

Зміст

Скорочення та умовні позначки	4
Вступ	5
1. Аналітичний огляд	6
2. Ціль та задачі дослідження	22
3. Дослідження процесу змішування сипучих матеріалів в змішувачах з горизонтальним корпусом.	23
4. Розробка типорозмірного ряду змішувачів з горизонтальним корпусом	33
5. Визначення моменту опору і споживаної потужності	43
6. Техніка безпеки при роботі в лабораторії	61
7. Висновки та рекомендації	66
Перелік джерел посилання	67
Додатки	68

Скорочення та умовні позначки

x_i – концентрація головного компонента в конкретній пробі, %;

n – число проб у експерименті;

$G < G_{кр}$, групові дисперсії по осі однорідні;

i - кількість проб в кожній групі ($i = 4$);

x_{ikJ} – концентрація головного компонента в конкретній пробі групи, %;

\bar{x}_{kJ} - середня концентрація головного компонента в груп, %і;

ρ_n – насипна маса сипучого матеріалу, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння $9,8 \frac{M}{c^2}$;

h – глибина шнека в сипучому матеріалі, м;

μ - коефіцієнт бокового тиску;

φ – кут внутрішнього тертя, град;

$D_{ш}$ – зовнішній діаметр шнеків, м;

Θ - кут підйому витка шнека на зовнішньому діаметрі, градус;

φ_{θ} – кут зовнішнього тертя сипучого матеріалу об поверхню витка шнека, град;

$\omega_{ш}$ – кутова швидкість обертання шнека, $\left[\frac{рад}{c} \right]$;

$m_{загр}$ – маса матеріалу, завантаженого в змішувач, кг;

ω - кутова швидкість обертання ротора, рад/с.

Вступ

Темою дипломної роботи є вивчення змішувачів для сипких матеріалів з горизонтальною віссю обертання. У техніці використовуються різноманітні конструкції і принципи дії змішувачів: механічні, пневматичні, вібраційні та ін., проте широке поширення отримали не усі з них. Перевагу мають надійні прості конструкції.

Метою цієї роботи є узагальнення досвіду, отриманого в процесі створення змішувачів і вивчення їх роботи на хімічних та інших підприємствах.

Ринкові стосунки вимагають від підприємств підвищення технологічних та економічних показників. Саме тому в виробництві використовується серійна розробка змішувачів. В роботі пропонується використовувати широкий розмірний ряд змішувачів з горизонтальним корпусом. Ряд повинен включати в себе різноманітні конструкції періодичної і безперервної дії.

Україна повинна використовувати набуті знання для випуску вітчизняного устаткування. Це збільшить кількість робочих місць, а також буде мати значний соціальний ефект.

Найбільш широке застосування мають машини і апарати, які показали при тривалій експлуатації високу надійність і економічність. На кафедрі МОПП є моделі таких конструкцій, які використовуються для досліджень. Змішувачі сипучих матеріалів є широко поширеними машинами в хімічній та інших галузях промисловості. Метою цієї роботи є вивчення конструкцій змішувачів, області їх застосування, а також теорія змішання. Наведено огляд лабораторного обладнання знаходиться на кафедрі «Машинознавство та обладнання промислових підприємств».

1 Аналітичний огляд

Змішання, спосіб отримання однорідних сумішей твердих сипучих матеріалів. Зворотний процес-сегрегація, що приводить до поділу сумішей на окремі фракції або компоненти. Змішання може здійснюватися одночасно з подрібненням, нагріванням або охолодженням, зволоженням, хімічним перетворенням.

Однорідність сумішей оцінюють різними критеріями, серед яких частіше ін. Застосовують коефіцієнт неоднорідності V_{cm} , що характеризує середнє квадратичне відхилення в пробах суміші концентрації компонента, за яким проводиться аналіз. Для сумішей відмінної якості $V_{cm} = 1-2,5\%$, для сумішей низької якості $V_{cm} > 6\%$. Змішання здійснюють в апаратах, званих змішувачами, що працюють в періодичному або безперервному режимі.

Змішувачі сипучих і пастоподібних матеріалів є спеціалізацією. Сєверодонецького НДІХІММАШ, тому з багатьма питаннями з даної тематики можна ознайомитися, вивчивши публікації його співробітників [1], [3].

Змішувачі призначені для рівномірного розподілу компонентів. Для сипучих компонентів найкращим буде регулярне розподіл. При регулярному розподілі частки повинні бути розташовані впорядковано, В принципі, такий розподіл є можливим, але здійснити його практично, для великого числа частинок, важко.

Відомий також стохастичний розподіл, при якому окремі частинки компонентів розташовані випадковим чином. Розподіл близьке до стохастичному виходить, якщо компоненти змішати вручну. Цей спосіб відомий кожному з нас. Можливо, ви спостерігали, як перемішуються будівельні суміші: пісок з цементом, пісок зі щебнем і цементом, ці ж компоненти з водою і.т.д. Візуально, суміш стає однорідною, але якщо її розглянути під мікроскопом, то буде видно, що частинки розташовані

безладно. При такому розташуванні теоретично може бути досягнута найкраща можлива для випадкового процесу однорідність суміші (рандомальний розподіл компонентів). Близьке до такого розподілу стан може бути отримано в інтенсивних змішувачах. Практично досягти ідеального розподілу компонентів не вдається навіть при дуже довгому змішуванні, оскільки існує процес, який протидіє випадковому розподілу часток - сегрегація. Сегрегація - це поділ компонентів. Вона може відбуватися з різних причин. Схильність до сегрегації в більшій чи меншій мірі характерна для будь-якої суміші.

Схильність сипучих сумішей до сегрегації досліджена в роботі Вільямса і Хана "Змішання і розшарування полідисперсних матеріалів". У ній вказується, що основними причинами сегрегації можуть бути відмінності в розмірах, щільності, формі, шорсткості частинок і.т.д.

У змішувачі одночасно протікають два процеси: змішання і сегрегація. При тривалому перемішуванні між ними встановлюється рівновага. У будь-якому випадку, отримана однорідність суміші завжди буде гірше, ніж при рандомальному розподілі.

Одним з методів боротьби з сегрегацією є застосування рідкого сполучного. Змішання пов'язаних компонентів не супроводжується сегрегацією і досягається однорідність суміші близька до рандомальної.

Іншим технологічним прийомом для зменшення сегрегації є гранулювання суміші. Цей метод застосовується, наприклад, в процесі приготування скляної шихти. В цьому випадку гранулювання проводиться методом пресування на валкових пресах (компактування). У виробництві пральних порошків гранули одержують шляхом обкатування в барабанних або тарілчастих грануляторах, а так само в лопатевих змішувачах.

Застосовуються різні методи вивчення розподілу компонентів у змішувачах. Найбільш простий з них - візуальне спостереження. Він полягає в тому, що сипучі компоненти, що відрізняються за зовнішнім виглядом, наприклад, за кольором розміром чи формою частинок, завантажуються в змішувач по черзі. Спочатку, між ними існує видима межа, потім, після

включення змішувача, компоненти розподіляються в корпусі і суміш візуально стає однорідною. Якщо суміш схильна до сегрегації, то при тривалому змішуванні відбувається поділ компонентів. У деяких випадках це можна помітити, розглядаючи поверхню матеріалу.

Численну оцінку розподілу компонентів дозволяє здійснити застосування методів математичної статистики.

1.1 Серійні змішувачі

Змішувачі сипучих і пастоподібних матеріалів у хімічній промисловості застосовуються досить часто, хоча, слід зазначити, що вони за поширеністю все таки поступаються апаратам для рідин та апаратів для рідких і газоподібних середовищ.

До найбільш поширених конструкцій змішувачів відносяться:

- Барабанні;
- Стрічкові;
- Плужні;
- Планетарно-шнекові;
- Відцентрові;
- з Z-подібними лопатями;
- з Z-подібними лопатями і розвантажувальним шнеком.

Вибір конструкції залежить від процесу, в яких вони застосовуються, а також властивостей сипких матеріалів, а саме:

- фізико-механічні характеристики матеріалів (сипучі незв'язні, сипучі зв'язкові, пастоподібні з низькою в'язкістю, пастоподібні з високою в'язкістю.);

- великотоннажне виробництво або окремі невеликі партії;
- безперервний або періодичний процес;
- обсяг однієї партії матеріалу;
- необхідна вивантаження всього замісу одночасно, або частинами, або безперервним потоком;
- припустимо подрібнення продукту в процесі змішування;

- налипає чи продукт на корпус і лопаті змішувача;
- припустимо проведення замісу, якщо в корпусі є залишки від попереднього замісу, необхідно очистити корпусу змішувача після кожного замісу чи ні;
- потрібно нагрів або охолодження в процесі змішування чи ні;
- відбуваються одночасно зі змішанням інші процеси, наприклад, хімічна реакція, сушка, гранулювання, подрібнення агрегатів і т.д.

Приготування однорідних за складом композицій з твердих матеріалів, що знаходяться в зернистому або порошкоподібному станах, їх змішування є широко використовуваним процесом в багатьох галузях промисловості. Апарати, в яких відбувається процес змішування, називаються змішувачі. За принципом дії змішувачі можна поділити на апарати періодичної і безперервної дії.

Змішувачі періодичної дії в свою чергу діляться на:

1. змішувачі з обмеженим впровадженням маси m в масу g за допомогою різних обертових органів - барабанні, стрічкові, черв'ячно- лопатеві;
2. змішувачі з киплячим» шаром матеріалу - механічні, пневматичні, вібраційні.

1.2 Барабанні змішувачі з обертотвим корпусом

Сумішеві барабани виконуються з корпусом різної форми (циліндричної, граневої, біциліндричної, біконічної), що обертається в цапфах на горизонтальному валу. Найбільш економічним є біконічний змішувач (рисунок 1.1). Крім того, якість сумішей, одержуваних в ньому трохи вище. Сумішеві барабани циліндричної форми можуть наводитися в обертання за допомогою опорних роликів. В цьому випадку всередині циліндра розміщуються спіральні ребра і лопатки для кращого перемішування сумішей.

До переваг барабанних змішувачів можна віднести:

- простоту конструкції;
- можливість повної герметизації;
- можливість обробки абразивних матеріалів;

збереження форми зерна.

До недоліків:

тривалий цикл змішування (1-3 години), внаслідок тихохідності;

більшу метало - та енергоємність;

складність очищення внутрішніх поверхонь;

низька якість суміші.

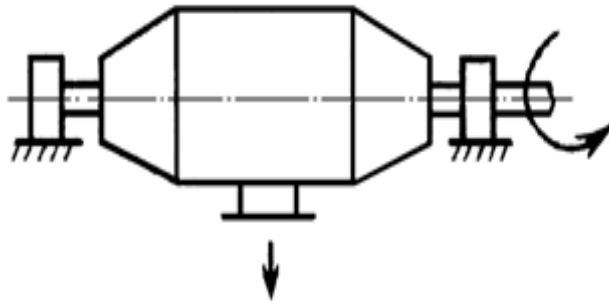


Рисунок 1.1 — Біконічний змішувач

1.3 Змішувач з Z-подібними лопатями

Змішувач з Z-подібними лопатями (рисунок 1.2) складається з корпусу 1 з двома напівциліндричними днищами, в якому назустріч один одному обертаються два горизонтальних вала 2 з лопатями, що перемішують матеріал.

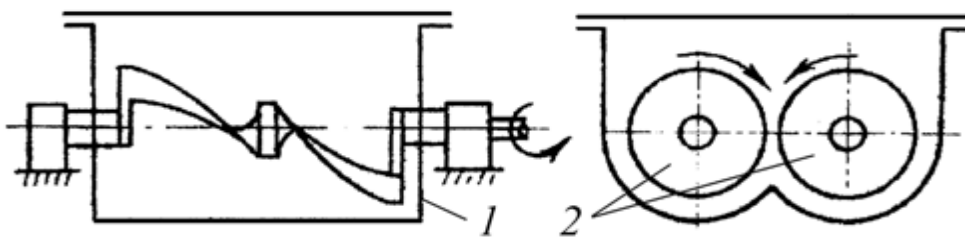


Рисунок 1.2 – Змішувач з Z-подібними лопатями

1.4 Лопатевий (шнековий) змішувач

У лопатевих (шнекових) змішувачах робочими органами є вали-шнеки з т-образними гвинтовими лопатями (рисунок 1.3). Залежно від властивостей змішуються матеріалів і технологічних умов процесу змішувачі комплектуються гвинтовими лопатями різної форми.

Змішувачі можуть працювати при атмосферному тиску, під вакуумом до 150 мм ртутного стовпа, під надмірному тиску. Корпус має сорочку для нагріву або охолодження змішуємо маси.

До загальних недоліків черв'ячне-лопатевого змішувачів відносять: значна витрата енергії на одиницю об'єму готової суміші, великий знос лопатей, порівняно низька якість змішання, велика кількість сальникових ущільнень, труднощі чистки, порівняно малий корисний об'єм.

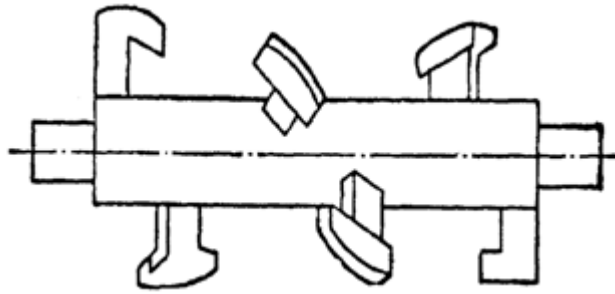


Рисунок. 1.3 - Лопатевий вал з Т-подібними лопатями

З цих причин їх не можна рекомендувати для змішування сухих сипучих матеріалів. Більш ефективні змішувачі даного типу при переробці зволожених або пастоподібних матеріалів.

1.5 Стрічковий змішувач

Стрічковий змішувач, змішувальний елемент якого виконаний у вигляді стрічки самого різного профілю (рисунок 1.4) встановлений в коритоподібними корпусі з плоскими торцевими стінками. По осі напівциліндра корпусу через бічні стінки проходить приводний вал, на якому змонтовані по гвинтовій лінії стрижні з укріпленими на їх вершинах плоскими стрічками, вигнутими по гвинтових лініях з правим і лівим заходами. Корпус закритий зверху плоскою кришкою.



Рисунок. 1.4 - Ротор стрічкового змішувача

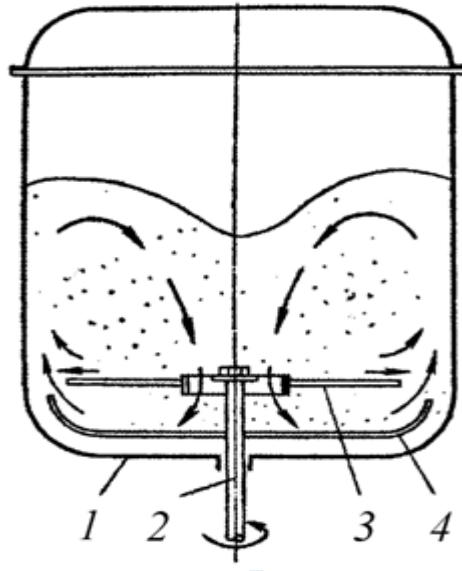
Якщо ємність стрічкового змішувача велика, то змішувальний елемент виконують з 4-х стрічок. При цьому дві зовнішні стрічки переміщують матеріал до центру змішувача, а дві внутрішні повертають його до торців корпусу. Число обертів **ротора** приймають з таким розрахунком, щоб окружна швидкість зовнішньої стрічки дорівнювала 1,2 м/сек. Так як здатність гвинтових стрічок транспортувати матеріал в осьовому напрямку вкрай обмежена, то задовільну якість змішування досягається за тривалий час (1 ... 3 години).

Більшість типів стрічкових змішувачів забезпечені сорочками для обігріву та охолодження змішуємо маси і штуцерами для вакуумного відсмоктування, що дозволяє поєднувати процеси змішування і підсушування зволожених матеріалів. Загальний недолік стрічкових змішувачів - тривалий цикл змішування, який доходить до декількох годин, при порівняно низьку якість готової суміші.

1.6 Змішувач з дисковим ротором

У швидкісних змішувачах даного типу перехід матеріалу в «киплячий» стан здійснюється швидко обертаючимся дисковим ротором (рисунок 1.5).

У циліндричному корпусі 1 змонтований ротор, що складається з верхнього 3 і нижнього 4 дисків, жорстко насаджених на верхній кінець консольного валу 2, що проходить через центр опуклого днища. Нижній диск суцільний з загнутими вгору краями, виконаними за формою днища. Верхній диск 3 плоский, з прорізами біля центру, через які матеріал і надходить на нижній диск 4.



1 - корпус, 2 - вал, 3 - верхній диск, 4 - нижній диск

Рисунок 1.5 - Змішувач з дисковим ротором

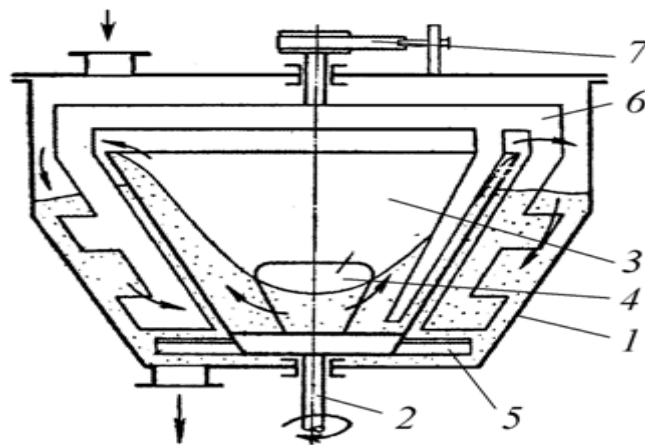
При обертанні ротора з окружною швидкістю 5 ... 8 м/сек (по зовнішньому діаметру дисків), в змішувачі створюється інтенсивна циркуляція матеріалів що змішуються, які при цьому утворюють «киплячий» шар. Час змішування в апаратах даного типу 2 ... 3 хв. при високій однорідності отримуваної суміші.

1.7 Циркуляційні змішувачі відцентрового типу

Одним з перспективних методів переробки сипучих матеріалів заснований на використанні їх тонкошарового руху і розрідженого стану. У цьому випадку вдається значно збільшити поверхню контакту між змішуються компонентами і істотно зменшити енерговитрати. Крім того, для змішувачів цього типу характерна інтенсивна циркуляція сипучого матеріалу, що дозволяє поліпшити якість суміші.

1.8 Змішувач відцентрового типу з обертовим конусом

Змішувач відцентрового типу з обертовим конусом працює наступним чином (рисунок 1.6). У корпусі 1 на валу 2 закріплений усічений конус 3 з двома симетрично розташованими вікнами 4. При обертанні конуса 3 частки матеріалу під дією відцентрової сили рухаються по його внутрішній поверхні вгору і потрапляють в кільцевий простір між конусом і корпусом 1. Нові порції матеріалу надходять всередину конуса з кільцевого простору через вікна 4. Лопатева мішалка 5, обертаючись разом з конусом, збільшує рухливість матеріалу, що знаходиться в нижній частині корпусу 1, сприяючи його проходу через вікна 4 всередину конуса. Для сипучих матеріалів в корпусі встановлюють раму 6 що вільно обертається з лопатями і скребком, що входять в середину конуса. Рама 6, під впливом сил, що діють з боку рухомого матеріалу на скребок і лопаті, починає обертатися. Швидкість цього обертання регулюють за допомогою стрічкового гальма 7. Рама 6, завдяки меншій швидкості обертання, в порівнянні з конусом, створює додаткову турбулентність в рухомому матеріалі, що сприяє його кращому змішуванню.



1 - корпус, 2 - вал, 3 - конус, 4 - вікна конуса, 5 - лопатева мішалка, 6 - обертається рама, 7 - стрічковий гальмо.

Рисунок. 1.6 - Відцентрові змішувач з обертовим конусом

1.9 Двохроторні лопатеві змішувачі

Найпростіший варіант двухроторного змішувача, широко застосовуються в промисловості переробки пластмас, - це змішувачі з Z-подібними лопатями. Незважаючи на велику різноманітність конструкцій, у всіх змішувачах такого типу можна виділити основні конструктивні елементи (рис. 1.7). У середині перекидної робочої камери 1 розташовуються два Z-об - різних ротора 2, що обертаються назустріч один одному з різними частотами обертання ($n = 180-200$ об / хв). Робоча камера забезпечена кришкою 8 з швидкодіючим затвором 7. Ротори приводяться в обертання електродвигуном 4, з'єднанням ланцюговою передачею 6 через муфту 5 з системою приводних шестерень, установлених у вбудованому редукторі 11. Камера змішувача має сорочку 3, через яку пропускається теплоносій (пар або суміш пара з конденсатом). У кришці камери змішувача є штуцер 9 для подачі рідких компонентів і відведення 10 для видалення вакуумування газоподібних летючих з камери.

Компоненти суміші завантажуються при відкритій кришці або через завантажувальний штуцер і потрапляють безпосередньо на Z-об - різні ротори, що обертаються в камері, утвореної коритом, закритим з торців бічними стінками. У стінках встановлені сальникові ущільнення, що перешкоджають витоку змішувальної маси через зазори між валом і стінками.

Коли змішання закінчено, обертання роторів припиняється, камера змішувача повертається за допомогою механізму опрокидування 12 на кут 110° , кришка камери відкривається і при реверсі напрямку обертання роторів суміш вивантажується.

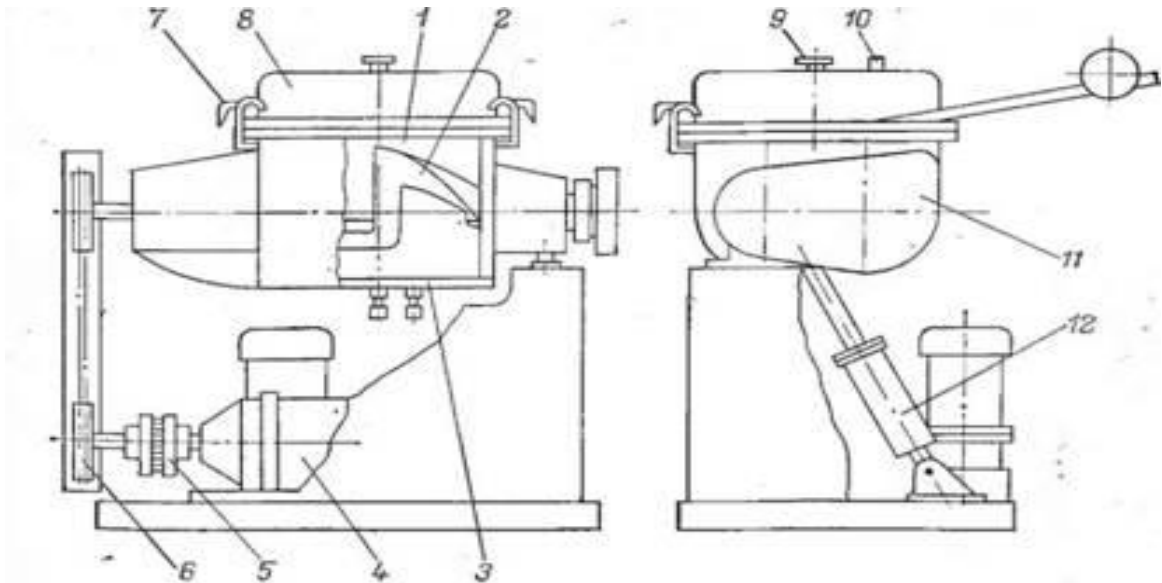


Рисунок 1.7 – Змішувач с Z-подібними роторами

Змішувачі з Z-образними роторами можна класифікувати за такими ознаками:

За технологічним призначенням:

- 1) змішання сипких мас один з одним і з рідинами;
- 2) розчинення твердих і густих мас в рідині;
- 3) здійснення суспензій твердих мас в рідинах або емульсій рідин в густих масах;
- 4) подрібнення нежорстких мас;
- 5) змішання порошкоподібних матеріалів з барвниками;

За конструктивними особливостями:

- 1) ємність камери змішувача (5, 25, 100, 200, 400, 800, 2000 і 4000 л);
- 2) максимальна потужність приводу (змішувач малої потужності - до 25 кВт, середньої потужності - до 60 кВт, великий потужності - до 150 кВт);
- 3) спосіб вивантаження суміші (змішувачі з перекидної камерою і з вивантаженням суміші через отвір в дні камери);
- 4) форма лопатей (гладкі Z-образні, захищені накладками від стирання; зубчасті; з чотирьох - крильчасті валами);

застосовують для перемішування невеликих кількостей матеріалу призначені для перемішування з метою дегазації і розчинення; багато крильчаті вали (рис. 1.8, ж) застосовують для змішування і зволоження сипучих матеріалів. Інші типи роторів, показаних на рис. 1.8 застосовують для пастоподібних матеріалів.

1.10 Змішувачі сипучих матеріалів ТОВ «Технолог» м. Харків

Устаткування для змішування виготовлено з нержавіючої сталі (всі деталі контактують з продуктом) і ідеально підходить для застосування у фармацевтичній промисловості [9]. Компанія випускає горизонтальні змішувачі з шнеком для вигризки (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Змішувач шнековий ТОВ «Технолог», Харків

Рівномірність і однорідність змішування досягається за допомогою спеціально розробленої конструкції чотирьохполосового гелікоїдного ротора. При необхідності внесення в процесі перемішування рідких компонентів -

існує можливість до оснастити обладнання системою впорскування рідких і маслоподібних речовин.

В якості додаткових опцій можна виділити:

- швидкохідний турбіна (міксер) - для розбивання грудок, які можуть утворитися через специфіку конкретного продукту (схильності до комків);
- частотний перетворювач - для плавного регулювання частоти обертання шнека.

Цикл обертання шнека і загальний цикл роботи змішувача задається на програматору. Включення і вимикання змішувача не викликає збій налаштувань, всі дані зберігаються. Наявність програми керівника дозволяє звести до мінімуму вплив людського фактора на технологічний процес і якість одержуваного продукту.

Основними перевагами змішувачів є:

- Однорідність змішаного продукту - вище 95-98%;
- Можливість до оснащення системою впорскування рідких і маслоподібних компонентів (впорскування здійснюється рівномірно через форсунки, методом затуманення);
- Можливість установки турбіни (міксера) для перешкоди утворення грудок);
- Малий час змішування;
- Простота в експлуатації, надійність конструкції;
- Зручна і швидке очищення;
- Низький шум при роботі;
- Герметична камера повинна бути змішування;
- Ні "мертвих" зон, мінімальні зазори між шнеком і ємністю;
- Наявність сертифікату.

При необхідної дозованої (порціонної) вивантаження продукту, змішувач оснащується шнековим пристроєм. Шнекове вивантаження

дозволяє швидко і рівномірно вивантажити продукт із змішувача в мішок або ємність (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Типи змішувачів ТОВ «Технолог» м. Харків

	Тип змішувача			
	СПП-210	СПП-440	СПП-700	СПП-1040
Ємність баку, дм ³	210	440	700	1040
Загрузка, дм ³ /кг (max)	120/105	240/220	400/350	600/520
Продуктивність, кг/год(max)	600	1100	1500	2000
Час змішування, хв.	2-10	2-10	4-12	5-15
Форма робочого органу	стрічкові, спіральні лопаті (типу шнека)			
Наявність автореверса				
Частота обертання мішалки може коригуватися Замовником				
Встановлена потужність, кВт	4	5,5	7,5	11
Габаритні розміри	1,65*0,9*1,7	1,95*1,05*1,8	2,15*1,2*1,8	2,75*1,2*2,1

2 Ціль та задачі дослідження

Ринкові відносини вимагають від підприємств орієнтуватись на потреби клієнтів, щоб випуск устаткування мав економічний ефект. Слід мати потребу на продукцію, щоб мати ринок збуту, а також розробити типорозмірний ряд, який буде мати попит у замовників. При розробці номенклатури потрібно застосовувати стандартизацію і принципи уніфікації, оцінити собівартість виробу, а також очікуваний прибуток.

Виробнику потрібно прагнути до серійного випуску продукції, оскільки відомо, що одиничне виробництво не має економічної вигоди, оскільки на виробництво одного універсального апарату потрібно використати більше коштів.

В даній дипломній роботі використовується розробка ескізного проекту змішувача з горизонтальним ротором об'ємом $2,5 \text{ м}^3$. Пропонується система позначень відповідно до номінальним об'ємом корпусу, в даному випадку $2,5 \text{ м}^3$. Під час роботи ми прагнули до створення конкурентоспроможного устаткування, а також зниження енерговитрат на змішання, зниження ваги апарату, збільшення його надійності і зручності в роботі з ним. Для порівняння використані дані для аналогічних машин з каталогів і Інтернет ресурсу.

Після розробки апарату необхідно встановити кількість затраченого матеріалу, вартість виготовлення, а також інші витрати виробника.

У даній роботі запропоновані емпіричні методи розрахунку технічних параметрів змішувачів, виходячи з досвіду роботи серійних виробників. Розрахунки на міцність проведені по загальновідомим методикам, які вивчалися в курсах опору матеріалів, розрахунку та конструювання.

3 Дослідження процесу змішування сипучих матеріалів в змішувачах з горизонтальним корпусом

Для вивчення детального процесу змішування компонентів в змішувачі з горизонтальним корпусом в СНУ ім. Даля були проведені випробування змішувача.

Метою роботи було визначення економічної вигоди у розробці уніфікованого типорозмірного ряду замість інших видів змішувачів, які виробляються зараз. В експерименті було випробувано кілька варіантів роторів, які мають різну швидкість обертання. Коефіцієнт заповнення змішуваним матеріалом дорівнює $\eta = 0,6$.

Під час експериментів ми використовували в роботі сухий пісок и металеву тирсу. Тирса була завантажена близько стінок змішувача на верхній шар піску. У процесі змішування матеріалів відбулось розподілення тирси у піску. Вивчення детального процесу змішування проводилось через взяття декількох проб через певний час роботи змішувача.

Під час досліду було приготовлено декілька варіантів сумішей. У роботі будуть наведені поточні результати приготування сумішей, які складаються на 95% з піску, що є основним компонентом для досліду, а інші 5% складає металева тирса. Під час проби було взято близько 10 грамів суміші.

Для розділення матеріалів окремо, було взято магніт. Маса робочих компонентів була виміряна на спеціальному вологомірі.

Точність вимірювання і отриманих результатів було оцінено за допомогою конкретних вибірок. Це є такі вибірки, у яких вміст металевої тирси є однаковим у відповідних місцях змішувача. Похибка методу викликала невелику різницю в результатах з визначення концентрації ключового матеріалу при змішуванні.

В результаті точність інформації змісту ключового компоненту в пробах оцінюємо $V_a \approx 2\%$. Схема відбору проб вказана рис.3.1.

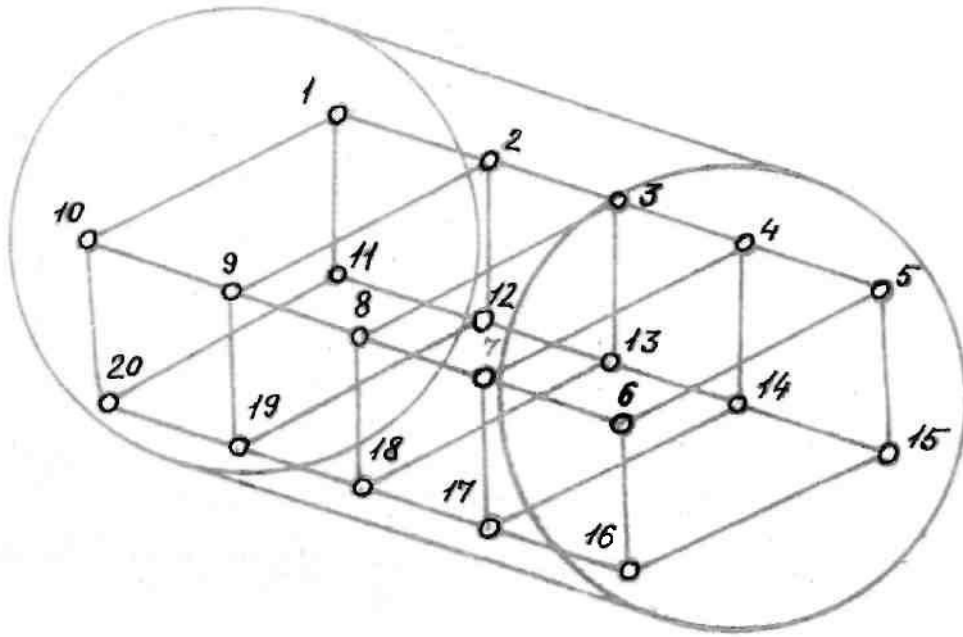


Рисунок 3.1- Схема відбору проб з змішувача

Найліпший можливий результат випадкового розподілу V_R оцінювався за допомогою формули Штанге [4].

$$S_R^2, \text{ потім } V_R = \frac{100 \cdot \sqrt{S_R^2}}{x}, \% \quad (3.1)$$

Для такого гранулометричного складу у пробах $V_R \approx 3\%$.

Крім обчислення значення неоднорідності вироблялося обчислення середніх значень концентрацій по групам: 10 верхніх і 10 нижніх проб (1-10; 11-20), правих і лівих (1-5, 11-15 і 6-10, 16-20) і вироблялося порівняння середніх концентрацій за допомогою критерію Стьюдента.

Далі, вироблялося порівняння п'яти групових середніх чотирьох проб відібраних по осі корпусу (1,11,10,20); (2,12,9,19); (3,13,8,18), (4,14,7,17); (5,15,6,16).

Завдяки такій обробці експериментальних даних, де використовуються методи математичної статистики, можна визначити швидкість розподіленості матеріалів у різних напрямках змішувача.

3.1 Аналіз обробки даних вибірки під час дослідження

На прикладі змішування піску і металевої тирси у змішувачі с горизонтальним корпусом під час 1 хвилини часу, можна розглянути обробку отриманих результатів.

Відповідно до нумерації проб були визначені наступні значення ваги та концентрації металевої тирси в пробах вибірки.

№№ проб					Концентрація ключового компонента в відповідних пробах, $x_i\%$				
1	2	3	4	5	3,778	4,022	4,894	4,343	4,233
10	9	8	7	6	4,118	3,928	4,158	4,454	3,886
11	12	13	14	15	3,922	4,017	4,399	4,405	4,716
20	19	18	17	16	3,996	4,305	4,367	4,358	4,535

Розраховуємо середню концентрацію металевої тирси у всіх пробах вибірки:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 4,242 \% \quad (3.2)$$

де: x_i – концентрація ключового компонента в конкретній пробі, %;

n – число проб у вибірковій групі.

$$S^2(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 1,600 \quad (3.3)$$

Виправлена вибіркова різниця

$$D(x) = \frac{S^2(x)}{n-1} = \frac{1,6}{19} = 0,0842 \quad (3.4)$$

Коефіцієнт неоднорідності матеріалів у суміші

$$Vc(x) = \frac{100 \cdot \sqrt{D(x)}}{\bar{x}} = \frac{100 \cdot 0,29}{4,242} = 6,84 \%. \quad (3.5)$$

Потрібно провести порівняння кількох шарів матеріалу, який був взятий зверху та знизу змішувача. Число проб в групах $n_b = n_n = 10$.

$$\bar{x}_\epsilon = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{\epsilon i}}{10} = 4,181 \%; \quad (3.6)$$

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{ni}}{10} = 4,302 \%. \quad (3.7)$$

Визначимо коректовані вибіркві дисперсії з верхнього та нижнього шару:

$$D_\epsilon = \frac{\sum_{i=1}^{n_\epsilon} (x_{\epsilon i} - \bar{x}_\epsilon)^2}{n_\epsilon - 1} = 0,096 \quad ; \quad (3.8)$$

$$D_n = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} (x_{ni} - \bar{x}_n)^2}{n_n - 1} = 0,072 \quad ; \quad (3.9)$$

де: n_ϵ и n_n кількість проб у верхній і нижній вибірках.

Для правильного зрівняння \bar{x}_ϵ і \bar{x}_n необхідно провести аналіз однорідності дисперсій. Потрібно підрахувати відношення верхньої дисперсії до нижньої:

$$F = \frac{D_{\text{большая}}}{D_{\text{меньшая}}} = \frac{0,096}{0,072} = 1,331. \quad (3.10)$$

Критичне значення критерію $F_{кр}$ визначаємо за допомогою додатку [1, додаток 7]. При рівні значності $\alpha=0,01$; число вільних ступенів більшої дисперсії $k_1=n_\epsilon-1=9$, меншою $k_2=n_n-1=9$. $F_{кр}=5,35$.

$F < F_{кр}$, отже, значення дисперсності однорідні.

При рівні значності $\alpha=0,01$ перевірити нульову гіпотезу $H_0: \bar{x}_\epsilon = \bar{x}_n$.

$$Z = \frac{\bar{x}_e - \bar{x}_n}{\sqrt{\frac{D_e}{n_e} - \frac{D_n}{n_n}}} = \frac{4,181 - 4,302}{\sqrt{\frac{0,096}{10} - \frac{0,072}{10}}} = -0,932 \quad (3.11)$$

Конкуруюча гіпотеза $H_1: \bar{x}_e \neq \bar{x}_n$, область змішування компонентів двостороння.

Знайдемо праву точку критичного значення, для чого потрібно розрахувати функцію Лапласа

$$\Phi(Z_{кр}) = \frac{1 - \alpha}{2} = \frac{1 - 0,01}{2} = 0,495 \quad (3.12)$$

По таблиці функції Лапласа визначаємо $Z_{кр} = 2,58$.

$|Z| < Z_{кр}$ - вибіркові середні значення різняться не дуже, $\bar{x}_e = \bar{x}_n$.

Потрібно порівняти вибіркові середні з правої та лівої частини корпусу, аналогічно вищенаведеним для верхнього і нижнього шарів.

\bar{x}_n и \bar{x}_l [5, с.297-303]. Число проб в групах $n_n = n_l = 10$.

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{ni}}{10} = 4,273 \% \quad ; \quad (3.13)$$

$$\bar{x}_l = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{li}}{10} = 4,211 \% \quad (3.14)$$

Визначимо виправлені вибіркові правої і лівої груп

$$D_n = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} (x_{ni} - \bar{x}_n)^2}{n_n - 1} = 0,112 \quad ; \quad (3.15)$$

$$D_l = \frac{\sum_{i=1}^{n_l} (x_{li} - \bar{x}_l)^2}{n_l - 1} = 0,046 \quad (3.16)$$

$$Z = \frac{\bar{x}_n - \bar{x}_l}{\sqrt{\frac{D_n}{n_n} - \frac{D_l}{n_l}}} = \frac{4,273 - 4,211}{\sqrt{\frac{0,112}{10} - \frac{0,046}{10}}} = 0,496 \quad (3.17)$$

$$Z_{кр} = 2,58$$

$|Z| < Z_{кр}$ - вибірккові середні різняться не дуже, $\bar{x}_n = \bar{x}_l$.

Виробляємо порівняння середніх для 5 груп, розташованих по осі корпусу способом дисперсійного аналізу.

Розбиваємо вибірку з 20 проб на 5 груп, по 4 проби із кожної розташованої по осі корпусу: 1J ($x_1, x_{11}, x_{10}, x_{20}$); 2J (x_2, x_{12}, x_9, x_{19}); 3J (x_3, x_{13}, x_8, x_{18}); 4J (x_4, x_{14}, x_7, x_{17}); 5J (x_5, x_{15}, x_6, x_{16}).

Підрахунок середніх значень концентрацій ключового компонента для груп.

$$\bar{x}_{kJ} = \frac{\sum_{i=1}^4 x_{ikJ}}{4}, \quad (3.18)$$

де номери груп $k \{1, 2, 3, 4, 5\}$.

$$\bar{x}_{1J} = 3,954; \quad \bar{x}_{2J} = 4,068; \quad \bar{x}_{3J} = 4,455; \quad \bar{x}_{4J} = 4,390; \quad \bar{x}_{5J} = 4,343.$$

Для правильного порівняння середніх значень цим методом потрібно, щоб виправлені групові дисперсії були більш однорідними.

$$D_{kJ} = \frac{\sum_{i=1}^4 (x_{ikJ} - \bar{x}_{kJ})^2}{4-1}. \quad (3.19)$$

$$D_{1J} = 0,0202; \quad D_{2J} = 0,0268; \quad D_{3J} = 0,0973; \quad D_{4J} = 0,0025; \quad D_{5J} = 0,1323;$$

Зробимо перевірку однорідності дисперсій:

$$G = \frac{D_{J\max}}{\sum_{k=1}^5 D_{kJ}} = \frac{0,1323}{0,2791} = 0,474. \quad (3.20)$$

Критичне значення критерію Кочрена для рівня значущості $\alpha=0,05$; $J=l=5$; $n_J-1=k=3$.

$$G_{кр} = 0,5981;$$

$G < G_{кр}$, групові дисперсії по осі однорідні.

Обчислюємо факторну дисперсію

$$D_{\phi} = \frac{i \cdot \sum_{k=1}^5 (\bar{x}_{kJ} - \bar{x})^2}{J-1} = 0,19, \quad (3.21)$$

де: i - кількість пробних зразків в кожній групі ($i = 4$).

Залишкова дисперсія

$$D_o = \frac{\sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^4 (x_{ikJ} - \bar{x}_{kJ})^2}{k \cdot (i-1)} = \frac{0,837}{5 \cdot 3} = 0,056; \quad (3.22)$$

де: x_{ikJ} – концентрація металевої тирси в конкретній пробі kJ -ої групи;

\bar{x}_{kJ} - середня концентрація металевої тирси в kJ -ої групі.

Підрахуємо отримані значення:

$$\Phi = \frac{D_{\phi}}{D_o} = \frac{0,19}{0,056} = 3,42 \quad (3.23)$$

Критичне значення критерію Фішера-Снедекора

$$\Phi_{кр} = 3,06$$

(при $\alpha=0,05$; число ступенів свободи $k_1=4$; а з $k_2=15$)

$\Phi > \Phi_{кр}$ - групові середні відрізняються значимо.

3.2 Результати отриманні під час розподілу компонентів

Під час роботи були взяті результати випробувань класичних конструкцій стрічкового і плугового змішувача, які виробляються серійно. Також були взяті данні нової конструкції, яка показала найбільшу ефективність роботи, що наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати дослідження змішувачів стрічкових, плужних і горизонтальних з вертикальним корпусом Ступінь неоднорідності. V_c , %

Умовн. позн. роб. органів *	Частота обертів, об/хв		Тривалість зміш., с	Ступінь неодн., V_c , %	Наявність сегрегації			Споживана потужність, Вт	
	рот.	шнек			Верх/низ	Ліво/право	По осі	ротор	Дисп. гол.
ЛД1 (9)	75	1500	30	60	-	-	+	220	190
	75	1500	60	35	-	-	+		
	75	1500	180	8	-	-	+		
	75	1500	600	7	-	-	+		
	75	1500	3600	8	-	-	+		
ПД2 (17)	225	1500	10	69	-	-	+	635	114
	225	1500	20	39	-	-	+		
	225	1500	60	7	-	-	+		
	225	1500	200	4	-	-	-		
	225	1500	1200	6	-	-	+		
Л7Д3 (29)	75	1500	10	18	-	-	-	170	108
	75	1500	20	7	-	-	-		
	75	1500	60	4	-	-	-		
	75	1500	200	5	-	-	-		
	75	1500	1200	6	-	-	-		

*ЛД1- стрічковий змішувач з вузькою конструкцією робочої стрічки ($\varnothing 250$; $L=450$; $t=225$; $b_{\text{наржн.}}=10\text{мм}$, $b_{\text{внутр.}}=20\text{мм}$; $t=225$), ($\varnothing 110$), розташованої в чашці біля корпусу;

ПД2 – плужний змішувач ($\varnothing 250$; $L=450$;) з головкою розташованої на боці корпусу в нижній частині і виступає в корпус ($\varnothing 110$);

Л7Д3 – горизонтальний змішувач з пружинними елементами на роторі ($\varnothing 250$; $L=450$) і вертикальним валом ($\varnothing 80$, $H=235$).

При цьому схеми роботи змішувачів були різними (рисунок 3.2). На підставі досліджень були побудовані графіки кінетичного процесу змішування (рисунок 3.3).

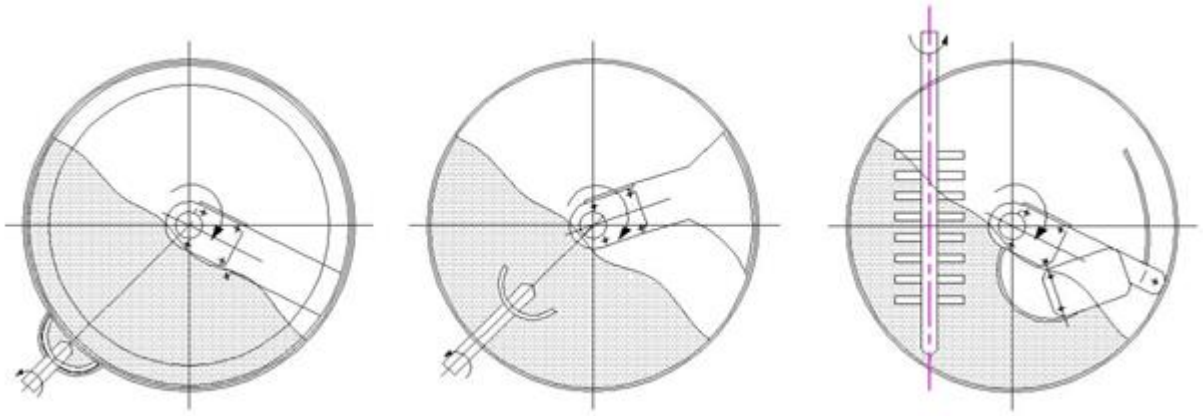


Рисунок 3.2- Схеми роботи змішувачів

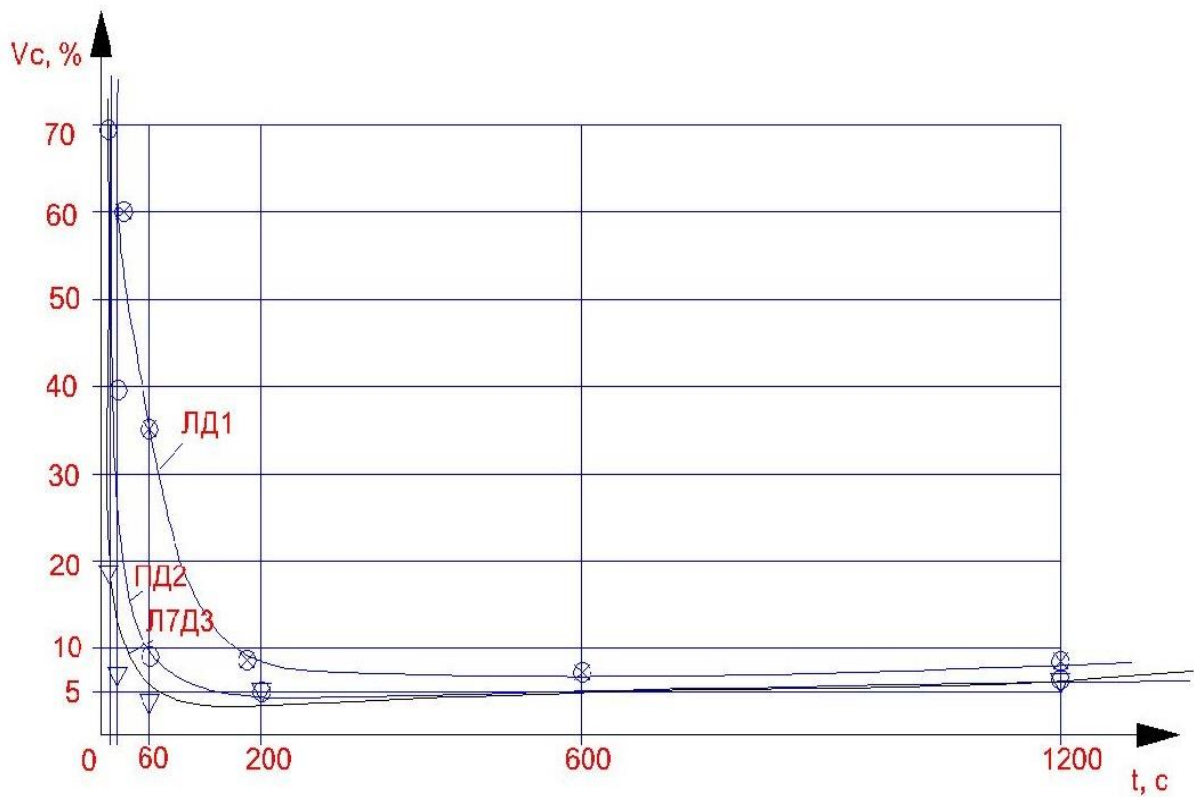


Рисунок 3.3- Кінетичний процес змішування в змішувачах:

⊗- стрічковому; ○ - плужному; ▽ - з пружинними елементами .

Під час аналізу отриманих даних стало видно, що найбільш повільний розподіл матеріалів в суміші у стрічковому змішувачі відбувався по осі корпусу. У корпусі стрічкового змішувача ефективний розподіл компонентів відбувається через пів години роботи. Плужний змішувач показує кращий

результат – 4 хвилини. У змішувачі з горизонтальним корпусом і диспергуруючою головкою цей процес відбувається за 1 хвилину часу.

Всі конструкції змішувачів показали приблизно однакові результати у змішуванні в площинах, які перпендикулярні осі вала. Стрічковий міксер показує малу швидкість переміщення суміші по корпусу. Плужний змішувач розкидає суміш при виході плуга з глибини на поверхню. У змішувачі з горизонтальним корпусом, компоненти розкидаються по поверхні і по осі корпусу, що прискорює процес розподілу компонентів. При цьому витрати енергії значно менші від попередніх варіантів. Зважаючи на це, можна сказати, що саме вертикальний змішувач показує найбільшу ефективність роботи при менших енергетичних витратах.

4 Розробка типового розмірного ряду змішувачів з горизонтальним корпусом

Потреба в змішувачах з горизонтальним корпусом встановлена на підставі досвіду виробництва стрічкових і плужних змішувачів радянськими заводами хімічного машинобудування. Номінальні обсяги змішувачів прийнято вибирати виходячи з рекомендованого ряду хімічного обладнання. Робочі об'єми призначаються для кожного технологічного процесу, виходячи з фізико-механічних характеристик матеріалів.

Для стрічкових і плужних змішувачів конструкції Сєвєродонецького НДІХІММАШ рекомендований коефіцієнт заповнення корпусу $\eta = 0,6$. Для розроблювального ряду приймаємо коефіцієнт заповнення 0,5. Це призведе до збільшення ефективності роботи змішувачів. Допускається застосування великих обсягів заповнення, але для цього необхідно провести експеримент на виробництві або хоча б на лабораторних зразках.

На підставі аналізу замовлень стрічкових змішувачів для сипучих матеріалів пропонується розробка наступного типу розмірного ряду змішувачів з горизонтальним корпусом (таблиця 4.1):

Пропонується конструкція змішувача з вертикальним корпусом (рисунок 4.1), призначеним для інтенсифікації процесу змішування, руйнування агрегатів.

Принципи проектування змішувачів

Вертикальний тиск в сипкому матеріалі

$$\sigma_z = \rho_n \cdot g \cdot h , \quad (4.1)$$

де: ρ_n – насипна маса сипкого матеріалу;

g – прискорення вільного падіння $9,8 \frac{M}{C^2}$;

h – глибина занурення в сипкий матеріал, м.

Таблиця 4.1- Типовий розмірний ряд змішувачів з горизонтальним корпусом

Номінальний обсяг корпусу змішувача $V_{\text{ж}}$, м ³	Внутрішній діаметр корпусу, мм	Зовнішній діаметр ротора, мм
0,5	800	790
0,75	800	790
1,0	800	790
1,6	1200	1180
2,4	1200	1180
3,2	1200	1180
5,0	1800	1770
7,5	1800	1770
10	1800	1770
16	2600	2560
24	2600	2560
32	2600	2560

Боковий тиск в сипкому матеріалі

$$\sigma_r = \mu \cdot \sigma_z, \quad (4.2)$$

де: μ - коефіцієнт бокового тиску.

$$\mu = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}, \quad (4.3)$$

де: φ – прискорення вільного падіння $9,81; \frac{M}{c^2}$

кут зовнішнього тертя, градус

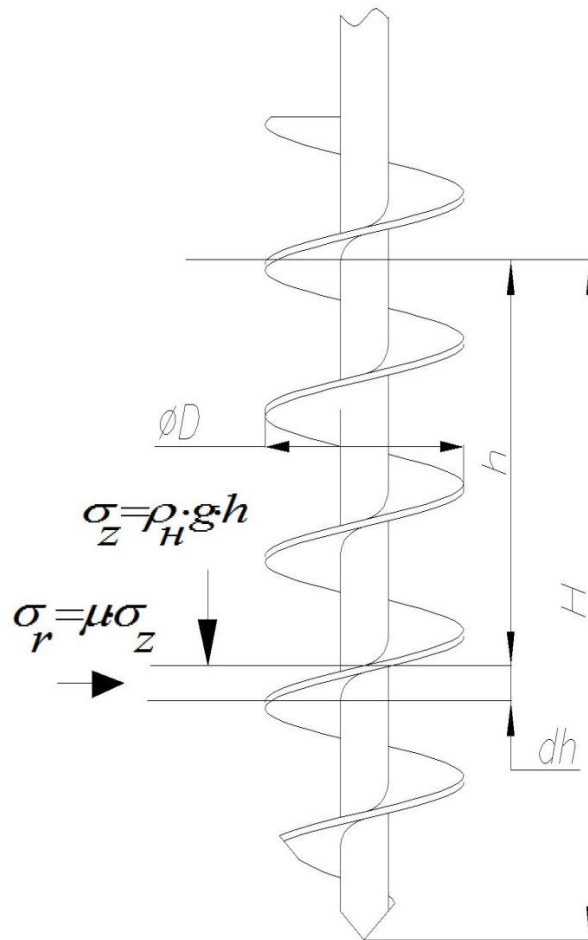


Рисунок 4.1- Схема сил, що діють на вертикальний шнек

4.1 Розрахунок параметрів шнека

Тиск з боку сипкого матеріалу на циліндричний елемент поверхні матеріалу, зрушеної шнеком

$$dp_{\delta} = \pi \cdot D_{ш} \cdot \rho_H \cdot g \cdot \mu \cdot h \cdot dh, \quad [\text{H}] \quad (4)$$

де: $D_{ш}$ – зовнішній діаметр витків шнека, м.

Момент опору обертанню, створюваний циліндричним елементом.

$$dM_{ш} = dp_{\delta} \cdot \sin(\Theta + \varphi_{\delta}) \cdot \frac{D_{ш}}{2}, \quad [\text{H} \cdot \text{м}] \quad (5)$$

де: Θ - кут підйому витка шнека на зовнішньому діаметрі, градус;

φ_{δ} – кут зовнішнього тертя сипкого матеріалу об поверхню витка шнека,

град;

Для інженерних розрахунків можна прийняти $\varphi_6 = \varphi$, де φ - кут внутрішнього тертя. Як правило, $\varphi_6 < \varphi$.

Момент опору обертанню шнека

$$M_{ш} = \int_0^H dM_{ш} = \int_0^H \frac{\pi}{2} \cdot D_{ш}^2 \cdot \rho_n \cdot g \cdot \mu \cdot \sin(\Theta + \varphi_6) \cdot h \cdot dh = \frac{\pi}{4} \cdot \rho_n \cdot g \cdot \mu \cdot \sin(\Theta + \varphi_6) \cdot D_{ш}^2 \cdot H^2, \quad [\text{Н} \cdot \text{м}] \quad (4.6)$$

Потужність, споживана шнеком,

$$N_{ш} = M_{ш} \cdot \omega_{ш}, \quad [\text{Вт}]. \quad (4.7)$$

де: $\omega_{ш}$ – кутова швидкість обертання шнека, $\left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$.

Осьова сила, що діє на шнек

$$P_{ос} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_n \cdot g \cdot \mu \cdot \cos(\Theta + \varphi_6) \cdot D_{ш} \cdot H^2 + \frac{\pi}{4} \cdot \rho_n \cdot g \cdot D_{ш}^2 \cdot H, \quad [\text{Н}]. \quad (4.8)$$

Перша складова - викликана дією сил тертя в сипкому матеріалі, друга - вага сипкого матеріалу, що знаходиться на шнеку.

Задаємося значеннями фізичних величин:

$$\rho_n = 1560 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \Theta = 14^\circ; \quad \varphi = \varphi_6 = 26^\circ; \quad \mu = 0,39; \quad \sin 40^\circ = 0,64;$$

$$\cos 40^\circ = 0,77;$$

При яких:

$$M_{ш} = 2999 \cdot D_{ш}^2 \cdot H_{ш}^2, \quad [\text{Н} \cdot \text{м}]$$

$$P_{ос} = 7180 \cdot D_{ш} \cdot H^2 + 12013 \cdot D_{ш}^2 \cdot H, \quad [\text{Н}]$$

Для змішувача з номінальним об'ємом корпусу 3,2 м³ приймаємо $D_{ш} = 0,200$ м,

$$\omega_{ш} = 30 \text{ рад/с}, \quad H = 1,0 \text{ м}, \quad \text{тоді } M_{ш} = 119 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad N_{ш} = 3766 \text{ Вт}, \quad P_{ос} = 1916 \text{ Н}.$$

4.2 Розрахунок параметрів ротора

Розрахунок параметрів ротора виробляємо за емпіричними формулами.

Сила опору, що діє на зовнішньому діаметрі ротора під час змішування (діє в напрямку перпендикулярному осі обертання ротора).

$$P = 0,3 \cdot m_{загр} \cdot g, \text{ [Н]}. \quad (4.9)$$

де: $m_{загр}$ – маса матеріалу, завантаженого в змішувач, кг.

Момент опору діючий на ротор в процесі змішування

$$M = P \cdot \frac{D}{2}, \text{ [Н·м]}. \quad (4.10)$$

Потужність приводу ротора споживана в процесі змішування

$$N = M \cdot \omega, \text{ [Вт]}. \quad (4.11)$$

де: ω - кутова швидкість обертання ротора, рад/с.

Кутова швидкість обертання ротора призначається з таких міркувань.

Для стрічкових змішувачів звичайна швидкість обертання становить 1-2 рад/с, для плужних 10-20 рад/с.

Якщо змішувач має вертикальний шнек, то швидкість обертання ротора рекомендується приймати такий, щоб лінійна швидкість ротора на зовнішньому діаметрі була приблизно в 2 рази нижче швидкості підйому витка шнека.

Швидкість підйому витка шнека

$$V_u = \frac{D_u}{2} \cdot \omega_u \cdot \text{tg}\Theta, \text{ [м/с]} \quad (4.12)$$

де: Θ - кут підйому витка шнека на зовнішньому діаметрі, градус.

Для змішувача 2,5 м³

Кутова швидкість обертання ротора з розрахунку, що лінійна швидкість ротора на його зовнішньому діаметрі буде в 2 рази нижче швидкості підйому шнека

$$\omega = \frac{V_u}{D}, \text{ [рад/с]} \quad (4.13)$$

де: D – зовнішній діаметр ротора, м.

Для змішувача з номінальним об'ємом $2,5 \text{ м}^3$: $D=1,2 \text{ м}$; $D_{\text{ш}}=0,20 \text{ м}$; $\omega_{\text{ш}}=30 \text{ рад/с}$; $\Theta=14^\circ$ ($\text{tg}\Theta=0,249$); $V_{\text{ш}}=0,94 \text{ м/с}$; $\omega=0,78 \text{ рад/с}$ ($n = 7,5 \text{ об/мин}$);

Для змішувача $2,5 \text{ м}^3$ сила опору P , момент опору M та потужність приводу ротора N :

$$P = 0,3 \cdot m_{\text{загр}} \cdot g = 0,3 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot \frac{V_{\text{ш}}}{2} = 0,3 \cdot 2000 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,2}{2} = 9418 \text{ Н.}$$

$$M = P \cdot \frac{D}{2} = 9418 \cdot \frac{1,2}{2} = 5650 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$N = M \cdot \omega = 5650 \cdot 0,78 = 4436 \text{ Вт.}$$

4.3 Розрахунок на міцність елементів змішувача

На вал ротора змішувача діє крутний момент (10) і одночасно вигинає момент.

Згинальний момент виникає під дією опору обертанню робочих органів. Оскільки робочі органи навантажуються неодноразово, а послідовно, слід враховувати це вибравши найбільш несприятливе поєднання навантажень. Можна так само врахувати можливість заклинювання ротора при попаданні всередину корпусу сторонніх предметів.

При виборі підшипників слід враховувати найбільш несприятливе поєднання статичних навантажень, а так же підрахувати їх довговічність при номінальному навантаженні.

Корпуси серійно випускаються змішувачів зазвичай не розраховуються на надлишковий тиск або вакуум. Проте, для випробування герметичності корпусу можна використовувати надмірний пневматичний тиск $0,01 \text{ Мпа}$.

Якщо змішувач має сорочку для обігріву або охолодження, то її слід розрахувати на надлишковий тиск $0,6 \text{ МПа}$ і провести гідравлічні випробування ($P_{\text{пр}}=0,8 \text{ МПа}$). Частина корпусу, яка знаходиться під сорочкою слід розрахувати на стійкість під дією зовнішнього надлишкового тиску.

Вал ротора змішувача працює в різних місцях або на кручення, або на кручення з вигином.

При розрахунку на кручення використовуємо формули:

$$\tau_{\max} \leq [\tau];$$

Для балок трубчастого перетину

$$\frac{M_{кр}}{W} = \frac{16 \cdot M_{кр}}{\pi \cdot D^3 \cdot (1 - a^4)} \leq [\tau]; \quad (4.14)$$

де: $a = \frac{d}{D}$ - коефіцієнт порожнини перетину.

d – внутрішній діаметр труби;

D – зовнішній діаметр труби;

З (14) слід

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{кр}}{\pi \cdot [\tau] \cdot (1 - a^4)}}. \quad (4.15)$$

Приймаємо $[\tau] = \frac{[\sigma]}{2}$.

Для Ст3 $[\tau]=750$ МПа, $[\sigma]=1500$ МПа. [10]

Для горизонтальних змішувачів застосовуємо наступну універсальну схему навантажень (рисунок 4.2), які враховують їх найбільш несприятливе поєднання.

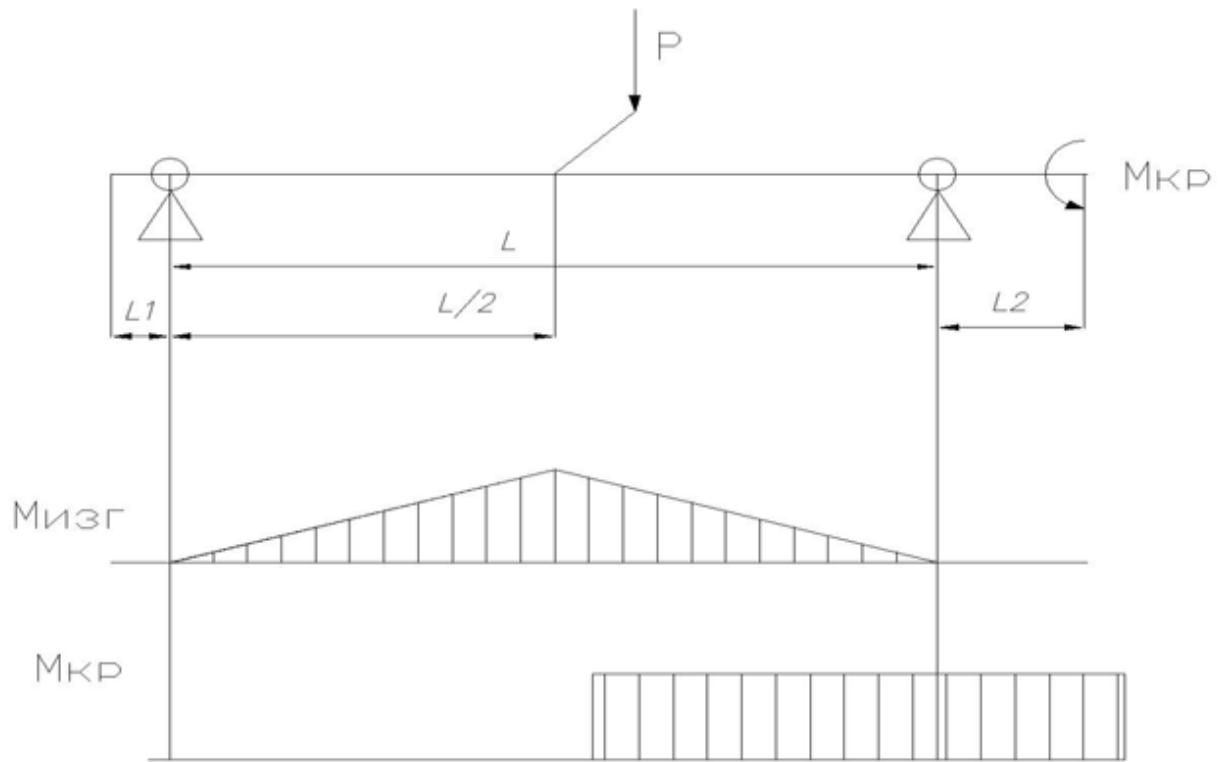


Рисунок. 4.2- Схема сил, що діють на ротор під час роботи

Максимальний згинальний момент, що діє на ротор під час роботи:

$$M_{u \max} = P_A \cdot 1,5D = \frac{P}{2} \cdot 1,5D = \frac{9418}{2} \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 8476 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Максимальний крутний момент, діючий на ротор під час роботи:

$$M_{кр \max} = 5620 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Для крутіння з вигином застосовуємо відповідно до третьої теорії міцності приймаємо максимальний розрахунковий момент:

$$M_{p \max} = \sqrt{M_{u \max}^2 + M_{кр \max}^2} . \quad (4.16)$$

Для СГ-3,2 приймаємо з потрібним запасом, враховуючи, що можливе заклинювання ротора:

$$M_{p \max} = 3 \cdot \sqrt{8476^2 + 5620^2} = 30560 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Для змішувача СГ-3,2 приймаємо $\alpha=0,9$.

Момент опору вала при спільній дії вигину і крутіння для пустотілого вала приймаємо:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot (1 - a^4)}{32}. \quad (4.17)$$

Розрахунковий діаметр вала:

$$D_e \geq \sqrt[3]{\frac{M_{p \max}}{W \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{30560}{0,058 \cdot 1500 \cdot 10^6}} = 0,0704, \text{ м.} \quad (4.18)$$

На ділянках вала, де діє тільки розрахунковий крутний момент, за формулою [14] збільшивши $M_{кр \max}$ в три рази отримаємо:

$$D_{e1} \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр \max}}{W \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 5620}{0,058 \cdot 1500 \cdot 10^6}} = 0,0579, \text{ м.}$$

Таблиця 4.2 - Параметри типового розмірного ряду змішувачів горизонтальних(СГ)

Номинальн об'єм корп. $V_n, \text{ м}^3$	Рекомендо- ваний об'єм суміші, $V_s, \text{ м}^3$	Внутр. діам. корп., мм	Наруж. діам. Ротора, мм	Діам. шнека, мм	Довж. кор- пуса, мм	Частота обертання, об/мин		Потужність приводу, кВт		Маса змішу- вача без прив., кг	Тов- щина Стін- ки корп., мм
						рот.	шнек	рот.	шнек		
0,5	0,25	800	790	130	1400	8	400	0,6	1,5	250	4
0,8	0,4	800	790	130	2000	8	400	0,6	1,5	350	4
1,0	0,5	800	790	130	2400	8	400	0,6	1,5	500	4
1,6	0,8	1200	1180	200	2100	6	300	3	4	1200	6
2,5	1,25	1200	1180	200	2800	6	300	3	4	1500	6
3,2	1,6	1200	1180	200	3500	6	300	3	4	2000	6
5	2,5	1800	1770	250	3000	4,5	250	9	12	2500	8
8	4	1800	1770	250	3800	4,5	250	9	12	3500	8
10	5	1800	1770	250	5600	4,5	250	9	12	4500	8
16	8	2600	2560	300	4600	3	200	24	30	6000	10
25	12,5	2600	2560	300	6200	3	200	24	30	7500	10
32	16	2600	2560	300	7600	3	200	24	30	9000	10

Також запропоноване різне виконання горизонтальних змішувачів в залежності від потреб замовника (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3- Пропоновані виконання

1	Корозійностійке (12X18H10T)
2	Некорозійностійке (Ст 3)
3	Вибухозахищене
4	Невибухозахищене
5	Періодичної дії
6	Безперервної дії ($V_{\text{н}}$: 1,0; 3,2; 10; 32)
7	Приводи з регульованою частотою обертання ротора (sem-eurodrive.ua (produkt))
8	Приводи з нерегульованою частотою обертання ротора (elektronpo.ru/production))
9	Приводи з регульованою частотою обертання шнека (sem-eurodrive.ua (produkt))
10	Приводи з нерегульованою частотою обертання шнека (elektronpo.ru/production))
11	З сорочкою
12	Без сорочки
13	Розвантаження через клапанний затвор
14	Розвантаження через дисковий затвор
15	Розвантаження через шиберний затвор
16	Розвантаження шнеком
17	Розвантаження гнучким шнеком

Можливі інші виконання змішувача в залежності від вимог замовника

Приклад позначення змішувача горизонтального з номінальним об'ємом корпусу 3,2 м³, з корпусом і ротором зі сталі 12X18H10T, не вибухозахищене виконання, періодичної дії, з нерегульованою частотою обертання ротора і шнека, без сорочки, з розвантаженням через клапанний затвор:

СГ-3,2-1/4/5/8/10/13

5 Визначення моменту опору і споживаної потужності

У Сєверодонецькому філіалі НДІХІММАШ для змішувачів Пж-130 за допомогою спеціальних приладів визначалася потужність. Крім того, на змішувач ПЖ-130 методом динамічного тензометрування визначався момент опору переміщення робочої частини в сипкому середовищі [7].

Споживана потужність визначається як різниця потужностей, заміряний ватметр під навантаження N_u і потужності валу на холостого ходу N_{xx} на тих же обертах.

$$N = N_u - N_{xx} \quad (5.1)$$

Під час вимірювання робочої потужності використовувався ватметр Д-566 0,2 класу точності з межею вимірювання до 3 кВт. Якщо отримана потужність перевищувала цю величину, застосовувалося шунтування струмовою обмотки приладу.

Перевагою цього методу вимірювання потужності є легкість проведення досліджень. Але точність такого методу невисока, так як в виміряну потужність, входять втрати на тертя під час роботи, в сальниках, на нагрівання обмотки двигуна, гістерезис і вихрові струми.

Розрахунок передбачає, що всі ці втрати не залежать від навантаження на головний привід і приймаються, як постійні значення для даної швидкості обертання основних частин. Для розрахунку неможливо визначити пусковий момент, а також пускову потужність ротора, так як електричні прилади мають велику інертність.

Метод динамічного вимірювання крутного моменту заснований на визначенні моментів опору руху одного з робочих органів. Метод дозволяє зняти осцилограму моменту, коли вал крутиться. На відвартованій осциллограмі визначали роботу однієї лопаті за оберт. Споживана потужність змішувача, визначиться як добуток отриманої роботи на швидкість обертання робочого ротора і числа робочих органів.

Під час експерименту було визначено основні переваги динамічного вимірювання крутного моменту в порівнянні з перерахованими електричними вимірами:

На точності вимірювань не впливає доступні втрати в приводі і ущільнення змішувача.

Виявляється не тільки усереднена величина споживаної потужності, але і робочі навантаження на привід змішувача і кожен плуг як під час запуску змішувача, так і після входження апарату в робочий стан.

Але є певні недоліки, до яких слід врахувати велику трудомісткість процесу, а також значні матеріальні витрати на завершення.

Система динамічного вимірювання опірною моменту складався з 2 динамічних вузлів тензометрировання 1 (рисунок 5.2), струмознімача 2, підсилювача 3, осцилографа світлопроменевого 4, блока для осцилографа 5, підсилювача 6, вузол динамічного тензометрировання був укріплений на валу змішувача, струмознімач змонтований на спеціальній стійці, а його ротор з'єднаний з валом змішувача (рисунок 5.1).

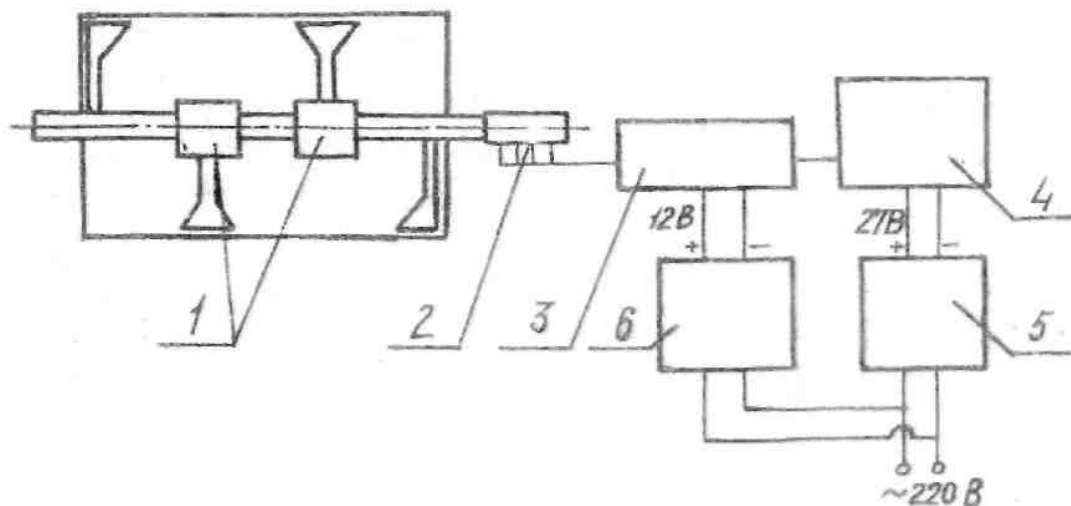


Рисунок 5.1- Система динамічного вимірювання опірною моменту

Для проведення експерименту було створено спеціальний вузол динамічного виміру, який зображений на рис. 5.2.

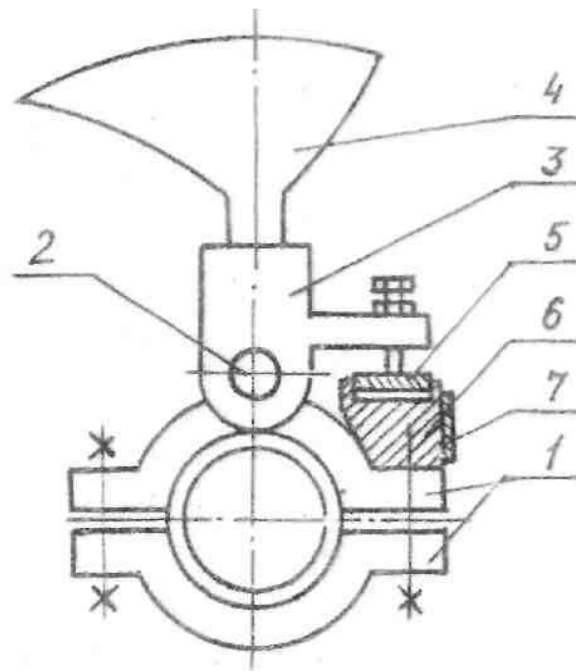


Рисунок 5.2- Вузол динамічного тензометрування

Він складається з хомутів 1, стягваних на валу змішувача двома болтами. Хомути утримується від провертання за рахунок сил тертя, без будь-яких стопорів, тому їх можна встановити в будь-якому місці по довжині вала. На хомуті шарнірно встановлений на осі 2, важіль 3. На важелі укріплено робочий орган 4. Важіль тисне в центрі на пластину 5, що спирається з двох сторін на краях виїмки, зробленої в опорному бруску 6. При зануренні в сипучому матеріалі робочого органу відчуває опір. Зі збільшенням моменту, що діє на важіль з боку робочого органу, збільшується прогин пластинки 5, Товщина її підібрана таким чином, що деформація знаходиться в межах пружності. На нижній поверхні пластинки паралельно наклеєні 3 вимірювальні прилади 2ПКБ-10-100ГВ. Провід від цих тензорезисторів через порожній вал з'єднані з струмомірачем. Простір між пластиною 5 і бруском 6 ущільнений поролоном. Шарнірна конструкція вузла тензометрування дозволяє виробляти більш точне вимірювання крутного моменту в порівнянні з вживаною зазвичай способом наклейками датчиків на стійці. Складова від осьових і радіальних сил в першому випадку

не діє на робочий орган. Наявність трьох тензодатчиків, що реєструють одну і ту ж величину, підвищує надійність вимірювання. На брусок 6 кріпиться пластина 7 з наклеєним на неї компенсаційний тензорезисторами, на яку діють механічні навантаження.

Струмознімач є ротор з бронзовими кільцями, що обертається разом з валом. Знімання струму здійснюється за допомогою сталевих контактів, що стикаються з кільцями.

При деформації робочого опору відбувається розбаланс моста і в іншому його плечі з'являється сигнал. Цей сигнал передається по екранованим проводам на підсилювач і, потім, на осцилограф, де фіксується на фотопапері.

Робота, вироблена одним робочим органом за оборот, визначалася графічно по осциллограмме. Вона чисельно дорівнює площі діаграми, обмеженої кривою, яка описує момент опору за один цикл навантаження (рисунок 5.3).

Оборотна робота визначається по формулі:

$$A_i = \frac{M_{\max}}{2} \cdot f \quad (5.2)$$

Треба врахувати, що:

$$f = \frac{2 \cdot \pi \cdot l_{\psi}}{L_{\psi}}, \quad (5.3)$$

де: M_{\max} – максимальні дані опірнього моменту плужка, Н·м;

f - кут, де робоча частина попадає на опір, рад;

l_{ψ} - еквівалентна куту f довжина на робочому зображенні, де робочий елемент відчуває опір, м;

L_{ψ} - довжина на діаграмі, еквівалентний одному повному оберту робочого плугу, тоді:

$$A_i = \frac{M_{\max} \cdot \pi \cdot l_{\psi}}{L_{\psi}}. \quad (5.4)$$

Споживна потужність змішувача можна розрахувати по формулі:

$$N = A_i \cdot Z_i \cdot \frac{\omega}{2 \cdot \pi}, \text{ Вт} \quad (5.5)$$

де: Z_i - число робочих органів даного змішувачі (в ПЖ-130 їх 6 - по 2 у кожного з плужків розташованих в корпусі і по 1-му біля стінок змішувача);
 ω - кутова швидкість обертання ротора, рад/с.

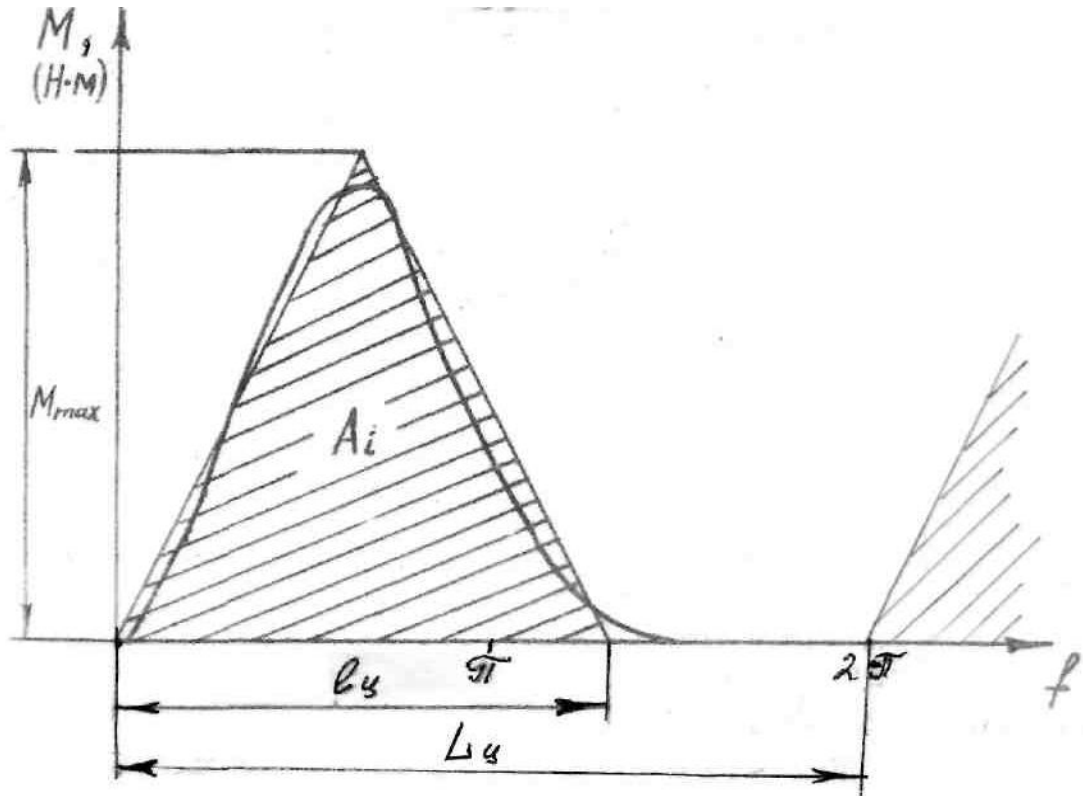


Рисунок 5.3- Графічне визначення роботи, яку здійснює плуг за оберт

Метод динамічного тензометрирування слід вважати найбільш доцільним, так як він усуває більшість незначних помилок вимірювань.

5.1 Дослідження робочих зусиль, що діють на робочі органи

В ході дослідження були отримані формули для визначення робочої потужності, які довели свою доцільність на випробуванні змішувачів ПЖ-130. Вимірювання опірного моменту проводилися методом динамічного тензометрирування.

Апарати для проведення вимірювальних експериментів показані на рисунку 5.5. У процесі досліджень було змінено ступіні заповнення корпусу

змішувача - η і кутову швидкість обертання робочого ротора - ω . Дослідження проводилися з такими елементами: сухий дрібнодисперсний пісок, каоліну і два фракції фенопласт (рисунок 5.5).

Під час випробувань було встановлено, що зміна опірному моменту характеризується прийнятною моделлю. Це є справедливо для сипучих матеріалів.

Осцилограма опірному моменту руху кожного з робочих плужків за 1 оберт показана на рисунку 5.4. Плужки змішувача були розташовані по осі ротора на доступній відстані один від одного, через 180° у напрямку обертання.

Для дрібнодисперсного матеріалу з розмірами частинок менше 50 мкм результати досліду виходять більш ніж на порядок більшими в порівнянні з початковими експериментальними даними.

Розглянемо окремо експериментальні дані, які були отримані для робочих матеріалів.

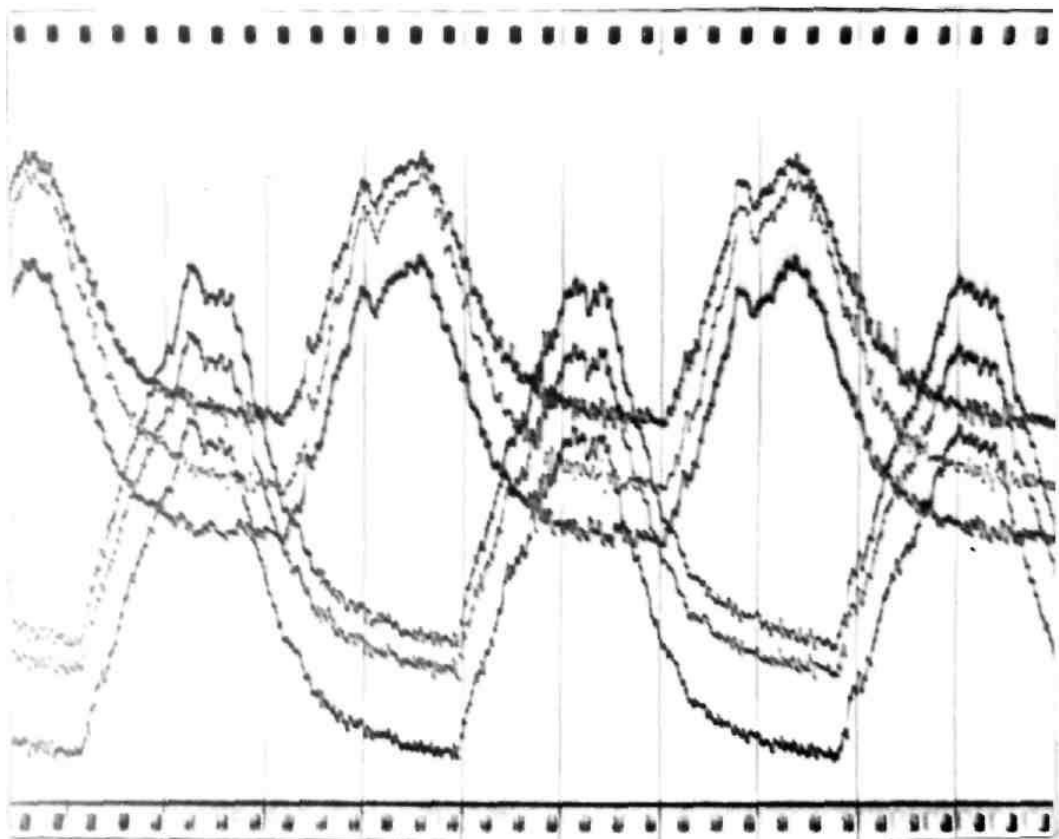
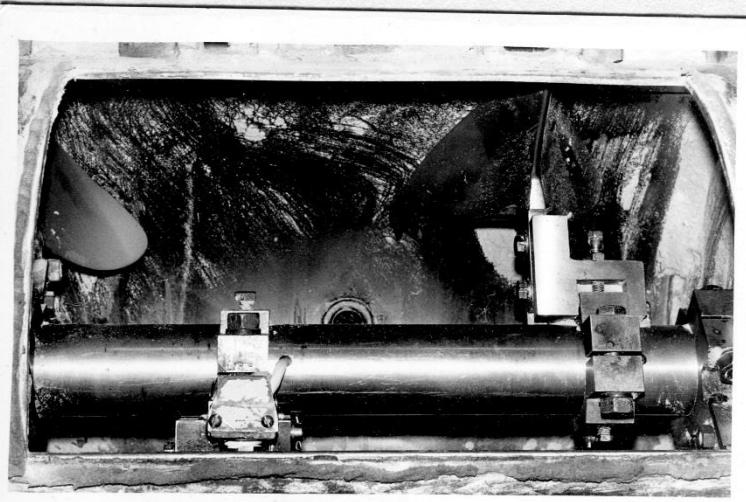


Рисунок 5.4- Вид осцилограми для крупнодисперсних сипких матеріалів



Тарировочная
шкала



M_t (Н·м) ↑

150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

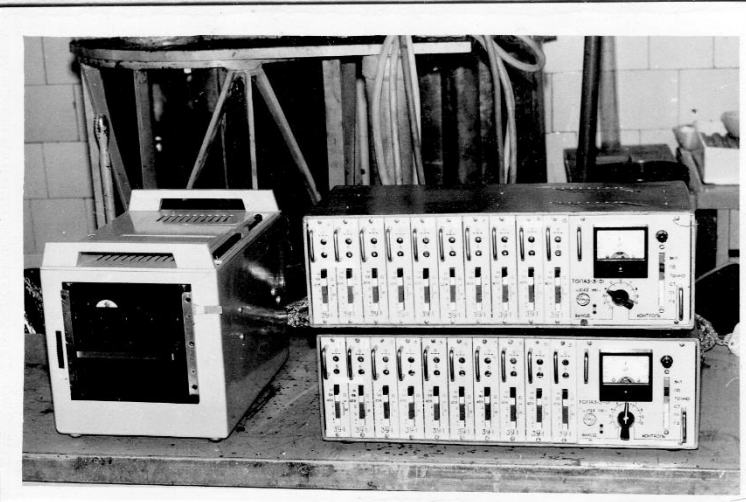


Рисунок 5.5 - Апаратура для проведення динамічного тензометрування

На рисунку 5.6 приведені максимальні значення моменту опору M_{max} , які було отримано під час випробувань змішувача ПЖ-130. В роботі були проведені досліді з фенопластом, який засипався з різним коефіцієнтом завантаження і різної кутової швидкості. На малюнку видно, що при малій заповненості змішувача ($\eta=0,1 - 0,3$) та зі збільшеним заповненням пікове значення M_{max} зростає, а пусковий момент менше опірному моменту при сталих режимах роботи. Зі збільшенням коефіцієнта завантаження понад 0,3 різниця між пусковим і робочим моментом стає меншою. При завантаженні $\eta=0,6$ в дослідженому діапазоні зміни швидкості обертання ротора момент опору падає майже в 2 рази в порівнянні з пусковим.

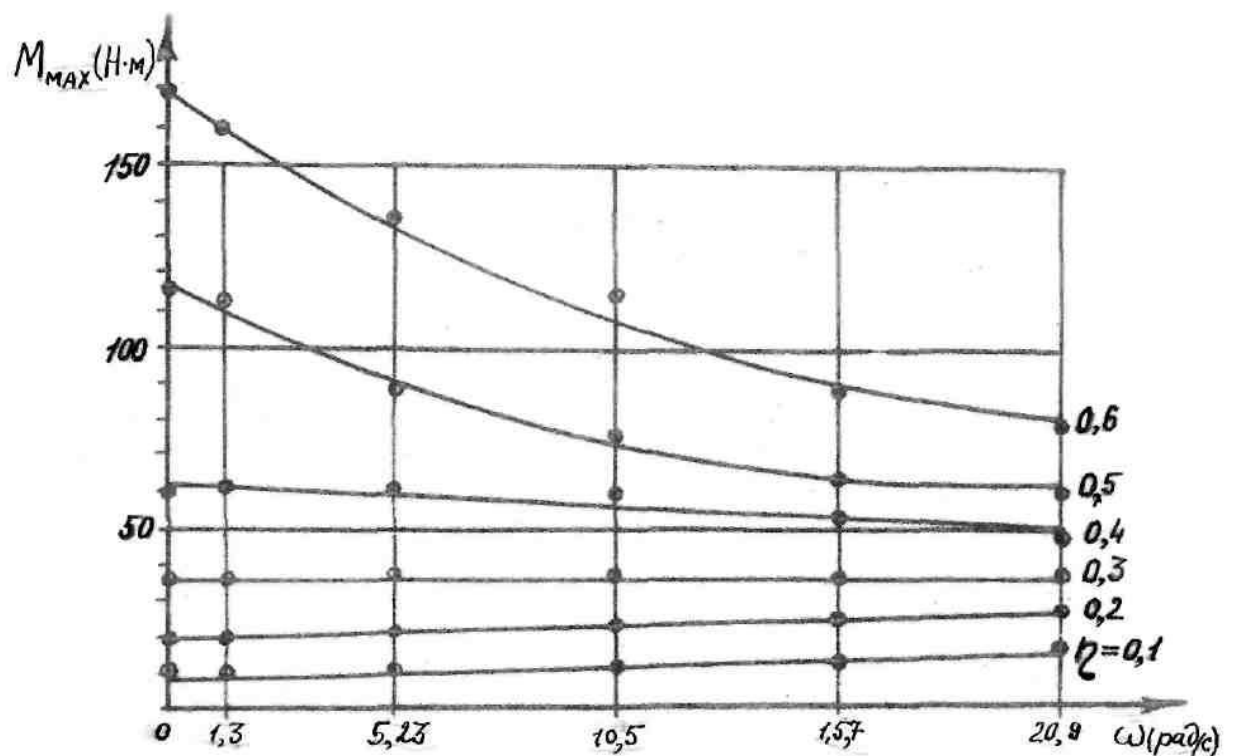


Рисунок 5.6- Зміна пікових значень моменту опору у експерименті

Провести дослідження на крупнодисперсному фенопласті при більш великих коефіцієнтах завантаження змішувача не вдалося, так як потужність и пусковий момент двигуну виявився замалим. Ротор змішувача заклинювало.

Такуж ситуацію можна побачити в зміні пікових значення опору, які були отримані при роботі змішувача на піску (рис. 5.7).

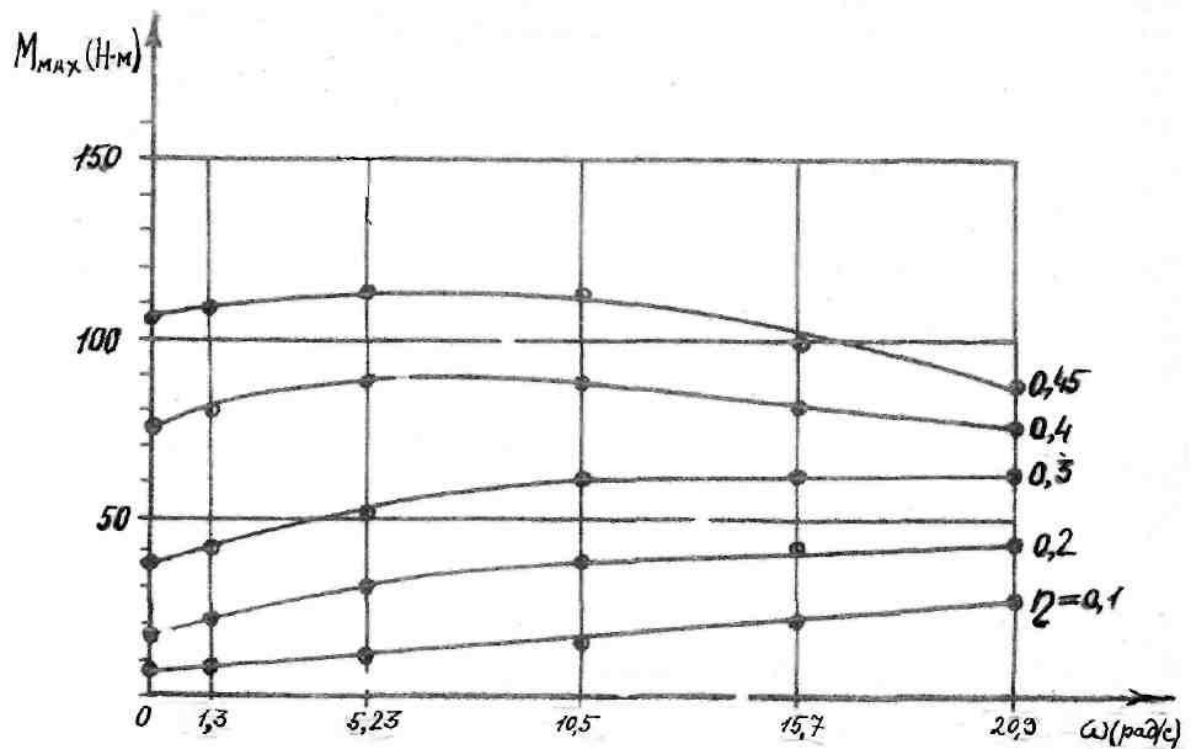


Рисунок 5.7- Зміна пікових значень моменту опору

Можна сказати, що опірний момент залежить від оберальної швидкості ротора. Також слід відзначити, що така залежність рівна між малим та великим коефіцієнтом завантаження. Чим це можна пояснити?

У публікаціях [8] можна зустріти такі думки, що зростання опірного моменту переміщенню плужків в міру збільшення швидкості обертання пояснюється дією на матеріал відцентрових сил. Зниження моменту опору зі збільшенням оберальної швидкості ротора при великому коефіцієнті завантаження є наслідком ділатансії матеріала.

Отримані в цій роботі осцилограма моменту опору і візуальні спостереження доводять, що ці припущення не мають основи і дають можливість стверджувати, що в плуговому змішувачі при стандартних кутових швидкостях до 20 рад/с відцентрові сили не працюють. Так,

наприклад, в змішувачі ПЖ-130 при швидкості 10 рад/с матеріал не викидається з корпусу змішувача через люк. Візуально спостерігалось його інтенсивне переміщення переважно в осьовому напрямку. Число Фруда, розраховане за швидкістю плуга, в цьому випадку дорівнювало 2,6; але напрямок швидкості переміщення матеріалу \vec{V}_n не співпадало з напрямком руху плуга \vec{V} .

Швидкість переміщення основного матеріалу, що обертається плугом, дорівнює:

$$V_n = V \cdot \sin \alpha, \text{ м/с.} \quad (5.6)$$

Тангенціальна основа швидкості, що створює відцентрові сили, визначається за формулою:

$$V_\tau = V \cdot \sin \alpha \cdot \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2 = V \cdot \sin^2 \alpha, \text{ м/с.} \quad (5.7)$$

Число Фруда, що характеризує відношення відцентрового прискорення до гравітаційного прискорення:

$$Fr^I = \frac{V_\tau^2}{r \cdot g} = \frac{V^2 \cdot \sin^4 \alpha}{r \cdot g} = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} \cdot \sin^4 \alpha. \quad (5.8)$$

Тобто фактичне значення Fr виявилось набагато менше, чім розраховане значення по швидкості плуга (в даному випадку $\alpha = 17^\circ$, $\sin^4 \alpha = 7,3 \cdot 10^{-3}$, $Fr^I = 0,0186$).

Отже, вплив відцентрових сил на матеріал не є великим і їх дією можна пояснити збільшення моменту опору переміщенню плуга.

Пояснення зниження опірною моменту проявом ділатансії зі збільшенням швидкості обертання ротора також не є доцільним, якщо розглянути осцилограму для крупнодисперсного фенопласту або піску. При завантаженні $\eta=0,5$ і більше зі збільшенням швидкості обертання

осцилограма стає більш зубчастої, що можна віднести для жорстких, а не псевдозріджених матеріалів.

З осцилограм моментів опору, отриманих для попередніх умов, можна помітити (рис. 5.7), що зі збільшенням кутової швидкості ротора відбувається зниження пікових значень опірного моменту і одночасне збільшення кута. Отже, поверхня сипкого матеріалу стає не рівною, максимальна глибина сипкого матеріалу над плугом зменшується, а його шлях під навантаженням збільшується. Однак збільшення роботи за оборот не може бути викликано викривленням поверхні піску, так як опір плуга залежить від глибини його занурення в сипкий матеріал в ступеня більше одиниці.

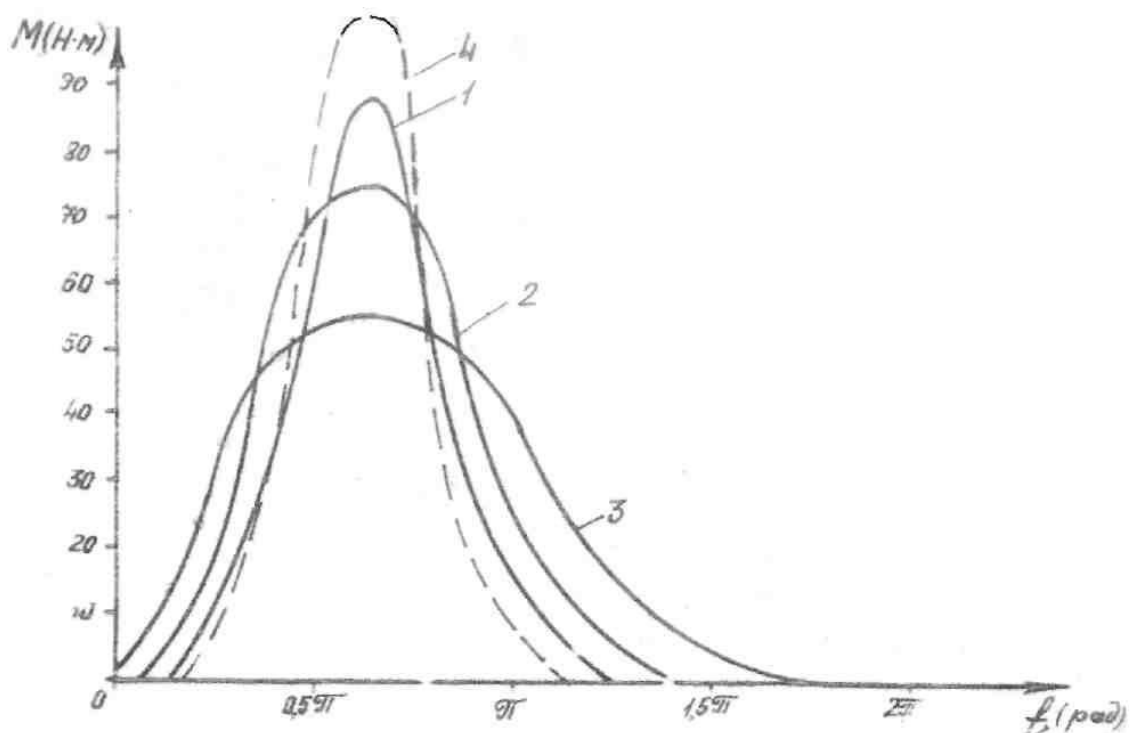


Рисунок 5.7- Характер зміни моменту опору

$\omega=5,23$ рад/с; 2. $\omega=10,5$ рад/с; 3. $\omega=20,9$ рад/с; 4. Значення з теорії.

Зростання роботи за 1 оборот при збільшенні обертової швидкості можна пояснити лише впливом динамічних сил, що діють на робочий елемент. Вчений Горячкин [9], [10] зазначив, що динамічна складова виникає в тому разі, коли матеріал, що відкидається плугом в бік, набуває кінетичну енергію. Подібне явище можна побачити і в нашому випадку при малому коефіцієнті завантаження. Плуг, рухаючись на невеликій глибині зі швидкістю до 5 м/с, здатний кидати матеріал в бік, повідомляючи йому деяку кінетичну енергію. Імпульс з боку матеріалу збільшує опір руху. Частинки, які отримали імпульс руху, здійснюють політ у вільному просторі змішувача. При цьому відбувається їх розподіл по поверхні матеріалу.

Траєкторії польоту частинок показані на рис. 5.8. Схема входження плужка в сипучий матеріал при різних коефіцієнтах завантаження показана на рис. 5.9.

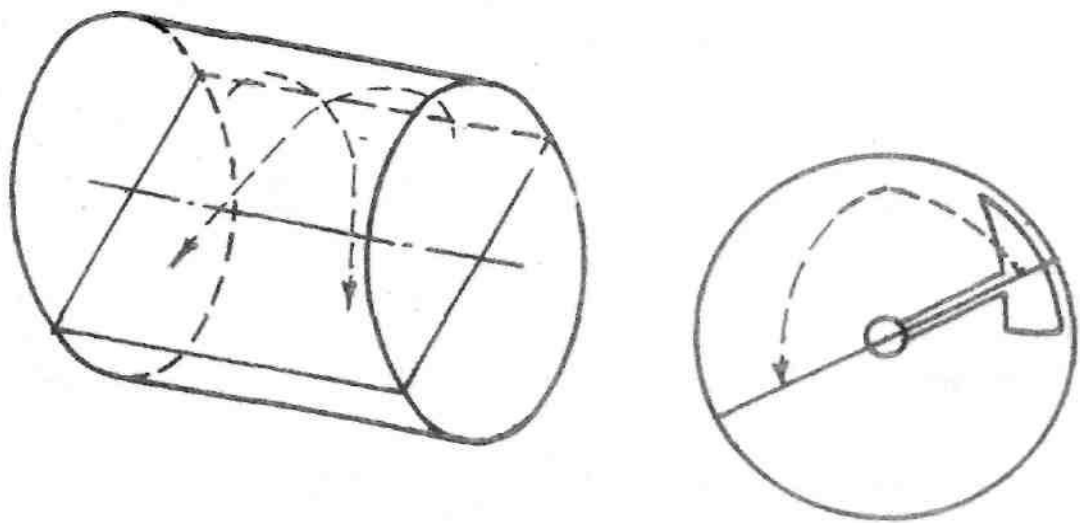


Рисунок 5.8- Траєкторія польоту часток матеріалу

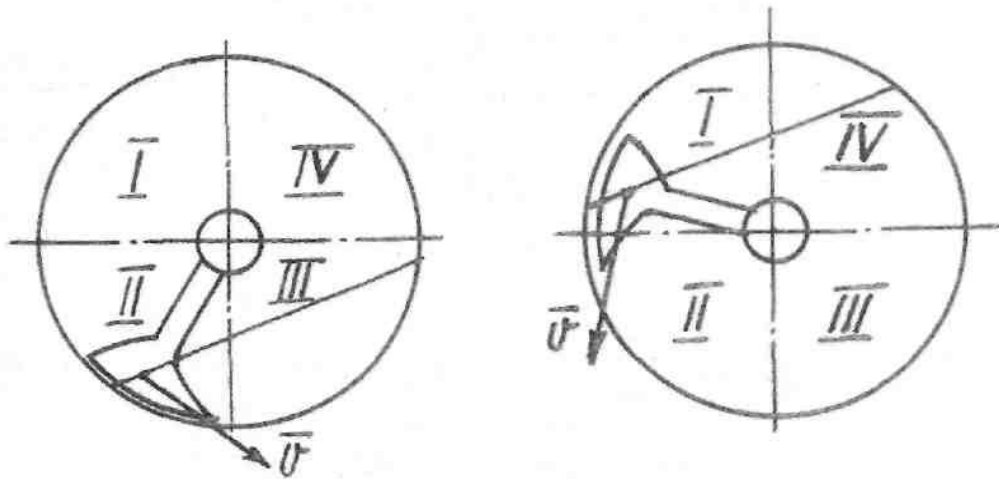


Рисунок 5.9- Вхідження плужка в сипкий матеріал при різній глибині заповнення корпусу

Можна замітити, що з точки зору інтенсивного змішення, такий рух робочого матеріалу дуже ефективний. Закономірність прискорення процесу змішення сипкого матеріалу при малих об'ємах завантаження. Чим більше завантаження змішувача, тим динамічна складова не виявляється. Це пояснюється рухом робочого елемента на великій глибині в складних умовах (рисунок 5.10). У такому випадку матеріал не може інтенсивно відкидатися у простір, а отримана кінетична енергія іде на подолання тертя.

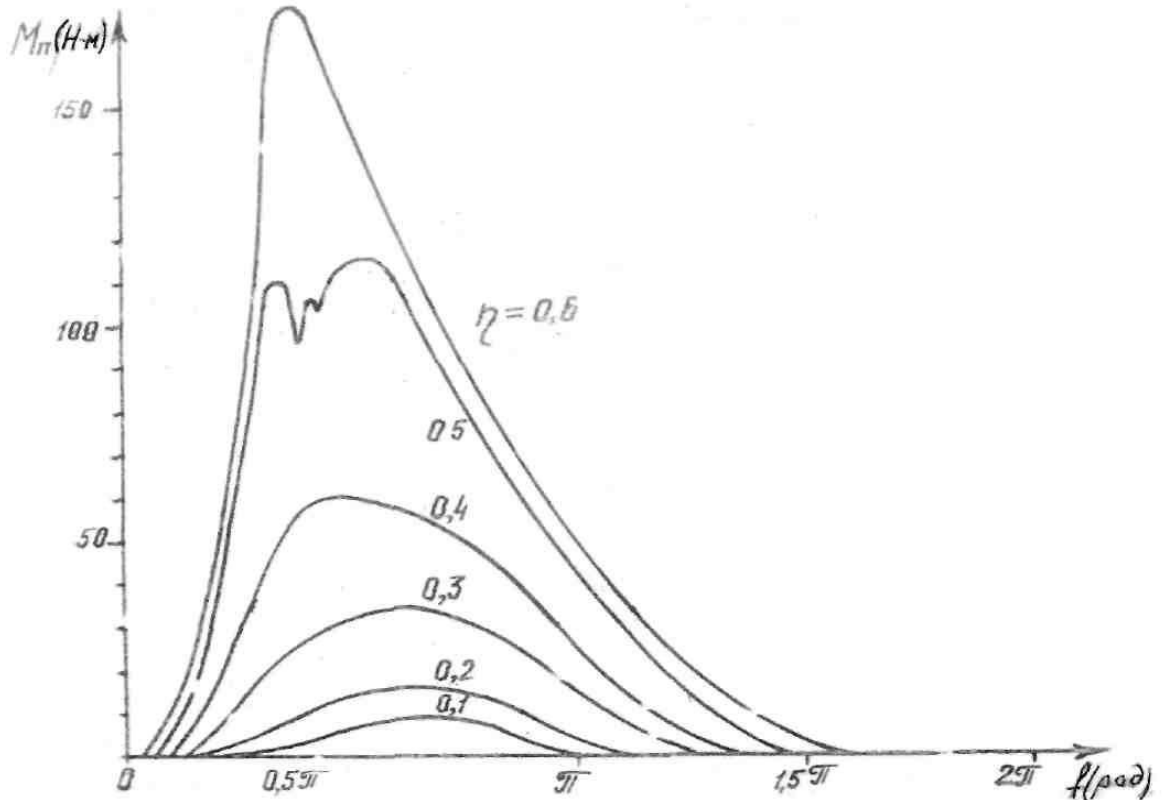


Рисунок 5.10- Експериментальні значення моменту при повільному обертанні ротора (перший оборот при пуску)

При перевищенні певних коефіцієнтів завантаження корпусу, пуск змішувача стає неможливим. Так, наприклад, завантаження крупнодисперсним фенопластом змішувача ПЖ- 130 можливе лише на 0,6 об'єму корпусу. Але і за цих умов момент пуску у декілька разів перевищує номінальний показник. Очевидно, для крупнодисперсних сипких матеріалів коефіцієнт завантаження змішувача більше 0,5 не є доцільним.

Відповідно до фізичного показника отриманих досліджувальних даних проявляється опір, викликаний або силами тертя в сипкому матеріалі, або динамічними силами зі сторони матеріалу. Тому споживана потужність, яка виникає при змішенні, можна розраховувати по формулі:

$$N = \max\{N_c, N_d\}, \text{ Вт, (5.9)}$$

5.2 Вплив параметрів змішувача на опір руху робочих елементів при змішенні дрібнодисперсних матеріалів

Для вивчення опору руху робочих органів в дрібнодисперсному матеріалі використовувалися такі компоненти, як фенопласт і каолін з розмірами часток від 1-5 мкм. В результаті ми мали наступні результати, що свідчать про перехід дрібнодисперсного сипкого матеріалу при перемішуванні в новий стан, який не є вивченим.

Під час експерименту було встановлено, що опір переміщенню робочих елементів в дрібнодисперсному матеріалі у багато разів менше, ніж в великодисперсному. Осцилограма моменту опору переміщення плуга в сипкому матеріалі практично не відрізняється від даних під час холостого ходу.

При обертанні ротора пустого змішувача осцилограф записує сигнал у вигляді синусоїдної кривої, який викликаний дією ваги плуга. Якщо змішувач завантажувався дрібнодисперсним матеріалом, то запис практично не відрізнявся від запису в холостому ході. Причому, завантаження змішувача до $\eta = 0,9$ на споживану потужність практично не впливала. Під час запуску змішувача також не вплинув на робочі органи.

Якщо порівняти визначені на стандартних приладах фізико-механічні властивості великодисперсного і дрібнодисперсного фенопласту, то з точки зору пластичної моделі вони дуже схожі. Тому можна було сказати, що закономірності зміни моменту для обох матеріалів мають бути майже однаковими. Під час дослідження були встановлені відмінності в чисельних значеннях, а також характеру зміни цих даних.

Отримані дані наводять на те, що існують межі застосування жорсткої моделі в сипкому матеріалі. Під час Експерименту ця межа може бути визначати за допомогою дисперсності сипкого матеріалу 50 мкм.

У змішувачах при швидкому обертанні дрібнодисперсних матеріалів відбувається об'ємна деформація. В першу чергу, відбувається руйнування слабких контактів в по всій площі матеріалу.

Для того, щоб відбувалася така операція, потрібно дві умови:

1) матеріал має бути дрібнодисперсним (тоді він матиме велику частку слабких контактів);

2) компонент має бути таким, що стискається (тоді деформація відбуватиметься в усій площині);

Остання умова дотримується, коли дрібнодисперсний матеріал знаходиться в розпушеному стані. Якщо він довго лежав, а його порожність зменшилася, зрушення в нім стануться по площинах ковзання, при цьому опір руйнуванню буде збільшуватися.

Одним з параметрів, сприяючих зменшенню опору дрібнодисперсних матеріалів, є малий переріз проходів між частками. При швидкому зростанні навантажень матеріал піддається стиску, а тиск повітря, що знаходиться в масі, підвищується, але швидко вийти через проміжки між частками він не може, оскільки маса піддається великому опору. Виходить, що завдяки стислому повітрю відбувається вирівнювання напружень при змішуванні. Коефіцієнт бічного тиску наближається в цьому випадку до 1, і сипкий матеріал стає схожим на рідину. Сказане можна підтвердити і тим, що при роботі змішувача з дрібнодисперсними матеріалами, їх поверхня практично горизонтальна.

5.3 Висновки

Під час експериментальних досліджень було встановлено, що сили опору органів змішувача залежать від складу і дисперсності сипких матеріалів. Наприклад, в великодисперсних матеріалах, який має розмір часток більше 50 мкм, величина значно перевищує опорні сили, що виникають при роботі змішувача з дрібнодисперсними матеріалами.

Виходячи з робочої моделі сипкого середовища, теоретично вирішено завдання по визначенню сил опору переміщенню окремого робочого органу змішувача. Завдяки проведеним дослідом нам вдалося підтвердити правильність даної моделі при змушуванні великодисперсних матеріалів у змішувачі.

Зниження сил опору переміщенню робочого органу в дрібнодисперсному матеріалі може бути зв'язано з переходом до нового стану, який не має чітких фізико-математичних моделей для розрахунку.

Завдяки математичній моделі і експериментальним дослідженням було встановлено, що збільшення коефіцієнта заповнення корпусу змішувача великодисперсним матеріалом, різко виростає момент опору плужка під час руху. Якщо заповнити корпус великодисперсним матеріалом більше ніж на половину, то це може привести до заклинювання ротора.

Цю характеристику обов'язково треба враховувати при проектуванні і роботі змішувачів. При дослідженні роботи плугових і стрічкових змішувачів цьому питанню приділялася велика увага. Перевищення межі граничного завантаження в 0,6 веде до заклинювання ротора змішувача під час запуску. Для досліджених великодисперсних матеріалів граничний коефіцієнт завантаження складає 0,5 - 0,7.

Експериментальна перевірка доводить адекватність розробленої математичної моделі для великодисперсних сипких матеріалів.

Для дрібнодисперсних матеріалів, з розміром часток менше 50 мкм, опір руху в розпушеному матеріалі у багато разів менший, ніж для великодисперсних матеріалів. Дрібнодисперсні матеріали поведуться в

процесі змішування схоже до рідин: мають горизонтальну поверхню, передають тиск рівномірно на всі сторони, опір руху не залежить від глибини занурення в сипкий матеріал. Значний опір дрібнодисперсних матеріалів може виникнути у момент запуску змішувача, коли робочі органи деформують матеріал, що лежить.

6 Техніка безпеки при роботі в лабораторії

До роботи з електроприладами в лабораторії можуть бути допущені особи, що пройшли інструктаж, навчання і перевірку знань по питаннях охорони праці, а також мають оцінку по електробезпеці не нижче 2.

Забороняється працювати на робочому місці в нетверезому стані, вживати алкогольні напої, наркотичні і токсичні речовини під час роботи і після закінчення роботи.

Спецодяг і інші засоби захисту повинні зберігатися в спеціально відведеному місці. Забороняється заходити і працювати в лабораторії у верхньому одязі і класти його на випробувальні установки, робочі апарати.

При роботі в лабораторії необхідно дотримуватись правил гігієни. Забороняється їсти на робочому місці.

У лабораторії має бути аптечка для надання невідкладної допомоги при різних ситуаціях і нещасних випадках.

Для гасіння можливих вогневих займань і пожеж у лабораторії мають бути необхідні засоби пожежегасіння (вогнегасник, ящик з піском, тощо).

6.1 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи мають бути перевірені з'єднання з контуром захисного заземлення, справність електроприладів, робочого інструменту, автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність засобів пожежегасіння.

Заземлюючі контакти розеток мають бути надійно приєднані з контуром захисного заземлення.

Перед початком роботи потрібно переконатися, що всі електроприлади, які будуть використовуватись у роботі, правильно підключені і мають заземлення.

Під час використання електроприладів потрібно керуватись правилами, викладеними в технічному паспорті апарату.

При виявленні поломки електроприладів, стендів, захисного заземлення повідомити про це старшому або науковому керівникові лабораторії.

6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Дозволяється працювати тільки зі справними приладами та апаратами.

При роботі з електроприладами можливі випадки ураження людей електричним струмом. Причинами такого явища можуть бути:

- дотик руками або металевим предметом до корпусу електроприладу і оголених проводів;
- робота з поламаним електроприладом;
- порушення правил користування електроприладами.

Забороняється працювати з електроприладами і вимірювальними приладами при знятому захисному кожусі.

Заборонено використовувати штепсельні роз'єми, вилки і фішки, узявшись за провід. Відключення апарату треба проводити тільки узявшись за роз'єм, вилку або фішку, щоб уникнути струмного замикання і можливого при цьому нещасного випадку.

Забороняється проводити роботу з електроприладами у вологому одязі, мокрими руками, перекривати вентиляційні канали, якщо вони є на приладах.

В межах лабораторії і навчального закладу заборонено курити.

Заборонено лишати без нагляду, проводити ремонтні роботи і переносити включені в мережу електричні прилади.

Заборонено підключення декілька споживачів електроенергії до однієї розетки.

Забороняється заміна згорілих запобіжників. Необхідно використовувати в роботі запобіжники заводського виготовлення, що мають маркування.

Заборонено закладати прохід до електричних пристроїв речами або предметами. Шафи, автоматичні вимикачі, розетки повинні бути в доступності.

При раптовому зупиненні подачі електроенергії всі вимикачі і рубильники мають бути негайно вимкнені.

Забороняється залишати оголені проводи без ізоляції, перевантажувати електромережу, користуватися вилками, розетками і вимикачами, які мають зовнішні ознаки поломки.

Електроприлади мають бути розташовані на відстані від 1 м до нагрівальних приладів і без доступу прямих проміней сонця.

Робоче місце потрібно утримувати в чистоті, не допускати запилення робочих поверхностей електроприладів, вимірювальних апаратів, робочих стендів.

Забороняється чистити від пилу устаткування, яке включене в мережу.

При виявленні поломок електроприладів, вимірювальних приладів, стендів, за відсутності їх заземлення, а також при виявленні іскріння або характерного запаху перегрітої ізоляції, негайно зупинити роботу и відключити від електроенергії. Повідомити про це своєму керівникові лабораторії або старшому.

Приступати до роботи дозволяється тільки після перевірки безпеки робочого місця, усторонення відмічених несправностей електроприладів, вимірювальних приладів і стендів.

При проведенні ремонтних робіт дозволяється використовувати ізопропиловий або етиловий спирт.

Дозволяється зберігати запас легкозаймистих рідин, що не перевищує 0,5 літра. Зберігання запасу дозволяється в тарі, що не згоряє, з закритою кришкою.

6.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після робочої зміни потрібно вимкнути електроприлади, вимірювальні прилади, а також інше устаткування.

Вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити використовувані подовжувачі мережі.

Робоче місце потрібно залишити в прибранному вигляді, без сміття и пилу.

При виході з лабораторії необхідно вимкнути всі споживачі електроенергії.

При виявлених під час роботи і неполадках електроприладів повідомити свого керівника або старшого.

6.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

При роботі з електроприладами і вимірювальними приборами в лабораторії можливі наступні аварійні ситуації:

- загоряння різних робочих матеріалів;
- вдарення електричним струмом.

Джерелами спалаху в лабораторії можуть бути різні частини приладів, пристроїв електроживлення, електропаяльники, де можуть виникнути перегрівання електронних компонентів, схем, проводів, утворюються електричні іскри і дуги.

Співробітники і керівники повинні знати розташування засобів пожежогасінні і уміти ними користуватися в разі небезпечних обставин.

При виникненні займання:

- негайно відключити всі електроприлади спільним автоматичним вимикачем;
- швидко вивести людей в безпечне місце, надати допомогу тим, що були ушкоджені;
- повідомити за телефоном 101 в пожежну службу;
- перенести в безпечне місце непошкоджені електроприлади;
- приступити до усунення пожежі первинними засобами пожежогасінні;
- повідомити керівництво лабораторії по ситуацію;
- електроприлади гасити вуглекислотними вогнегасниками, порошковими вогнегасниками або сухим піском;

– електроприлади категорично забороняється гасити водою.

В разі ураження електричним струмом слід негайно відключити електроприлади і викликати швидку допомогу за номером 103. Співробітники, що працюють в лабораторії, зобов'язані знати заходи надання першої допомоги людині при ураженні електричним струмом і уміти надати її при необхідності.

7 Висновки та рекомендації

Проведений аналіз літературних даних з питання змішення сипких і пастоподібних матеріалів.

Приведені дані результатів дослідження процесу змішення в змішувачах з горизонтальним циліндричним корпусом.

Визначена оптимальна конструкція змішувача з горизонтальним циліндричним корпусом.

Досліджений опір руху робочих органів в змішувачах з горизонтальним циліндричним корпусом.

Розроблена технічна пропозиція і рекомендації по випуску типорозмірного ряду змішувачів з горизонтальним циліндричним корпусом.

Перелік джерел посилання

1. Макаров Ю. И., Аппараты для смешения сыпучих материалов, Машиностроение., 1973.
2. Модестов В.Б. Змішувачі сипких і пастоподібних матеріалів / Монографія. - Луганськ, СПД Резніков В.С., 2011. - 352 с. - 104 мул, бібл .:
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие для вузов. — 8-е изд., стер. —М.: Высш. шк., 2002, 479 с.: ил.
4. Модестов В.Б. Разработка методики расчёта плужных смесителей для сыпучих материалов. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н., М.: МИХМ, 1984.
5. Теория смешивания / URL: <https://helpiks.org/8-80194.html> дата звернення: 27.11.2019).
6. Смесители сыпучих материалов / URL: <http://www.slgroup.cn/index.html/> (дата звернення: 27.11.2019).
7. Смесители сыпучих материалов / URL:[http://himmiks.com.ua/katalog/smesiteli/smesiteli-dlya-sypuchikh-materialov /](http://himmiks.com.ua/katalog/smesiteli/smesiteli-dlya-sypuchikh-materialov/)(дата звернення: 28.11.2019).
8. Двуроторные смесители/URL: <https://globecore.ru/> (дата звернення:28.11.2019).
9. Смесители сыпучих материалов/ URL: https://tehnolog.com.ua/catalog/bulk_mixers/ (дата звернення 25.12.2019).
10. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность.

Додатки

Додаток А

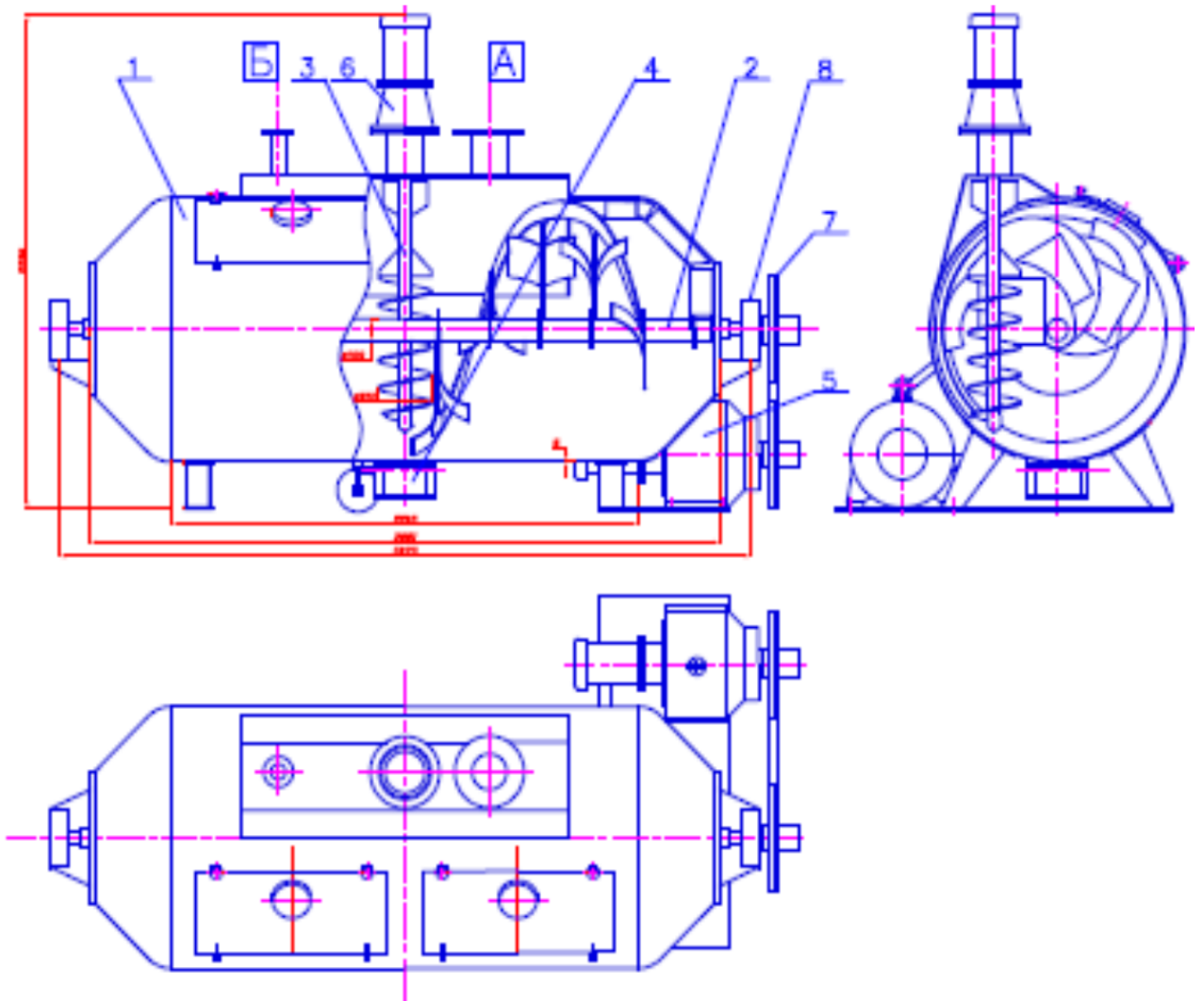


Рисунок А1 - Конструкція змішувача з горизонтальним корпусом

Додаток Б

Результати змішення компонентів в змішувачі ЛН-24

В табл. Б.1 приведені результати змішення компонентів в змішувачі ЛН-24 при $n=100\text{об/хв.}; t= 36 \text{ с.}$

Таблиця Б.1 - Результати змішення компонентів в змішувачі ЛН-24
 $n=100\text{об/хв.}; t= 36 \text{ с.}$

№ проби	Маса ключев. комп, г	Маса основн. комп, г	Зміст ключового комп, %	Наявність сегрегації		
				верх/ низ	лево/ прав	По осі
1	0,897	10,991	7,545			
2	1,25	13,203	8,649			
3	0,601	12,734	4,507			
4	0,196	9,518	2,018			
5	0,295	15,251	1,898			
6	0,209	12,723	1,616			
7	0,294	12,547	2,290			
8	0,471	14,218	3,206			
9	1,016	13,501	6,999			
10	0,864	10,7	7,471	-	-	+
11	1,257	14,995	7,734			
12	1,381	17,153	7,451			
13	0,994	17,575	5,353			
14	0,464	16,92	2,669			
15	0,344	18,29	1,846			
16	0,315	16,416	1,883			
17	0,353	17,152	2,017			
18	0,808	16,613	4,838			
19	1,199	15,376	7,234			
20	1,495	17,522	7,861			

В табл.Б.2 приведені результати змішення компонентів в змішувачі ЛН-24 при $n=100\text{об/хв.}; t= 180\text{ с.}$

Таблиця Б.2 - Результати змішення компонентів в змішувачі ЛН-24
 $n=100\text{об/хв.}; t= 180\text{ с.}$

№ пробы	Маса ключев. комп,г	Маса основн. комп, г	Зміст ключевого комп,%	Наявність сегрегації		
				верх/ низ	лево/ прав	По осі
1	0,452	9,257	4,655			
2	0,445	9,505	4,472			
3	0,472	9,111	4,925			
4	0,547	9,526	5,430			
5	0,551	9,187	5,658			
6	0,563	9,256	5,734			
7	0,471	8,471	5,267			
8	0,477	9,110	4,975			
9	0,409	9,461	4,144			
10	0,390	9,457	3,961	-	-	+
11	0,437	10,027	4,176			
12	0,434	9,432	4,399			
13	0,491	9,453	4,938			
14	0,513	9,66	5,043			
15	0,614	9,279	6,206			
16	0,615	9,002	6,395			
17	0,527	9,579	5,215			
18	0,409	7,342	5,277			
19	0,428	9,658	4,244			
20	0,373	8,904	4,021			