
50	3000; 3400; 4000		7,5 – 110	5 – 320
63	3600; 4000; 4500		7,5 – 132	5 – 250
80	3200; 3600; 4000;4500; 5000		11 – 132	5 – 250
100	3600; 4000; 4500;5000		11 – 132	5 – 250

2.3 Визначення якості перемішування

При відомій потужності якість (ефективність) перемішування можна роз-рахувати за формулою

$$E = f(N_V) \quad (2.11)$$

де E – показник якості перемішування (β , α , K та ін.); питома потужність перемішування, рівна відношенню потужності до об'єму перемішувального середовища, кВт/м³.

Залежності виду, отримані для різних технологічних процесів і конструкцій, дозволяють вибрати найбільш ефективну конструкцію перемішувального пристрою і потім підібрати параметри його роботи для конкретного технологічного процесу. Поки що такі залежності розроблені лише для окремих процесів і конструкцій, тому якість перемішування звичайно встановлюють за критеріальними рівняннями, у визначальний критерій яких входить шуканий показник ефективності.

2.4 Розрахунок турбінної відкритою мішалки

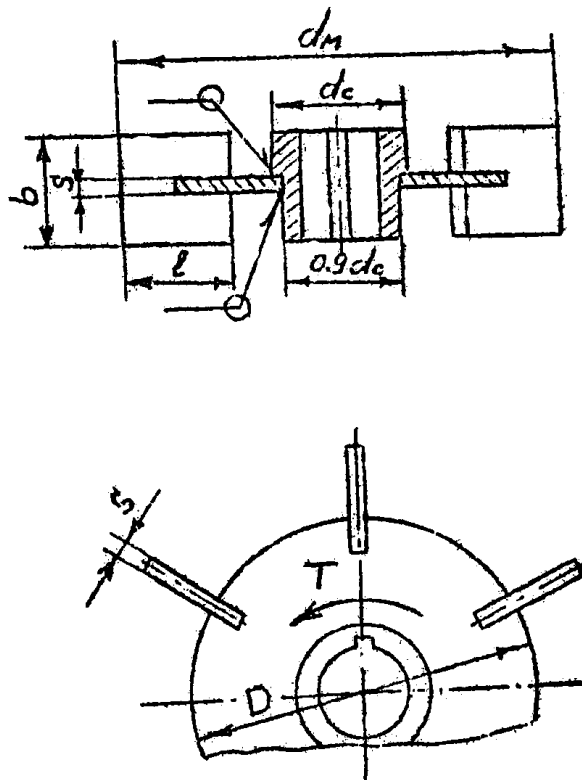


Рис. 2.2. Схема до розрахунку на міцність турбінної відкритою мішалки

Розрахунковий вигинає момент лопатки M в Н.м в перерізі, паралельному осі вала і знаходяться від неї на відстані, рівном половині діаметра диска D (рис. 2.2), визначається за формулою

$$M = \frac{0,027 \cdot (x - 0,5D) \cdot N}{x \cdot n}, \quad (2.12)$$

де N - розрахункова потужність, Вт;

n - частота обертання мішалки, с⁻¹.

$$x = 0,75 \frac{(0,5d_M)^4 - (0,5d_M - l)^4}{(0,5d_M)^3 - (0,5d_M - l)^3}, \quad (2.13)$$

де l - довжина лопатки, м.

Розрахунковий момент опору лопатки при вигині в розрахунковому перерізі визначається за формулою (2.13).

Номінальна розрахункова товщина лопатки S' визначається аналогічно лопатевим перемішуючим пристроїв.

$$S' = \sqrt{\frac{6W}{b}} \quad (2.14)$$

Конструктивна товщина лопатки

$$S = S' + C + C_1, \quad (2.15)$$

де C и C_1 - прибавка на корозію і округлення розміру відповідно.

2.5 Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання

Деталь можна виготовити з заготовок, отриманих різними способами. Це різні методи лиття, обробка тиском, зварювання тощо.

Литтям одержують заготовки практично будь-яких розмірів, як прості, так і дуже складної конфігурації. Точність розмірів і якість поверхні залежать від способу лиття.

Обробкою металів тиском одержують машинобудівні профілі, ковані та штамповані заготовки. Цей метод дозволяє отримати заготовки, близькі за формою та розмірами до готової деталі. Як правило, механічні властивості таких заготовок завжди вищі, ніж тих, що отримані литтям.

Кування застосовується для виготовлення заготовок в одиничному виробництві. При виробництві дуже великих та унікальних заготовок (масою до 200 ÷ 300 т) кування – єдиний можливий спосіб обробки тиском.

Одним з основних принципів вибору заготовки є орієнтація на такий спосіб виготовлення, який забезпечить їй максимальне наближення до готової деталі. Тому при виборі способу отримання заготовки потрібно проводити техніко-економічний аналіз двох етапів виробництва – заготівельного та механообробного.

Відповідно до технічного принципу обраний технологічний процес повинен цілком забезпечити виконання всіх вимог кресленника і технічних умов на заготовку. З декількох можливих варіантів технологічного процесу за інших рівних умов вибирають найбільш економічний, при рівній економічності – найбільш продуктивний.

Вибір методу отримання заготовки супроводжується декількома етапами. На першому етапі ретельно аналізуються кресленник виробу, взаємозв'язок елементів конструкції при складанні, експлуатації та ремонті. Цей аналіз супроводжується критичною оцінкою креслеників з погляду технологічності й обґрунтованості технічних вимог. Усі виявлені недоліки виправляються разом з розроблювачем конструкції. Потім, виходячи з заданої програми випуску продукції, конфігурації та розмірів деталей, а також виробничих можливостей підприємства, встановлюється тип і характер майбутнього виробничого процесу (одиничне, серійне чи масове; групове чи потокове виробництво).

На першому етапі вибору оптимального способу отримання заготовки можна скористатися так званою матрицею впливу факторів, що подана в таблиці 3.5.

Штамування на кривошипних гарячостампувальних пресах набуло поширення в крупносерійному і масовому виробництвах кувань складної форми масою до кількох сотень кілограмів. Вони відрізняються більш високою вартістю, але пристосовані для високо механізованого й автоматизованого виробництва.

При штампуванні отримують кування, більш близькі за формою до готової деталі, з більш точними розмірами. Продуктивність штампування підвищується приблизно в 1,4 рази за рахунок скорочення числа ударів у кожному струмку до одного.

Штамування на гідравлічних пресах має не ударний характер роботи. Гідравлічний штампувальний прес значно дорожчий, більш тихохідний і менш

продуктивний, ніж штампувальний молот з еквівалентною масою падаючих частин.

Штампування на горизонтально-кувальних машинах являють собою горизонтальні кривошипні гарячоштампувальні преси, які розвивають зусилля 6,3-125 мН. На горизонтально-кувальних машинах штамнують у відкритих, закритих штампах і в штампах для видавлювання. З порівняльної характеристики видно, що багато засобів отримання заготовки підходять для нашого випадку, але продуктивніші за все є кривошипні гарячоштампувальні преси, хоча і мають високу вартість.

Для розрахунку припусків і визначення граничних відхилень розмірів заготовки визначається індекс заготовки згідно ГОСТ 7505-89. Для цього необхідно розрахувати масу кування та масу фігури, яка описує кування.

Розрахункова маса кування здійснюється за формулою:

$$M_p = M_d \cdot K_p, \quad (2.16)$$

де M_d – маса деталі;

K_p – коефіцієнт, що залежить від характеристики деталі, при виготовленні заготовки «Вал» з прямою віссю, для наведеного кресленника приймається $K_p = 1,3 \dots 1,6$ (Пр.3, табл. 20, с. 20 ГОСТ 7505-89).

Знаходять габаритні розміри фігури (циліндра), яка описує кування.
Діаметр фігури:

$$D_\phi = D_d \cdot 1,05 \quad (2.17)$$

Довжина фігури:

$$L_\phi = L_d \cdot 1,05 \quad (2.18)$$

де D_d – максимальний діаметр деталі згідно кресленника,

L_d – довжина деталі згідно кресленника.

Маса фігури, яка описує кування визначається за формулою:

$$M_\phi = \frac{3,14 \cdot D_\phi^2}{4} \cdot L_\phi \cdot \rho, \quad (2.19)$$

де ρ – густина сталі, що дорівнює $\rho=7850$ кг/м³.

Ступеням складності кування відповідають численні значення відношення розрахункової маси кування до маси фігури (табл. 2.5):

$$C = \frac{M_p}{M_\phi} \quad (2.20)$$

Таблиця 2.5 - Визначення ступені складності кувань

Ступінь складності	Значення відношення $\frac{M_p}{M_\phi}$
С 1	більше ніж 0,63
С 2	від 0,32 до 0,63 включно
С 3	від 0,16 до 0,32
С 4	до 0,16

Клас точності визначається згідно ГОСТ 7505-89. Для кувань, отриманих закритим штампуванням на кривошипному гарячощтампувальному пресі, обирається клас точності Т2 (табл.1.10).

По групі сталі та класу точності і ступеню складності визначається вихідний індекс кування згідно таблиці 2.6.

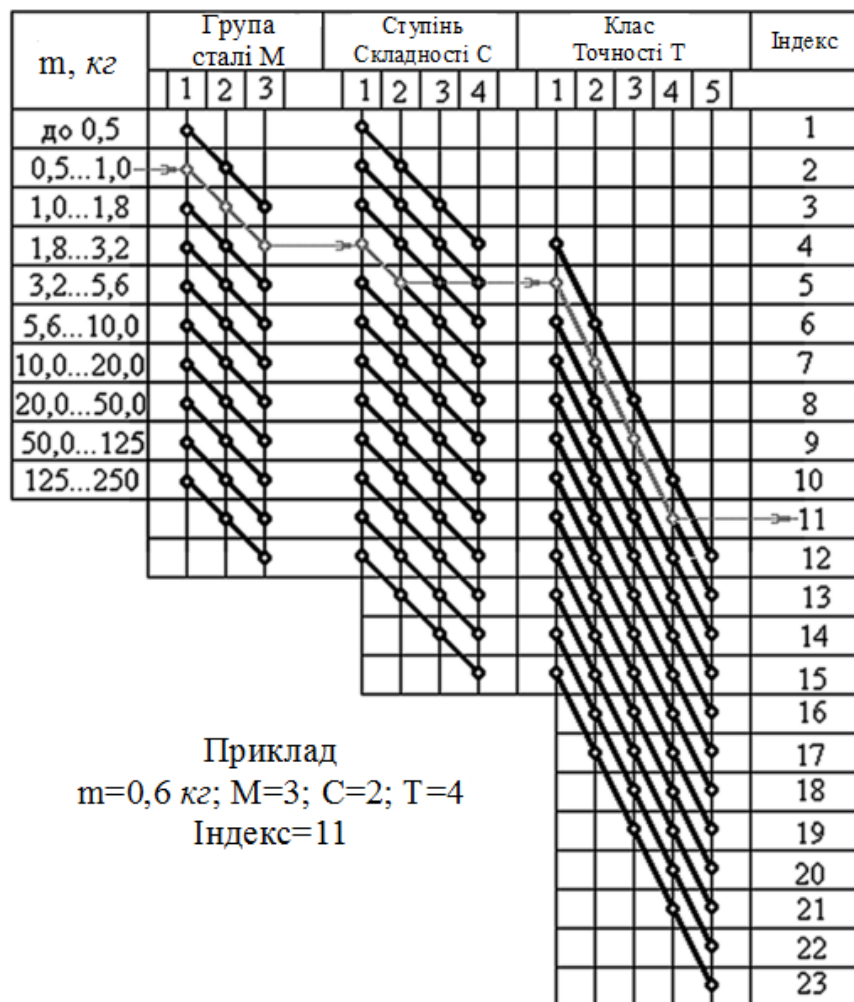
Таблиця 2.6 - Вибір класу точності поковок

Основне деформуюче обладнання, технологічні процеси	Клас точності				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипні гарячощтампувальні преси:					
відкрите (облойне) штампування				+	+
закрите штампування		+	+		
видавлювання			+	+	
Горизонтально-кувальні машини				+	+
Преси гвинтові, гідравлічні				+	+
Гарячощтампувальні автомати		+	+		
Штампувальні молоти				+	+
Калібрування об'ємне (гаряче та холодне)	+	+			

Для визначення вихідного індексу по табл. 2.7 у графі «т, кг» знаходять відповідний даній масі рядок та, зміщуючись по горизонталі вправо або по похилим лініям вправо вниз до перетину з вертикальними лініями, які відповідають заданим значенням групи сталі М, ступені складності С, класу точності Т, встановлюють вихідний індекс (від 1 до 23).

Клас точності, група сталі, ступінь складності повинні бути вказані на кресленику кування.

Таблиця 2.7 - Номограма визначення вихідного індексу кування



2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення операційних розмірів

Номінальні значення лінійних розмірів заготовки розраховують при виконанні розмірного аналізу проектованого технологічного процесу, тобто після того, як намічені необхідні операції і переходи механічної обробки.

Для отримання необхідної якості поверхні для заготовки валу поковки, яку отримують методом штампуванням на КГШП, треба виконати наступні операції:

- чорнове точіння;
- чистове точіння;
- шліфування.

Величина припуску повинна компенсувати всі похибки від попередньої обробки заготовки та похибки, що виникають при виконанні поточної операції технологічного процесу.

Розрізняють загальні та проміжні припуски. Проміжним припуском називають шар матеріалу, що знімається при виконанні даного технологічного переходу.

Загальний припуск – це сума всіх проміжних припусків, знятих при обробці даної поверхні.

Розрізняють мінімальні, номінальні та максимальні припуски на обробку. Мінімальні проміжні припуски на механічну обробку поверхні на сторону при послідовній обробці протилежних поверхонь розраховується за формулою (лінійний розмір)

$$z_{min} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_i. \quad (2.21)$$

Мінімальний припуск на діаметр при обробці поверхонь обертання

$$2 \cdot z_{min} = 2 \left(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (2.22)$$

де R_{zi-1} – висота мікронерівностей, отриманих на попередній операції;

h_{i-1} – глибина дефектного шару, отриманого на попередній операції;

Значення R_z і h для операцій технологічного процесу:

– для заготовки: $R_z = 150$ мкм, $h = 250$ мкм;

– для чорнового точіння: $R_z = 50$ мкм, $h = 50$ мкм;

– для чистового точіння: $R_z = 30$ мкм, $h = 30$ мкм;

– для шліфування: $R_z = 5$ мкм, $h = 15$ мкм.

Δ_{i-1} – залишкове викривлення після переходів, тобто відхилення розташування поверхонь, отримане на попередній операції, мкм.

Відхилення розташування лінійних поверхонь (просторового відхилення) заготовки залежить від відхилення плоскої поверхні від площинні

$$\Delta_z = \Delta_{\text{викр}} = \Delta_g \cdot l, \quad (2.23)$$

де $\Delta_{\text{викр}}$ – викривлення поверхні, що визначається за формулою, мкм,

$$\Delta_{\text{викр}} = \Delta_g \cdot l, \quad (2.24)$$

де Δ_g – питомий викривлення, тобто відхилення осі деталі від прямолінійності, мкм на 1 мм, що залежить від методу її отримання, є однаковим для всіх варіантів $\Delta_g = 0,7$ мкм / мм ;

$l = 60$ мм – відстань від оброблюваного перетину до найближчої опори, є однаковим для всіх варіантів, оскільки не змінюється положення лунету при обробці всіх наведених варіантів деталей.

ε_{i-1} – похибка базування, $\varepsilon_{i-1} = 0$, оскільки обробка валу на всіх операціях ведеться в центрах.

Значення сумарного відхилення розташування циліндричних поверхонь (просторового відхилення) заготовки при обробці в центрах розраховується за формулою

$$\Delta_3 = \sqrt{\Delta_{зм}^2 + \Delta_ц^2 + \Delta_{викр}^2}, \quad (2.25)$$

де $\Delta_{зм}$ – зміщення одних ділянок поверхні відносно інших, у випадку заготовки поковки – зміщення осей поковок при штампуванні в різних половинах штампа, $\Delta_{зм}^2 = 0,5$ мм – дійсне для всіх варіантів;

$\Delta_ц$ – похибка центрування, при деталі в центрах знаходиться за формулою

$$\Delta_ц = \sqrt{\left(\frac{\delta_3}{2}\right)^2 + 0,25^2}, \quad (2.26)$$

де δ_3 – допуск заготовки, мм;

Значення допусків для кожного переходу приймаємо відповідно до квалітетів того чи іншого виду обробки, таблиця 2.8.

Таблиця 2.8 – Значення допусків

Вид обробки	Квалітет точності	Допуск δ , мкм
Заготовка	16	1900
Чорнове точіння	12	300
Чистове точіння	9	74
Шліфування	6	19
Фрезерно-центрувальна операція		500

Величина залишкового викривлення після переходу, що здійснюється, визначається за формулою

$$\Delta_{зал} = K_y \cdot \Delta_3, \quad (2.27)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення, значення приведені в таблиці 2.9;

Δ_3 – сумарне відхилення розташування поверхонь заготовки.

Таблиця 2.9 – Значення коефіцієнта уточнення

Заготовка	Технологічний перехід	Коефіцієнт уточнення, K_y
Гарячекатаний прокат, штампування, відливка	Після обточування: чорнового та однократного	0,06
	чистового	0,04
	Після шліфування	0,02

Розрахункові формули для визначення діаметральних розмірів. Граничний діаметральний розмір d_{\min} визначається для кожного переходу за формулою

$$d_{\min i-1} = d_{\min i} + 2 \cdot z_{\min i}. \quad (2.28)$$

Граничний діаметральний розмір d_{\max} обчислюється додаванням допуску до найменшого граничного розміру

$$d_{\max i} = d_{\min i} + \delta_i. \quad (2.29)$$

Розрахункові формули для визначення лінійних розмірів. Граничний лінійний розмір l_{\min} визначається для кожного переходу за формулою

$$l_{\min i-1} = l_{\min i} + z_{\min i}. \quad (2.30)$$

Граничний лінійний розмір l_{\max} обчислюється додаванням допуску до найменшого граничного розміру

$$l_{\max i} = l_{\min i} + \delta_i. \quad (2.31)$$

Граничні значення припусків z_{\max}^{np} визначаються як різниці найбільших граничних розмірів і z_{\min}^{np} – як різниці найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів:

– максимальний припуск

$$2 \cdot z_{\max}^{np} = d_{\max i} - d_{\max i-1}; \quad (2.31)$$

$$z_{\min}^{np} = l_{\max i} - l_{\max i-1};$$

– мінімальний припуск

$$2 \cdot z_{\min}^{np} = d_{\min i-1} - d_{\min i}; \quad (2.32)$$

$$z_{\min}^{np} = l_{\min i-1} - l_{\min i}.$$

Загальний номінальний припуск визначаємо за формулою

$$z_{0 \text{ ном}} = z_{0 \text{ min}} + EI_3 - \delta_\delta, \quad (2.33)$$

де EI_3 – нижні відхилення діаметра заготовки;

δ_δ – допуск на деталь.

Номінальний діаметр заготовки визначаємо за формулою

$$d_{z \text{ ном}} = d_{\text{дном}} + z_{0 \text{ ном}}. \quad (2.34)$$

де $d_{\text{дном}}$ – номінальний діаметр деталі.

Номінальну довжину заготовки визначаємо за формулою:

$$l_{z \text{ ном}} = l_{\text{дном}} - z_{0 \text{ ном}}. \quad (2.35)$$

де $l_{\text{дном}}$ – номінальна довжина деталі.

Для перевірки правильності розрахунків треба виконати порівняння різності значень між максимальним та мінімальним припусками та різності значень допусків на операціях чорнового точіння та шліфування

$$z_{\text{max}3}^{np} - z_{\text{min}3}^{np} = \delta_3 - \delta_1. \quad (2.36)$$

2.7 Проектування технологічних операцій механічної обробки

Маршрут оформляється у вигляді плану операцій (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 – Приклад таблиці для оформлення маршрутного технологічного процесу

№ операції	Найменування та зміст операції	Базові поверхні	Модель верстата	Робочий інструмент	Установочні пристосування
1	2	3	4	5	6

У першій графі вказуються всі операції даного маршруту обробки (в тому числі заготівельну, термообробку, покриття). У другій графі для кожної операції розробляють ескіз деталі в робочому положенні (оброблювані поверхні виділяються товстими лініями або іншим кольором). На ескізі проставляють шорсткість оброблюваних поверхонь, позначають технологічні бази (згідно ГОСТ 3.1107-81), наносять всі необхідні розмірні зв'язки. У третій графі вказують орієнтовно тип обладнання. В останній графі формулюють мету кожної операції (наприклад, формоутворення, підготовка технологічних баз, видалення основного припуску, забезпечення вимог креслення по точності, шорсткості і взаємного розташування поверхонь).

Кількість переходів (операцій), необхідних для обробки кожної поверхні, визначається за коефіцієнтами уточнення і коригується за нормами точності, що досягається.

Загальний коефіцієнт уточнення визначається за формулою

$$K_{y.o.} = \frac{T_3}{T_\delta} = \prod_{i=1}^n K_{y1} \cdot K_{y2} \cdot K_{y3} \dots K_{yn}, \quad (2.37)$$

де T_3 – допуск на заготовку на оброблювану поверхню, *мкм*;

T_δ – допуск на оброблену поверхню деталі, *мкм*;

K_{yi} – коефіцієнт уточнення на одній операції

$$K_{y1} = \frac{\delta_3}{\delta_1}; K_{y2} = \frac{\delta_1}{\delta_2}; K_{y3} = \frac{\delta_2}{\delta_3}, \quad (2.38)$$

де $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – допуски розмірів, отриманих при обробці деталі на першій, другій і третій операціях.

Кількість співмножників за умови $K_{y.o.} \leq \prod_{i=1}^n K_{yi}$ дорівнює кількості операцій для обробки даної поверхні.

2.8 Розрахунок режимів різання.

У роботі, режими різання розраховуються аналітичним методом (за емпіричними формулами теорії різання) для 2-х операцій, що не повторюються.

Для інших операцій режими різання призначаються за нормативами з урахуванням поправочних коефіцієнтів.

Розраховуємо швидкість різання за формулою

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (2.39)$$

де C_v – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу;

m – показник ступеня по стійкості T ;

x – показник ступеня при глибині різання t ;

y – показник ступеня при подачі S ;

T – значення стійкості;

t – глибина різання;

S – подача.

Обираємо значення коефіцієнтів для умов обробки валу, а саме зовнішнє поздовжнє точіння прохідними різцями: $C_v = 340$; $m = 0,2$; $x = 0,15$; $y = 0,45$;

$T = 30$ хв. K_v – поправочний коефіцієнт, що розраховується за формулою

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv}, \quad (2.40)$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на швидкість різання, для сталі розраховується за формулою

$$K_{Mv} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n, \quad (2.41)$$

де $n = 1$ – показник ступеня для твердого сплаву;

$K_{Пv}$ – коефіцієнт, що відображає вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання, для поковки $K_{Пv} = 0,8$;

$K_{Иv}$ – коефіцієнт, що враховує вплив якості матеріалу інструмента на швидкість різання. При використанні інструментів – різців з платівкою з твердого сплаву $K_{Иv} = 1$.

Сил різання H прийнято розкласти на складові сили, що направлені по осям координат верстата (тангенціальну P_z , радіальну P_y , осьову P_x).

Складова сили різання P_z застосовується в подальших формулах. При зовнішньому поздовжньому та поперечному точінні ця складова розраховується за формулою

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (2.42)$$

де C_p – постійний коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу;

t – глибина різання;

S – подача;

V – швидкість різання.

Коефіцієнт C_p та показники ступені x , y , n для конкретних умов обробки згідно даного завдання приведені в таблиці 2.11.

K_p – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання

$$K_p = K_{\text{Мр}} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\text{гр}}, \quad (2.43)$$

де $K_{\text{Мр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей оброблюваного матеріалу на силу різання. Для оброблюваного матеріалу із конструктивної сталі знаходиться за формулою

$$K_{\text{Мр}} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (2.44)$$

де σ_B – межа міцності при розтягуванні, МПа, n – показник ступеня при визначенні складової сили P_z при обробці різцями дорівнює $n = 0,75$;

$K_{\text{фр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив головного кута на силу різання; $K_{\text{гр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив переднього кута в плані на силу різання;

$K_{\lambda p}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу головного леза на силу різання;

$K_{\text{гр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив радіусу при вершині різця. Чисельні показники коефіцієнтів зведені в таблицю 2.12.

Таблиця 2.11 – Значення коефіцієнту C_p та показників ступенів x , y , n

Матеріал, деталі	Матеріал робочої частини різця	Вид обробки	C_p	x	y	n
Конструктивна сталь та сталеві відливки	Твердий сплав	Зовнішнє поздовжнє та поперечне точіння та розточування	300	1,0	0,75	- 0,15

Таблиця 2.12 – Поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту на сил різання при обробці сталі

Параметри		Матеріал ріжучої частини інструменту	Поправочні коефіцієнти	
Найменування	Величин а		Познач ення	Величина коефіцієнтів для тангенціальної складової P_z
Головний кут в плані φ°		Твердий сплав	$K_{\varphi p}$	0,94
Передній кут γ°		Твердий сплав	$K_{\gamma p}$	1
Кут нахилу основного леза λ°		Твердий сплав	$K_{\lambda p}$	1
Радіус при вершині r , мм		Швидкорізу ча сталь	K_{rp}	1

Потужність різання, kW , визначається за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}. \quad (2.45)$$

За розрахованою потужністю на шпинделі і двигуні верстата вибираємо його модель, при цьому потужність двигуна повинна бути більше або дорівнювати розрахованій: $N_g \geq N$.

Визначаємо хвилинну подачу, mm/xv ,

$$S_{xv} = S \cdot n. \quad (2.46)$$

Визначаємо основний час

$$T_o = \frac{L}{S_{xv}} \cdot i, \quad (2.47)$$

де L – довжина різання, мм; i – кількість робочих ходів.

Визначаємо довжину різання

$$L = l + y ,$$

де l – довжина робочого ходу інструмента, мм;

y – величина врізання, мм, знаходиться за формулою

$$y = y_{\text{підв}} + y_{\text{вріз}} + y_n , \quad (2.48)$$

де $y_{\text{підв}}$ – величина підведення інструменту;

$y_{\text{вріз}}$ – величина врізання інструменту;

y_n – величина пробігу інструменту.

2.9 Розрахунок точності технологічних операцій механічної обробки.

Метою розрахунку точності обробки є:

- 1) Визначення сумарної похибки механічної обробки;
- 2) Розробка заходів, що знижують вплив елементарних похибок на сумарну точність.

Сумарну похибку обробки розраховуємо за формулою

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_i + \Delta_n + \sqrt{\Delta_{\text{сл}}^2 + \varepsilon_y^2} , \quad (2.49)$$

де Δ_i – похибка, обумовлена зносом різального інструменту, мкм;

Δ_n – похибка настройки верстата, мкм;

$\Delta_{\text{сл}} = 15$ мкм – поле розсіювання похибок обробки, обумовлених дією випадкових факторів, мкм;

ε_y – похибка установки заготовки, мкм.

Похибку, яка обумовлена зносом різального інструменту, визначимо за формулою

$$\Delta i = \frac{i_o \cdot l}{1000} , \quad (2.50)$$

де i_o – відносний знос інструмента на 1000 м шляху різання, для різців з матеріалу ріжучої частини Т15К6 при обробки деталі з вуглеводистої сталі $i_o = 5$ мкм/км;

l – шлях різання, m ,

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_0}, \quad (2.51)$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні,

L – розрахункова довжина обробки з урахуванням шляху врізання ріжучого інструменту, знаходиться як сума добутків діаметру та довжини, що оброблюється; n – кількість деталей в партії;

S_0 – подача на оборот верстата.

Похибка, настройки верстата визначається за формулою

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_{зм}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{вим}^2}, \quad (2.52)$$

де $\Delta_{рег}$ – похибка регулювання положення ріжучого інструменту на верстаті; $\Delta_{вим}$ – похибка вимірювання пробних деталей;

$\Delta_{зм}$ – зміщення центру групування розмірів пробних деталей щодо середини поля розсіювання розмірів, $мкм$,

$$\Delta_{зм} = \frac{\Delta_{mn}}{\sqrt{m}}, \quad (2.53)$$

де Δ_{mn} – миттєва похибка обробки;

m – кількість пробних деталей.

Приймається з довідкової літератури $\Delta_{mn} = 10 \text{ мкм}$; $m = 5$; $\Delta_{рег} = 15 \text{ мкм}$; $\Delta_{вим} = 8 \text{ мкм}$.

Висновок про точність операції можливо зробити порівнявши значення сумарної похибки і допуску на обробку заданого розміру. Якщо похибка не перевищує допуск, це означає, що точність операції задовільна. Якщо перевищує, то необхідно передбачити заходи щодо зміни схеми базування, виду обробки, щодо застосовується верстатного пристосування, щодо застосовується верстата підвищеної точності, зміни метод налаштування технологічної системи і т.п. Операцію, яка не забезпечує потрібних умов, застосовувати в технологічному процесі не можна, оскільки це призведе до виникнення браку.

III РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Вхідні дані

Тип апарату ВЕЕ - вертикальний апарат з приварним еліптичним днищем, знімною еліптичною кришкою, гладкою приварною сорочкою і механічною мішалкою.

$V=2 \text{ м}^3$, обсяг корпусу апарату

$D=1,2 \text{ м}$, діаметр корпусу апарату

$P_p=0,3 \text{ МПа}$, тиск в сорочці

$P=0,1 \text{ МПа}$, тиск в корпусі апарату

$T=130^\circ\text{C}$, температура стінки корпусу апарату

$D_m=0,22 \text{ м}$, діаметр мішалки

$N=3 \text{ кВт}$, потужність приводу мішалки

$n=130 \text{ об/хв}$, швидкість обертання мішалки

Матеріал корпусу - коррозійностійка сталь. Матеріал рубашки-вуглецева сталь

3.2 Розрахунок геометричних розмірів апарату

Розрахунок основних розмірів корпусу апарату проводиться за даними обсягу V і внутрішнього діаметра апарата D , (рис.3.1).

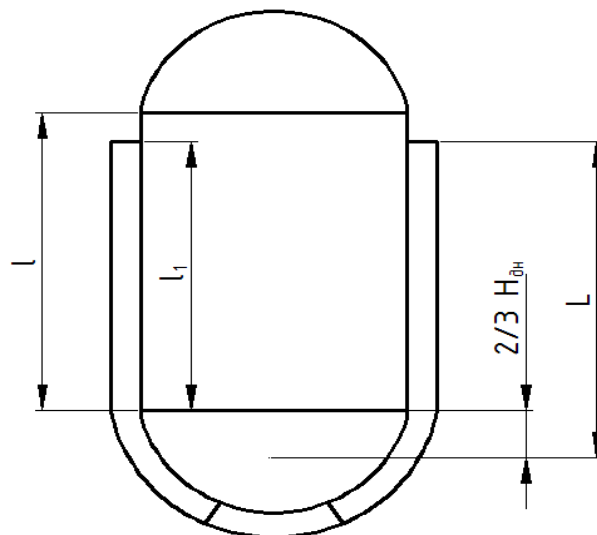


Рис. 3.1 Основні геометричні розміри хімічного апарату.

Довжина апарату циліндричної частини:

$$l = \frac{V - 2V_{\text{дн}}}{0,25\pi D^2} \quad (3.1)$$

$$l = \frac{2 - 2 \cdot 0,26}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 1,2^2} \approx 1,31 \text{ м}$$

де V – номінальний об'єм корпусу апарату,

$V_{\text{дн}}$ - об'єм днища,

D – діаметр корпусу апарату.

$$l_1 = 0,9 \cdot l \quad (3.2)$$

$$l_1 = 0,9 \cdot 1,31 = 1,18 \text{ м}$$

Висота днища:

$$H_{\text{дн}} = \frac{D}{4}$$

Розрахункова довжина:

$$L = l_1 + \frac{1}{3} H_{\text{дн}} \quad (3.3)$$

$$L = 1,18 + \frac{1}{3} \cdot 0,3 = 1,28 \text{ м}$$

Діаметр сорочки D_2 розраховують за нижченаведеними формулами:

$$D_1 + 100 < D_2 < 1,2 D_1$$

$$1200 + 100 < D_2 < 1,2 \cdot 1200$$

Прийmemo діаметр сорочки рівним 1300 мм.

$$\frac{D_2}{D_1} < 1,2 \quad \frac{1,3}{1,2} = 1,08 < 1,2$$

умова виконується.

3.3 Визначення розрахункових параметрів хімічного апарату

Робочай, розрахунковий, пробний і умовний тиск відносяться до параметрів, які підлягають попередньому визначенню. Дані параметри встановлюються відповідно до ГОСТ 14249-89.

Розрахунковий внутрішній тиск P_i - тиск, на який здійснюється розрахунок на міцність. Розрахунковий тиск приймають, як правило, дорівнює робочому або вище нього.

Розрахунок параметрів хімічного апарату для корпусу:

$$P_1 = P + P_{Г.С1} \quad (3.4)$$

$$P_{Г.С1} = \rho \cdot g \cdot (l_1 + H_{\text{дн}}) \cdot 10^{-6}$$

де P - розрахунковий внутрішній тиск для корпусу апарату, МПа;

P_1 – максимальний надлишковий тиск, що враховує гідростатичний тиск в апараті, Па;

ρ - густина робочого середовища, кг/м³;

$g = 9,8$ – прискорення вільного падіння, м/с²;

l_1 – довжина сорочки, м.

$H_{\text{дн}}$ - висота днища корпусу.

$$P_{Г.С1} = 9,8 \cdot 1200 \cdot (1,18 + 0,3) \cdot 10^{-6} = 0,0174 \text{ МПа}$$

$$\frac{P_{Г.С1}}{P} \cdot 100\% = \frac{0,0174}{0,1} \cdot 100\% = 17,4\% > 5\% \quad \text{умова виконується.}$$

$$P_1 = 0,1 + 0,0174 = 0,1174 \text{ МПа}$$

$$[P]_{\text{учн}} = 1,25 \cdot P_1 \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} \quad (3.5)$$

$$[P]_{\text{учн1}} = 1,25 \cdot 0,1174 \cdot \frac{168}{151,2} = 0,16 \text{ МПа}$$

$[P]_{\text{учн1}}$ - тиск створюваний при гідравлічних випробуваннях корпусу апарату.

Розрахунок параметрів хімічного апарату для сорочки апарату:

$$P_2 = P_p + P_{Г.С2} \quad (3.6)$$

$$P_{Г.С2} = \rho \cdot g \cdot (l_1 + H_{\text{дн}} + \frac{D_2 - D_1}{2}) \cdot 10^{-6}$$

$$P_{Г.С2} = 9,8 \cdot 1200 \cdot (1,18 + 0,3 + \frac{1,3 - 1,2}{2}) \cdot 10^{-6} = 0,018 \text{ МПа}$$

$$\frac{P_{Г.С2}}{P_p} \cdot 100\% = \frac{0,018}{0,3} \cdot 100\% = 6\% > 5\% \quad \text{умова виконується.}$$

$$P_2 = 0,3 + 0,018 = 0,318 \text{ МПа}$$

$$[P]_{исн} = 1,25 \cdot P_2 \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} \quad (3.7)$$

$$[P]_{исн2} = 1,25 \cdot 0,318 \cdot \frac{147}{139,6} = 0,42 \text{ МПа}$$

$[P]_{исн2}$ - тиск створюваний при гідравлічних випробуваннях сорочки.

3.4 Розрахунок корпусу апарату

Корпус апарату виготовляється з листів прокату, що поставляються металургійною промисловістю.

Стандартні значення товщини листів рівні: 1,2,3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,25,28,30,32,34,36,38,40, 45 мм і т.д. до 70 через 5 мм, а потім через 10мм.

3.5 Розрахунок обичайки корпусу

Вважаємо товщину стінки S_p , навантажену внутрішнім надлишковим тиском, за формулою:

$$S_p = \frac{p_1 D}{2[\sigma]_e \cdot \varphi - p_1} \quad (3.8)$$

де p_1 – внутрішній тиск, МПа;

D – діаметр корпусу апарату, м;

$[\sigma]_t$ – допустиме напруження, МПа;

φ – коефіцієнт міцності зварного шва

$$S_p = \frac{0,1174 \cdot 1200}{2 \cdot 151,2 \cdot 1 - 0,1174} = 0,466 \text{ мм}$$

Товщина стінки обичайки, навантажена зовнішнім тиском:

$$S^* = \frac{1,1 \cdot p_2 D}{2[\sigma]_t} \quad (3.9)$$

$$S^* = \frac{1,1 \cdot 0,318 \cdot 1200}{2 \cdot 151,2} = 1,39 \text{ мм}$$

$$S^{**} = k_2 \cdot D \cdot 10^{-2} \quad (3.10)$$

де $K_2 = f(K_1, K_3)$ - визначається по номограмі (рис.3.2)

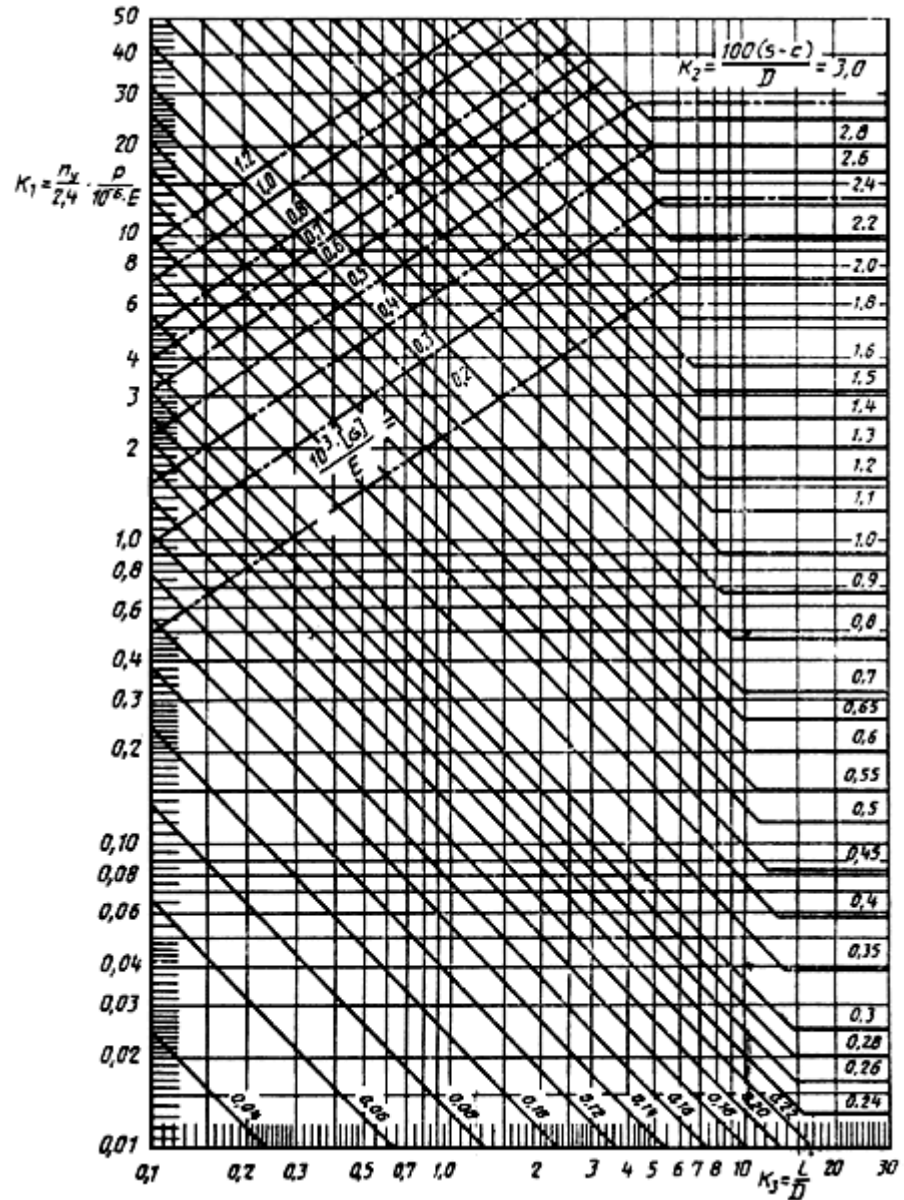


Рис. 3.2 Номограма для визначення коефіцієнта K_2 .

$$k_1 = \frac{0,865 \cdot n_y \cdot p_2}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} \quad (3.11)$$

$$k_1 = \frac{0,865 \cdot 2,4 \cdot 0,318}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5} = 1,4$$

$$k_3 = \frac{L}{D}$$

$$k_3 = \frac{1,28}{1,2} = 1,07 \text{ мм}$$

Вибираємо по номограмі $k_2 = 0,5$.

$$S^{**} = 0,5 \cdot 1200 \cdot 10^{-2} = 6 \text{ мм}$$

$$S_1 \geq \max[S; S^*; S^{**}] + c;$$

де c – додаток на корозію, мм;

$$S_1 \geq \max[0,466; 1,39; 6] + 2;$$

$$S_1 = 6 + 2 = 8 \text{ мм.}$$

Визначимо осьову стискаючу силу:

$$F = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_1)^2 \cdot p_2}{4} \quad (3.12)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot (1200 + 2 \cdot 8)^2 \cdot 0,318}{4} = 369,117 \text{ кН}$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} < 1 \text{ – перевірочний розрахунок.}$$

Допустимий тиск на обечайку:

$$[p] = \frac{p_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_{II}}{p_E}\right)^2}}; \quad (3.13)$$

$$[p] = \frac{1,5}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,5}{0,29}\right)^2}} = 0,285 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[p]_{II} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S_1 - c)}{D + (S_1 - c)} ;$$

$$[p]_{II} = \frac{2 \cdot 151,2 \cdot (8 - 2)}{1200 + (8 - 2)} = 1,5 \text{ МПа.}$$

Допустимий тиск з умови стійкості:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L} \cdot \left[\frac{100(S_1 - c)}{D} \right]^{2,5} ;$$

$$B_1 = \min \left[1; 9,45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100(S_1 - c)}} \right];$$

$$9,45 \cdot \frac{1,2}{1,28} \cdot \sqrt{\frac{1200}{100(8 - 2)}} = 12,53$$

$$B_1 = 1.$$

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 1200}{2,4 \cdot 1 \cdot 1280} \cdot \left(\frac{100 \cdot (8 - 2)}{1200} \right)^{2,5} = 0,29 \text{ МПа.}$$

Допустиме осьове стискальне зусилля:

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

$$[F]_{II} = \pi(D + S_1 - c)(S_1 - c)[\sigma]_t ;$$

$$[F]_{II} = 3,14 \cdot (1200 + 8 - 2) \cdot (8 - 2) \cdot 151,2 = 3435,421 \text{ кН}$$

$$[F]_E = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E_t \cdot D^2}{n_y} \left[\frac{100(S_1 - c)}{D} \right]^2 ;$$

$$[F]_E = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1200^2 \left[\frac{100(8 - 2)}{1200} \right]^2 = 9253,5 \text{ кН}$$

$$[F] = \frac{3435,421}{\sqrt{1 + \left(\frac{3435,421}{9253,5}\right)^2}} = 3220,63 \text{ кН}$$

$$\frac{0,1174}{0,285} + \frac{369,117}{3220,63} = 0,526 < 1 - \text{ умова виконується.}$$

3.6 Розрахунок днища

Формули застосовні для виконанні умови:

$$0,002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0,1 \quad (3.15)$$

Де S_1 - товщина корпусу, мм;

C - постійна величина, мм;

D - діаметр корпусу апарату, мм;

$$0,002 \leq \frac{8-2}{1200} \leq 0,1$$

$0,002 \leq 0,005 \leq 0,1$ – умова виконується.

Визначаємо радіус кривизни в вершині днища за формулою:

$$R = \frac{D^2}{4H} \quad (3.16)$$

$$R = D = 1200 \text{ мм} ;$$

$$H = 0,25 \cdot D ;$$

$$H_{\text{дн}} = 0,25 \cdot 1200 = 300 \text{ мм} ,$$

де R - радіус кривизни,

D - діаметр корпусу апарату, мм;

H - висота днища.

Розраховуємо товщину стінки, навантажену внутрішньо-надлишковим тиском:

$$S_{расч} = \frac{P_1 \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5P_1} \quad (3.17)$$

Де P_1 – внутрішній тиск, МПа;

φ – коефіцієнт міцності зварних швів;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, МПа;

P_1 – тиск в корпусі апарату, МПа;

$$S_{расч} = \frac{0,1174 \cdot 1200}{2 \cdot 1 \cdot 151,2 - 0,5 \cdot 0,1174} = 0,47 \text{ мм.}$$

$$S_p^* = \frac{P_2 \cdot R_1}{2 \cdot [\sigma]_t} \quad (3.18)$$

$$S_p^* = \frac{0,318 \cdot 1200}{2 \cdot 151,2} = 1,26 \text{ мм,}$$

$[\sigma]_t$ – допустиме напруження при робочій температурі, МПа;

$$S_p^{**} = \frac{K_3 \cdot R_1}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p_2}{10^{-6} \cdot E_t}};$$

$$S_p^{**} = \frac{0,945 \cdot 1200}{510} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,318}{10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5}} = 4,3 \text{ мм,}$$

Де K_3 – коефіцієнт приведення радіуса кривизни еліптичного днища. Для еліптичних днищ приймається попередньо 0,9.

n_y – коефіцієнт запасу стійкості;

E_t -модуль Юнга.

$$S_3 \geq \max[S; S^*; S^{**}] + c;$$

$$S_3 \geq \max[0,47; 1,26; 4,3] + 2;$$

Примемо $S_3 = 8$ мм.

Допускаютьимий зовнішнє тиск:

$$[P] = \frac{[P]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_n}{P_E}\right)^2}}; \text{МПа}$$

Де $[P]_n$ – допустимий зовнішній тиск з умови міцності;

P_E – допустимий зовнішній тиск з умови стійкості.

$$[P] = \frac{1,51}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,51}{0,58}\right)^2}} = 0,54 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[P]_n = \frac{2[\sigma]_t (S_3 - C)}{R + 0,5(S_3 - C)};$$

$$[P]_n = \frac{2 \cdot 151,2 \cdot 6}{1200 + 0,5(8 - 2)} = 1,51 \text{ МПа.}$$

Тепер визначаємо тиск з умови стійкості:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E_t}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S_3 - C)}{K_s \cdot R} \right]^2;$$

$$K_s = \frac{1 + (2,4 + 8x)x}{1 + (3,0 + 10x)x};$$

Коефіцієнт X визначається за формулою:

$$X = 10 \cdot \frac{S_3 - C}{D} \cdot \left(\frac{D}{2H} - \frac{2H}{D} \right);$$

$$X = 10 \cdot \frac{8 - 2}{1200} \cdot \left(\frac{1200}{2 \cdot 300} - \frac{2 \cdot 300}{1200} \right) = 0,075;$$

$$K_3 = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot 0,075) \cdot 0,075}{1 + (3,0 + 10 \cdot 0,075) \cdot 0,075} = 0,96;$$

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left[\frac{100 \cdot 6}{0,96 \cdot 1200} \right]^2 = 0,58 \text{ МПа.}$$

3.7 Розрахунок кришки

Визначимо товщину стінки кришки корпусу:

$$S_p = \frac{p_1 \cdot D_1}{2 \cdot \varphi_1 \cdot [\sigma]_t - 0,5 p_1}; \quad (3.19)$$

$$S_p = \frac{0,1174 \cdot 1200}{2 \cdot 1 \cdot 151,2 - 0,5 \cdot 0,1174} = 0,46 \text{ мм};$$

$$S \geq S_p + c;$$

$S \geq 0,46 + 2 = 2,46$ мм. Приймаємо $S = 6$ мм.

3.8 Розрахунок сорочки

Розрахунок циліндричної частини сорочки.

Внутрішній тиск:

$$S'_2 = \frac{P_2 \cdot D_2}{2 \cdot \varphi_2 \cdot [\sigma_2]_t - P_2}; \quad \varphi_2 = 0,9$$

$$S'_2 = \frac{0,318 \cdot 1300}{2 \cdot 0,9 \cdot 139,6 - 0,318} = 1,6 \text{ мм}$$

З урахуванням додатку на корозію:

$$S_2 \geq S'_2 + C; \quad S_2 \geq 3,6 \text{ мм}$$

$$S_2 = 5 \text{ мм}$$

3.9 Розрахунок днища сорочки

Попередній розрахунок еліптичного днища:

$$S'_4 = \frac{P_2 \cdot R_2}{2 \cdot \varphi_1 \cdot [\sigma_2] - 0,5 \cdot P_2} \quad (3.20)$$

$$S'_4 = \frac{0,318 \cdot 1300}{2 \cdot 1 \cdot 139,6 - 0,5 \cdot 0,318} = 1,5 \text{ мм}$$

$$S_4 \geq S'_4 + c \quad (3.21)$$

$$S_4 = 1,5 + 2 = 3,5 \text{ мм}$$

де S_4 – розрахункова товщина стінки еліптичного днища з умови міцності, м;

S_d – товщина стінки еліптичного днища;

P_2 – розрахунковий внутрішній тиск, Па;

D_2 – внутрішній діаметр обичайки, м;

$$R_2 = D_2$$

$[\sigma_2]$ – допустиме напруження, Па;

$\varphi_1 = 1$ – коефіцієнт міцності зварного шва;

$c = 2 \text{ мм}$ – додаток на корозію.

Приймаємо $S_d = 5 \text{ мм}$.

Отримані значення розрахункових товщин стінок підлягають порівнянню з товщиною, розрахованими з умови стійкості та подальшому уточненню з урахуванням корозії, і округлення до стандартної товщини

листів.

3.10 Розрахунок мішалки

Параметри турбінної відкритою мішалки приймаємо з ГОСТ 22577-77* для $d_M=220$ мм:

- діаметр вала під мішалку $d_1=45$ мм
- висота маточини $h=70$ мм
- висота лопаті $b=50$ мм
- товщина диска мішалки $s=4$ мм
- допустимий крутний момент $[M]=0,10$ кН·м
- маса $m_M=2,9$ кг
- діаметр лопаток $d_4=0,5 \cdot d_M=0,5 \cdot 220=110$ мм
- діаметр диска $d_2=0,75 \cdot d_M=0,75 \cdot 220=165$ мм

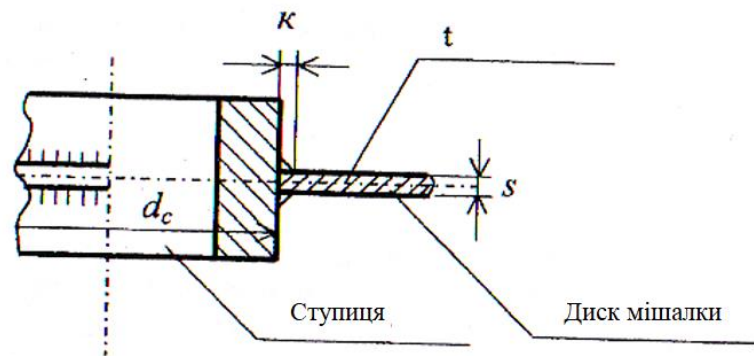


Рис.3.3 Розрахункова схема турбінної відкритою мішалки

Найбільш навантаженою ділянкою є зварене з'єднання диска з маточиною мішалки. Таврове з'єднання виконано кутовими швами. Розрахункове дотичне напруження τ визначається в площині бісектриси кутового шва (рис. 3.3).

Умова міцності цього з'єднання має вигляд:

$$\tau = \frac{2 \cdot M_{кр}}{d_{ст} \cdot \pi \cdot d_{ст} \cdot 0,7 \cdot K_{шв}} \leq [\tau]_c, \quad (3.22)$$

де $M_{кр}$ – розрахунковий крутний момент з урахуванням пускових навантажень:

$$M_{кр} = \frac{K_d \cdot N}{\omega} \quad (3.23)$$

$K_d=1,5$ – коефіцієнт динамічності для турбінних мішалок;

N – номінальна потужність на валу мішалки;

ω – кутова швидкість вала мішалки;

$$M_{кр} = \frac{1,5 \cdot 3}{13,6} = 0,33 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$d_{ст}=70$ мм – діаметр маточини;

$K_{шв}$ – катет зварного шва:

$$K_{шв}=0,8 \cdot s;$$

$$K_{шв}=0,8 \cdot 4=3,2 \text{ мм}=0,0032 \text{ м}$$

$[\tau]_c$ – допустиме напруження зрізу для матеріалу швів:

$$[\tau]_c = \varphi \cdot [\tau]$$

$[\tau]$ – допустиме дотичне напруження для матеріалу шва з урахуванням температури середовища.

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma] \quad (3.24)$$

$$[\tau] = 0,6 \cdot 151,2 = 90,72 \text{ МПа}$$

$$[\tau]_c = 0,8 \cdot 90,72 = 72,6 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\tau = \frac{2 \cdot 0,33 \cdot 10^3}{0,07 \cdot 3,14 \cdot 0,07 \cdot 0,7 \cdot 0,0048} = 19,15 \text{ МПа} < [\tau]_c = 72,6 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

3.11 Розрахунок вала

Розрахунок вала на вібростійкість.

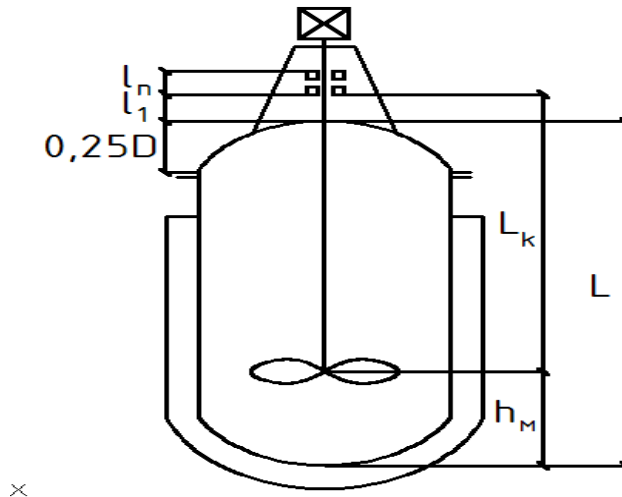


Рис.3.4 Основні параметри мішалки

Вибираємо привід МПО1-10 => діаметр вала під привід 40мм

Крутний момент на валу визначається за формулою

$$M = \frac{30 \cdot N \cdot \eta}{\pi \cdot n} \quad (3.25)$$

де η – ккд мішалки

$$\eta = \eta_{рез} \cdot \eta_{меш} \cdot \eta_{подш} \cdot \eta_{уплот}$$

$$\eta = 0,92 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,95 = 0,85$$

$$M = \frac{30 \cdot 3 \cdot 0,85}{3,14 \cdot 130} = 0,19 \text{ КН} \cdot \text{м}$$

Діаметр вала під привід визначається за формулою

$$d_{\text{вала}} = \sqrt[3]{\frac{M \cdot 10^6}{0.2 \cdot [\tau]}}$$

$$d_{\text{вала}} = \sqrt[3]{\frac{0,19 \cdot 10^6}{0.2 \cdot 20}} = 36,2 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр валу 50 мм.

Діаметр валу під мішалку 45 мм.

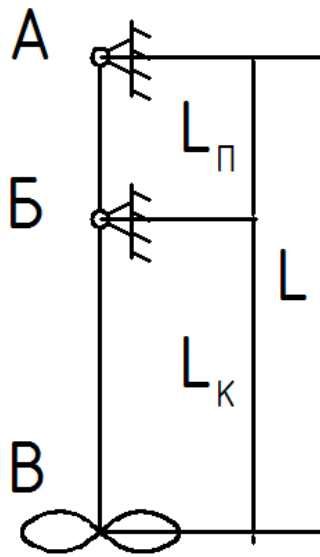


Рис.3.5 Основні параметри валу

За малюнком позначимо $L_{\kappa} = 2050 \text{ мм}$, обзначимо $L_{\Pi} = 450 \text{ мм}$, тоді загальна довжина валу мішалки $L = 2500 \text{ мм}$

Відносна довжина колони

$$a_{\kappa} = \frac{L_{\kappa}}{L} \tag{3.26}$$

$$a_{\kappa} = \frac{2050}{2500} = 0,82 \text{ мм}$$

Відносна довжина консолі

$$a_{\kappa} = \frac{L_{\Pi}}{L_{\kappa}}$$

$$a_{\kappa} = \frac{450}{2050} = 0,22 \text{ мм}$$

Відносна координата центра ваги деталі

$$a_i = 1$$

Безрозмірний динамічний прогин вала в центрі ваги деталі

$$a_{y_i} = 1$$

Коефіцієнт, що враховує умову закріплення вала

$$\eta = 3a_{\kappa}$$

$$\eta = 3 \cdot 0,82 = 2,46$$

Коефіцієнт вібростійкості $\varepsilon = 0,7$

безрозмірний коефіцієнт

$$f = \frac{8 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot L_{\kappa}}{\varepsilon^2 \cdot \eta \cdot E}$$

$$f = \frac{8 \cdot 7,85 \cdot 10^3 \cdot 13,6^2 \cdot 2,05^2}{0,7^2 \cdot 2,46 \cdot 1,99 \cdot 10^{11}} = 2 \cdot 10^{-4}$$

Кутова швидкість визначається за формулою

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

(3.27)

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 130}{30} = 13,6 \text{ рад / с}$$

Наведена маса деталі на консолі визначається:

$$m_B = m_m \cdot a_{yi}$$

$$m_B = 6,2 \cdot 1 = 6,2 \text{ кг}$$

Коефіцієнт приведення маси вала до консолі:

$$q = f(a_n)$$

$$q = 0,22$$

Діаметр вала розрахунковий, визначається за формулою:

$$d_p = \sqrt{q \cdot f \cdot L_k^2} + \sqrt{(q \cdot f \cdot L_k^2)^2 + \frac{8m_B \cdot f \cdot L_k}{\pi \cdot \rho}} \leq d_e$$

$$d_p = \sqrt{0,22 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2,05^2} + \sqrt{(0,22 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2,05^2)^2 + \frac{8 \cdot 6,2 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2,05^2}{3,14 \cdot 7,85 \cdot 10^3}} = 33 \text{ мм} < 50 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр вала 50 мм

Маса одиниці довжини вала

$$m_e = \frac{\pi}{4} \cdot d_e^2 \cdot \rho_e \quad (3.28)$$

$$m_e = \frac{\pi}{4} \cdot 0,05^2 \cdot 7850 = 15,4 \text{ кг/м}$$

Відносна маса деталей

$$a_m = \frac{m_B}{m_e \cdot L_k} \quad (3.29)$$

$$a_m = \frac{6,2}{15,4 \cdot 2,05} = 0,2 \text{ кг}$$

Корінь частотного рівняння визначається за ГОСТ 14249-89

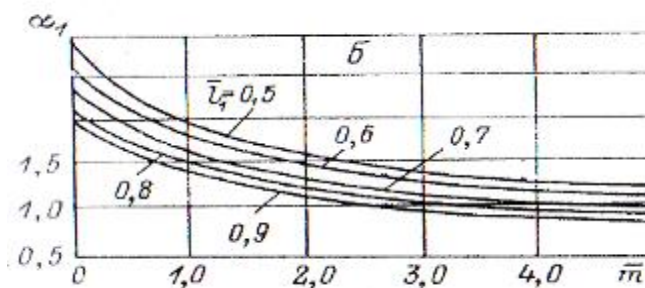


Рис.3.6 Монограма для визначення α

Корінь частотного рівняння $\alpha=1,8$

Момент інерції перерізу вала:

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot d_e^4 \quad (3.30)$$

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot 0,05^4 = 3,06 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Перша критеріальна швидкість вала

$$\omega_1 = \left(\frac{\alpha}{L_k} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m_e}}$$

$$\omega_1 = \left(\frac{1,8}{2,05} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{1,99 \cdot 10^{11} \cdot 3,06 \cdot 10^{-7}}{15,4}} = 48,5 \text{ рад/с}$$

Перевіряємо умови вібростійкості

$$\frac{\omega}{\omega_1} \leq \varepsilon$$

$$\frac{13,6}{48,5} = 0,28 \leq 0,7$$

- умова виконується.

Розрахунок вала на жорсткість.

Ексцентриситет мішалки:

$$e = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}}$$

$$e = \frac{10^{-3}}{\sqrt{13,6}} = 2,7 \cdot 10^{-4}$$

Відносна координата небезпечного, за жорсткістю, перетину

$$a_{sj} = \frac{z_j}{L_k}$$

де z_j - відстань до втулки сальникового ущільнення $z_j = 0,4 \text{ м}$

Безрозмірний динамічний прогин в небезпечному по жорсткості перетині

$$a_{sj} = 0,05$$

Наведений ексцентриситет мішалки

$$e_{je} = \frac{e}{a_{yj}}$$

$$e_{je} = \frac{2,7 \cdot 10^{-4}}{1} = 2,7 \cdot 10^{-4}$$

Зміщення осі вала за рахунок зазорів в підшипниках в точці В

$$\Delta l_j = \frac{\Delta_a + \Delta_b}{L_n} * (L_k + L_n) - \Delta_a$$

де $\Delta_a = 25 \cdot 10^{-6}$ для кулькових підшипників,

$\Delta_b = 30 \cdot 10^{-6}$ для сферичних підшипників,

$$\Delta l_j = \frac{25 \cdot 10^{-6} + 30 \cdot 10^{-6}}{0,45} \cdot (2,05 + 0,45) - 25 \cdot 10^{-6} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

В інших перетинах:

$$\Delta z_j = \frac{\Delta_a + \Delta_\sigma}{L_n} \cdot (z_j + L_n) - \Delta_a$$

$$\Delta z_j = \frac{25 \cdot 10^{-6} + 30 \cdot 10^{-6}}{0,45} \cdot (0,4 + 0,45) - 25 \cdot 10^{-6} = 7,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Наведений ексцентриситет мішалки:

$$E_{jB} = \frac{m_m \cdot l_{jB}}{m_m + m_{eB}},$$

де m_{eB} - приведена маса вала

$$m_{eB} = q \cdot m_e \cdot L_k$$

$$m_{eB} = 0,22 \cdot 15,4 \cdot 2,05 = 6,9 \text{ кг}$$

$$E_{jB} = \frac{25 \cdot 2,71 \cdot 10^{-3}}{25 + 17,36} = 1,6 \cdot 10^{-4}$$

Зсув осі вала за рахунок зігнутості вала

$$\varepsilon_e = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Зсув осі вала для мішалки

$$\varepsilon_{li} = \varepsilon_B \cdot a_{yj}$$

$$\varepsilon_{li} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Зсув осі вала в небезпечному перерізі:

$$\varepsilon_{zi} = \varepsilon_B \cdot a_{zj}$$

$$\varepsilon_{zi} = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Наведений ексцентриситет вала з мішалкою в точці В

$$e_B = E_{jB} + \Delta_B + \varepsilon_B$$

$$e_B = 1,28 \cdot 10^{-4} + 2,8 \cdot 10^{-4} + 10^{-3} = 14 \cdot 10^{-4}$$

Динамічний прогин осі вала в точці В

$$Y_\varepsilon = \frac{e_B}{\left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 - 1}$$

$$Y_B = \frac{14 \cdot 10^{-4}}{\left(\frac{48,5}{13,6}\right)^2 - 1} = 1,19 \cdot 10^{-4}$$

Динамічне зміщення центру ваги мішалки

$$A_j = Y_B \cdot a_{yj} + \Delta l_j + \varepsilon_{lj} + e_{jB}$$

$$A_j = 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot 1 + 2,8 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-3} + 2,7 \cdot 10^{-4} = 16 \cdot 10^{-4}$$

Динамічне зміщення вала в небезпечному по жорсткості перетин

$$A_{zj} = Y_B \cdot a_{zj} + \Delta z_j + \varepsilon_{zj}$$

$$A_{zj} = 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot 0,05 + 7,9 \cdot 10^{-5} + 0,05 \cdot 10^{-3} = 13 \cdot 10^{-5}$$

Перевірка умови

$$A_{zj} < [A]_j$$

$[A]_j$ - допустиме зміщення в ущільненні

$0,00013 < 0,00025$ умова виконується.

Перевірка вала на міцність.

Відцентрова сила від мішалки:

$$F_{ц.м.} = m_m \cdot \omega^2 \cdot A_j \quad (3.31)$$

$$F_{ц.м.} = 6,2 \cdot 13,6^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} = 1,83H$$

Відцентрова сила від наведеної маси вала:

$$F_{ц.Б} = m_{вБ} \cdot \omega^2 \cdot A_B$$

$$F_{ц.Б.} = 15,4 \cdot 13,6^2 \cdot 0,13 \cdot 10^{-3} = 0,37H$$

вигинаємий момент в точці Б:

$$M_B = (F_{ц.м.} + F_{ц.Б.}) \cdot L_{\kappa},$$

$$M_B = (1,83 + 0,37) \cdot 2,05 = 4,51H \cdot м$$

реакція в точці Б

$$R_B = \frac{(F_{ц.м.} + F_{ц.Б.}) \cdot (L_{\kappa} + L_n)}{L_n} \quad (3.32)$$

$$R_B = \frac{(1,83 + 0,37) \cdot (2,05 + 0,45)}{0,45} = 12,2H$$

реакція в точці А

$$R_A = \frac{(F_{ц.м.} + F_{ц.Б.}) \cdot L_{\kappa}}{L_n} \quad (3.33)$$

$$R_A = \frac{(1,83 + 0,37) \cdot 2,05}{0,45} = 10H$$

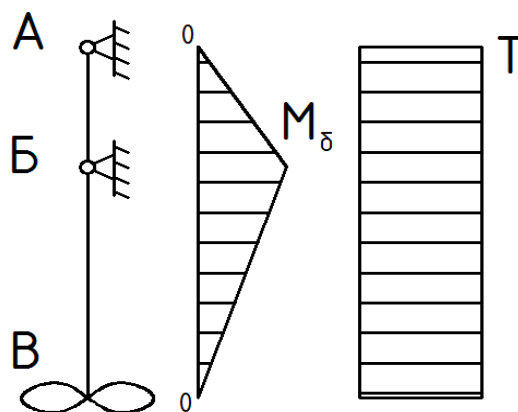


Рис.3.7 Побудова згинального і крутного моментів

Визначимо коефіцієнт запасу для нормальних напружень по формулі

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma p} \cdot \sigma_A} \quad (3.34)$$

де σ_{-1} - межа витривалості гладкого зразка при симетричному циклі напружень згину

$K_{\sigma p}$ - ефективний коефіцієнт концентрації напруг для деталі, $K_{\sigma p} = 2,3$

$$\sigma_A = \frac{M_B}{0,1 \cdot d_B^3}$$

σ_A – амплітуда номінальних напруг вигину,

$$\sigma_A = \frac{4,51}{0,1 \cdot 0,05^3} = 0,3608 \text{ МПа}$$

$$n_{\sigma} = \frac{97,5}{2,3 \cdot 0,3608} = 117,5$$

Визначимо коефіцієнт запасу міцності для дотичних напружень по формулі:

$$n_{\tau} = \frac{0,58 \cdot \tau_{-1}}{K \cdot \tau_A},$$

де τ_{-1} – межа витривалості гладкого зразка при симетричному циклі напружень крутіння

τ_A – амплітуда номінальних напружень кручення

$K_{\tau p}$ – ефективний коефіцієнт концентрації напруги для деталі

$$K_{\tau p} = 1,9$$

$$\tau_A = \frac{T}{0,2 \cdot d_B^3}$$

$$\tau_a = \frac{187,5}{0,2 \cdot 0,05^3} = 7,5 \text{ МПа}$$

$$n_\tau = \frac{0,58 \cdot 97,5}{1,9 \cdot 7,5} = 3,97$$

Визначимо загальний коефіцієнт запасу міцності на сумісність дію вигину і крутіння

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}$$

$$n = \frac{117,5 \cdot 3,97}{\sqrt{117,5^2 + 3,97^2}} = 4$$

$$n=4$$

3.12 Вибір і розрахунок підшипників

За довідником ГОСТ 3189-89 для ділянки вала де його діаметр $d = 50$ мм вибираємо підшипник радіальний сферичний дворядний середньої серії з регульованою втулкою (распорной) - 1311К.

Його основні розміри:

- Діаметр зовнішній: $d_{\text{нар}}=120$ мм
- Ширина підшипника: $b=29$ мм
- Ширина зі втулкою: $b_1=45$ мм

За довідником ГОСТ 8338-75 для ділянки вала де його діаметр $d = 45$ мм вибираємо підшипник кульковий радіальний однорядний серії - 309.

Його основні розміри:

- Діаметр зовнішній: $d_{\text{нар}}=100$ мм
- Ширина підшипника: $b=25$ мм.

3.13 Вибір і розрахунок муфти

Основні муфти, що застосовуються в хімічному машинобудуванні, стандартизовані. Відповідно до стандарту їх підбирають за діаметрами з'єднаних валів по розрахунковому переданому обертовому моменту M_p :

$$M_p = K_p \cdot M_{вр} \quad (3.35)$$

де K_p - коефіцієнт режиму роботи;

$M_{вр}$ - номінальний крутний момент при сталому режимі роботи ($N = \text{const}$, $\omega = \text{const}$).

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів режиму роботи

Характер навантаження	Значення кв
Спокійна з пусковим і короткочасними навантаженнями (до 120% номінальної)	1,25-1,5
З помірними коливаннями (до 150% номінальної)	1,5-1,8

$$M_p = 1,5 \cdot 187 = 280,5 H \cdot m$$

За отриманим розрахунковому моменту на валу і діаметру вала під привід $d_{пр}=40$ мм. Виберемо муфту МУВП з параметрами занесеними в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри муфти

d , мм	M_p , Н·м	D , мм	L , мм	B , мм	D_1 , мм	пальці				Втулка гнучка	
						$d_{п}$, мм	$l_{п}$, мм	різьба	n	D_B , мм	l_B , мм
40- 45	450	170	226	1 – 5	120	18	42	M12	6	35	36

3.14 Розрахунок допоміжних пристроїв

Для здійснення технологічних процесів в апараті передбачені різні Штуцерна пристрої:

- 1) Завантажувальний штуцер $D_y=150$ мм.
- 2) Труба передавлювання $D_y=80$ мм.
- 3) Підвод пару $D_y=100$ мм.
- 4) Злив конденсату $D_y=50$ мм.
- 5) Розгрузочний штуцер $D_y=100$ мм.
- 6) Бобишка для манометру $D_y=20$ мм.
- 7) Запобіжний клапан $D_y=50$ мм.
- 8) Для термометра $D_y=20$ мм.

3.15 Стійка вертикальна

Для закріплення приводний частини апарату необхідно вибрати і встановити стійку вертикальну (рис.3.8) з конструктивними параметрами занесеними в таблицю 3.3. Стійка вибирається залежно від діаметра вала d .

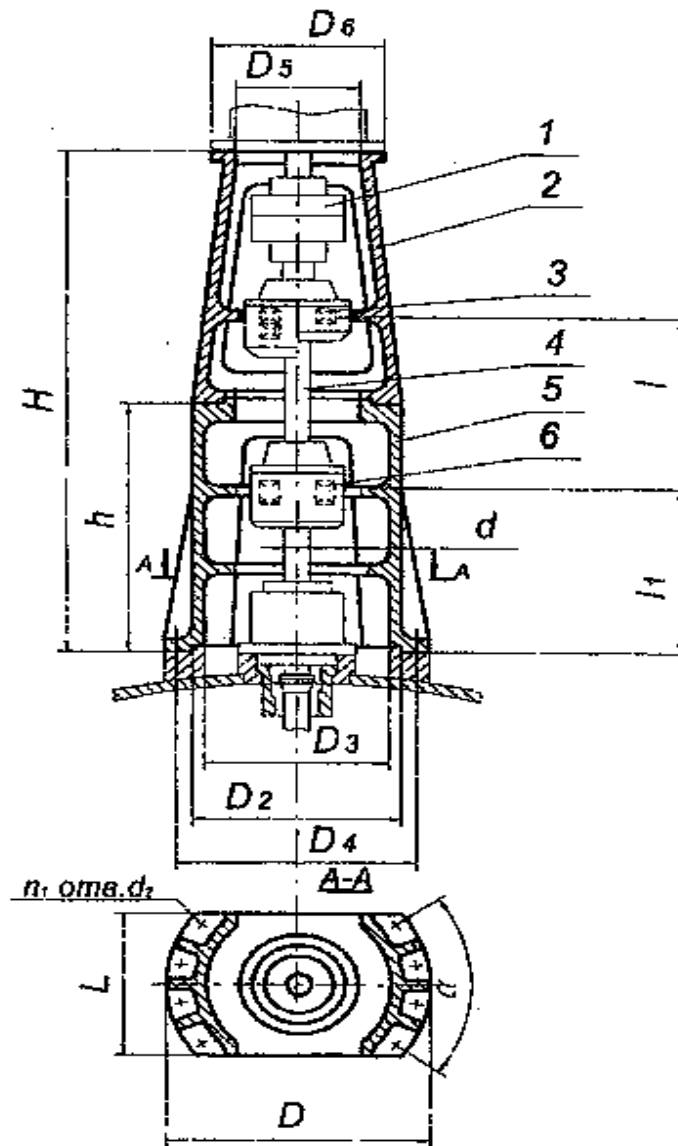


Рис.3.8 Стійка вертикальна: 1-муфта МУВП; 2-стійка верхня;
3 підшипник радіально-упорний; 4-вал; 5-стійка нижня;

6-підшипник дворядний самовстановлювальний

Таблиця 3.3 – Параметри вибраної вертикальної стійки

d ,	D ,	D_2 ,	D_3 ,	D_4 ,	D_5 ,	D_6 ,	H ,	h ,	l ,	l_1 ,	L ,	d_2 ,	n_1	α
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм		
50	540	430	380	500	270	330	1235	720	450	50	35	23	6	72
										0	0			

3.16 Мотор-редуктор

Основні характеристики мотор-редуктора типу МПО1-10 занесені в таблицю 3.4.

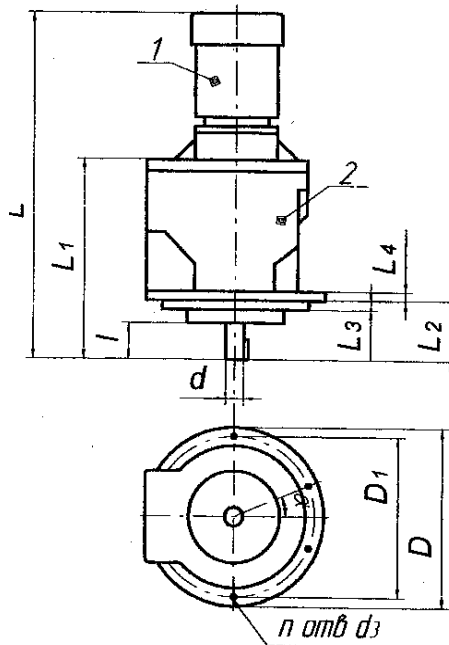


Рис.3.9 Мотор-редуктор типу МПО1: 1-електродвигун; 2-планетарний редуктор

Таблиця 3.4 – Параметри привода МПО1-15

d ,	d_3 ,	l ,	D ,	D_1 ,	L ,	L_1 ,	L_2 ,	L_3 ,	L_4 ,	α	n	M ,
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм			кг
40	13	80	330	270	630	350	110	6	16	30	6	50

ВИСНОВОК

Метою дипломного проекту є закріплення знань з проектування вертикальних апаратів, перемішуючих пристроїв, вивчення методів розрахунку апаратів а також їх технічних засобів за потрібними призначенням, проектування та розробка технологічного процесу виготовлення валів.

У роботі передбачено виконання розрахунків обладнання ферментера з турбінною мішалкою, було виконано проектний розрахунок валу перемішуючого пристрою, та метод його виготовлення.

Робота включає аналіз технологічного процесу з описом та обґрунтуванням обраних конструкції апаратів приведених у нормативній документації, технічні характеристики апаратів та перемішуючих пристроїв, порівняння основних показників обраних конструкцій з аналогами, вибір матеріалів елементів конструкцій апарату, забезпечення та перевірку відповідності розроблюваних апаратів до вимог охорони праці, проведення розрахунків, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів.

Список літератури

1. ГОСТ 9931-85. Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.
2. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
3. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры.
4. В.Н.Соколов. Аппаратура микробиологической промышленности / В.Н.Соколов, М.А. Яблокова. – Л.: Машиностроение, 1988. – 278 с.
5. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов/ Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. –10–у изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
6. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв. Навч. Посібник. Уз.ч. – Ч.1. Ферментація. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004.-240 с.
7. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – 2-е изд., перераб. и доп./ Плановский А.Н., Николаев П.И. – М.: Химия, 1972. – 630 с.
8. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
9. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник.–Л.:Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1981.–382 с., ил.
10. АТК 24.200.04-90. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.
11. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов/ М. Ф. Михалев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михалева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.
12. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на виброустойчивость валов механических перемешивающих устройств: Методические указания к применению числительной техники в курсе —Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств // В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г.Воронин. – К.: КПИ, 1990. – 39 с.

13. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на жесткость валов механических перемешивающих устройств : Методические указания к применению вычислительной техники в курсе —Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств / В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г. Воронин . – К.: КПИ, 1989. – 60 с.

14. В. Г. Доброногов. Алгоритм расчета на прочность валов механических перемешивающих устройств: Методические указания к применению числительной техники в курсе —Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств / В. Г. Доброногов, О. Г. Зубрий, Л. Г. Воронин. – К.: КПИ, 1990. – 39 с.

15. РД 26-01-90-85 Механические перемешивающие устройства. Метод расчета

16. Дытнерский Ю.И.. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Ю.И. Дытнерский, 2–е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.