

Титульній лист та завдання на дипломній проект  
роздруковуються на кафедрі МОПП централізовано

УДК 66.045

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МОПП,

д. т. н, доцент

\_\_\_\_\_ Архипов О.Г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської роботи на тему

Дослідження енергетичних витрат в процесі змішування сипких  
матеріалів в апаратах з вертикальним ротором

Науковий керівник к.т.н., доцент Модестов В.Б.

Студент групи ОХП-16 зм Марочко А.І.

Севєродонецьк 2018

## Реферат

Марочко А.І. Дослідження енергетичних витрат в процесі змішування сипких матеріалів в апаратах з вертикальним ротором. Дипломна робота магістра. СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім В. Даля. 2018 – 76 с., 23 ілюстрації, 7 таблиць, 5 додатків, 16 бібл.назв.

Виконано літературне дослідження змішення сипких матеріалів. Приведені розповсюджені конструкції змішувачів, які використовуються в різних галузях промисловості. Приведені результати наукових досліджень, проведених в Сєверодонецькому НДІХІММАШ. Приведені методика та результати наукових досліджень в лабораторії СНУ ім. Даля.

Проведено зрівняння ефективності деяких конструкцій змішувачів з вертикальним ротором. Виконано дослідження енергетичних витрат шнеком що занурений в сипкий матеріал.

Ключові слова: ЗМІШУВАЧІ, СИПКІ МАТЕРІАЛИ, ЗМІШЕННЯ, ВЕРТИКАЛЬНИЙ РОТОР, ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ.



## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	5
Вступ	6
1. Аналітичний огляд	7
1.1. Стрічкові	9
1.2. Плужні	10
1.3. Планетарно-шнекові	11
1.3.1. Планетарно-шнековізмішувачищо розроблені С.ф.НДІхіммаш	17
1.4. Відцентрові	26
1.5. Двороторні	27
1.6. Двохроторні з Z-подібними лопатями	29
1.7. Двороторні з Z-подібними лопатями і розвантажувальним шнеком	31
1.8. Барабанні	32
2. Ціль та задачі досліджень	33
3. Експериментальне дослідження енергетичних витрат в апаратах з вертикальним ротором	34
3.1. Дослідження енергетичних витрат в планетарно-шнекових змішувачах	39
4. Дослідженняпроцесузмішуваннясипких матеріалів в змішувачах з вертикальним ротором	51
4.1. Приклад обробки експериментальних даних вибірки	54
4.2. Результати вивчення розподілу компонентів	58
5. Розробка типорозмірного ряду планетарно-шнекових змішувачів	59

6.	Економічна оцінка ефективності випуску планетарно-шнекових змішувачів	62
7.	Техніка безпеки при роботі в лабораторії	65
7.1.	Вимоги безпеки перед початком роботи	66
7.2.	Вимоги безпеки під час виконання робіт	66
7.3.	Вимоги безпеки після закінчення робіт	68
7.4.	Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	68
7.5.	Вимоги безпеки при роботі на змішувачах	70
8.	Висновки та рекомендації	71
	Література	72
	Додатки	74

## Перелік умовних позначень

$N$  – потужність, Вт;

$n$  – частота обертання, об/хв.;

$i$  – кількість проб;

$x_{ikJ}$  – концентрація ключового компонента в  $i$  - ой пробі  $kJ$  -ой групи;

$\bar{x}_{kJ}$  – середня концентрація ключового компонента в  $kJ$  -ой групі;

$\rho_n$  – насипна маса сипучого матеріалу;

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

$h$  – глибина занурення в сипучий матеріал, м;

$\mu$  – коефіцієнт бокового тиску;

$\varphi$  – кут зовнішнього тертя сипучого матеріалу об поверхню витка шнека, град;

$D_{ш}$  – зовнішній діаметр витків шнека, м;

$\Theta$  – кут підйому витка шнека на зовнішньому діаметрі, градус;

$\varphi_s$  – кут зовнішнього тертя сипучого матеріалу об поверхню витка шнека, град;

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

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

$x_i$  – концентрація ключового компонента в  $i$ -ой пробі, %;

## Вступ

Темою дипломної роботи є вивчення змішувачів для сипких матеріалів з вертикальним ротором. Змішувачі сипких матеріалів мають різноманітні конструкції. Значну частину широко розповсюджених змішувачів становлять машини з вертикальним ротором. Не можливо наполягати, що ці конструкції мають якісь принципові переваги перед іншими, але вони прочне зайняли значну частину ринку змішувачів. Тому слід звернути увагу на теорію та практику їх застосування та розробки.

В цієї роботі приведені результати досліджень енергетичних витрат в планетарно-шнекових змішувачах проведених в Сєверодонецької філії НДХіммаш, а також результати досліджень в учбової лабораторії кафедри МОПП СНУ ім. Володимира Даля.

Метою цієї роботи є узагальнення досвіду, отриманого в процесі створення планетарно-шнекових змішувачів і вивчення їх роботи на підприємствах. Виготовлення змішувачів доступно більшості машинобудівних заводів, тому ці конструкції необхідно випускати на вітчизняних машинобудівних підприємствах.

Окрім економічних вигод це дає значний соціальний ефект - збільшує число робочих місць на виробництві.

## 1 Аналітичний огляд

Різноманітні процеси змішування сипких матеріалів дуже відрізняються один від одного, хоч часто дослідники та проектувальники відповідного обладнання не звертають на те увагу.

Наприклад є процеси в яких:

- мішують сипкі матеріали, які безперервно подаються в змішувач за допомогою дозаторів. У цих випадках використовуються змішувачі безперервної дії.
- мішуються продукти, які загружають в строго заданім масовим співвідношенні, причому не треба виконувати повне розвантаження корпусу після кожного замісу, тобто припустимо щоб знову завантажений матеріал змішувався з остатками попереднього замісу. Наприклад – змішування будівельних матеріалів.
- мішуються продукти, які загружають в строго заданім масовим співвідношенні, причому треба виконувати повне розвантаження корпусу після кожного замісу, тобто неприпустимо щоб знову завантажений матеріал змішувався з остатками попереднього замісу. Наприклад – змішування харчових продуктів. Тобто треба, щоб було повне розвантаження корпусу змішувача та можливість його ретельної очистки.
- мішуються матеріали, точний склад яких не установлений, однак треба, щоб продукт був однорідний. Наприклад – змішуються партії барвника, якій вироблявся декілька змін. Потім всі партії змішуються та вводяться добавки, які доводять барвник до потрібної марки. Таки змішувачі називають усереднителями.
- виконується безперервне перемішування продукту, причому вимог до



однорідності продукту не ставиться. Єдина мета процесу – не допустити злежування. Таки змішувачі називають ворошителями. Часто усереднителі використовують також як ворошители. Для цього вони мають можливість міняти швидкість обертання ротора.

-

крім процесу змішування можливо також сумісно виконувати другі технологічні процеси, наприклад, підігрів або охолодження, сушку, проведення хімічних реакцій та інше. В такому разі змішувач можливо також називати реактором.

Перелік найбільш розповсюджених у наступний час змішувачів, приведений нижче, складений на основі літературних матеріалів та даних полічених з Internet.

Це слідує конструкції[1]:

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

Опис їх конструкцій наведено нижче.

Конкретний вибір конструкції змішувача залежить від таких умов:

- фізико-механічні характеристики матеріалів (сипучі незв'язні, сипучі зв'язні, пастоподібні з низькою в'язкістю, пастоподібні з високою в'язкістю.);
- великотоннажне виробництво або окремі невеликі партії;
- безперервний або періодичний процес;
- обсяг однієї партії матеріалу;
- та інше.

Сєверодонецька філія НДІХІММАШ розробила типові ряди змішувачів [4], а також методику вибору типу змішувача [14] на підставі визначення фізико-механічних характеристик сипких матеріалів.

## 1.1.Стрічкові

Змішувач складений з наступних одиниць - ротор, що обертається навколо горизонтальної осі в нерухомому корпусі, який має робочі елементи у вигляді стрічок, які переміщують матеріал уздовж осі корпусу - до центру по зовнішньому діаметру, від центру - ближче до осі ротора.

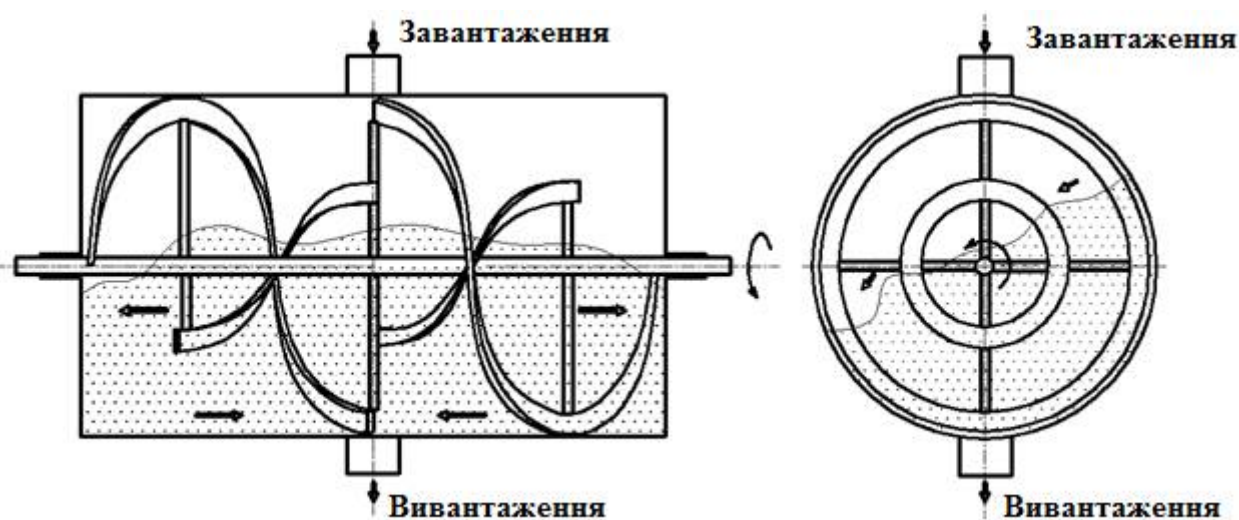


Рис.1.1. Стрічкові змішувачі

Рух матеріалу відбувається під дією ротора що обертається; як на поверхні сипучого матеріалу, пересипанням, так і в масі матеріалу; подрібнення компонентів значне; небезпечно змішання з кускових матеріалів - можливе заклинювання ротора; фізико-механічні характеристики змішуваних матеріалів значно впливають на опір обертанню ротора.

Мають середню інтенсивність змішування, яка залежить від частоти обертання ротора (зазвичай 10-20 об / хв). Для збільшення інтенсивності змішування потрібно нелінійне збільшення витрати енергії на змішання.

Оскільки корпус нерухомий, зручно організувати його завантаження і вивантаження.

Призначені для змішування добре сипучих матеріалів, а так само незначно зв'язкових не надто схильних до налипання на поверхні. Можливе приготування паст обмеженою в'язкості.

Завдяки простоті конструкції ці змішувачі дешеві та надійні. Можливо, це найбільш розповсюджена конструкція.

## 1.2.Плужні

Типова конструкція - ротор, що обертається навколо горизонтальної осі в нерухомому корпусі, який має робочі елементи у вигляді плужка, які переміщують матеріал по осі корпусу. На відміну від стрічкових змішувачів, частота обертання ротора на порядок вище (100-200 об/хв), відповідно, питома потужність приводу ротора на порядок вище, а час приготування суміші на порядок нижче.

Рух матеріалу відбувається під дією ротора що обертається, як на поверхні сипучого матеріалу розкиданням по поверхні, так і в масі матеріалу; подрібнення компонентів значне; фізико-механічні характеристики матеріалів впливають на опір обертанню ротора.

Призначені для змішування добре сипучих матеріалів, а так само незначно зв'язаних не надто схильних до налипання на поверхні. Можливо і приготування паст обмеженою в'язкості. Даний тип змішувача можливо легко уніфікувати з стрічковими.

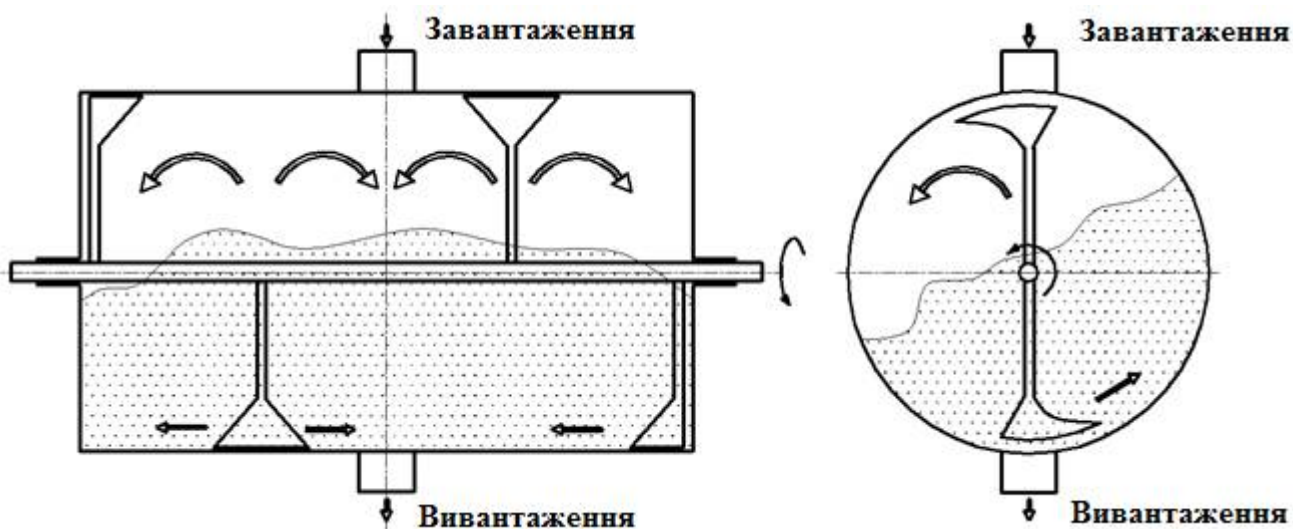


Рис.1.2 Плу́жні змішувачі

### 1.3. Планетарно-шнекові

Планетарно-шнекові змішувачі розроблені фірмою "Nauta" (Нідерланди). Вони широко поширені в світі. Подібні конструкції випускають інші фірми, а так же спільні с фірмою "Nauta" підприємства.

Перевагою цих змішувачів є невелика питома (на одиницю робочого об'єму) потужність приводу, малі обсяги застійних зон, можливість запуску змішувача після зупинки при заповненні корпусу зв'язковими сипучими матеріалами, висока ефективність змішування, низька питома металоємність, форма, зручна для вбудовування в технологічні лінії. Великі змішувачі встановлюються в отворі на другому поверсі або на естакаді, а внизу, біля розвантажувального затвора, багато вільного місця.

Класична конструкція, це вертикальний конічний корпус, в якому обертається шнек, який транспортує сипучий матеріал вгору. Верхній підшипниковий вузол шнека встановлений на водило, яке обертається навколо осі корпусу. Утворює шнека паралельна утворює конуса. Між корпусом і шнеком є зазор в декілька міліметрів. При русі матеріалу відбувається під впливом шнека відбувається його зрушення по корпусу, тому в зазорі немає застійних зон. Привід шнека зазвичай здійснюється зверху, через трансмісію, розташовану всередині водила. Завантаження матеріалу в корпус відбувається через люк, розташований у верхній кришці. Тиск в корпусі - атмосферний.

Фірма має великий досвід впровадження цієї конструкції в різні виробництва, має в своєму розпорядженні досвідченим цехом, в якому відпрацьовуються нові конструкції змішувачів, проводиться досвідчена перевірка їх придатності для конкретних технологічних цілей. При обертанні

шнек піднімає своїми витками матеріал вгору на поверхню, в які утворюються порожнини обсипається матеріал зверху.

Крім класичної конструкції, пропонуються численні модифікації з декількома шнеками, з стрічкової мішалкою, з диспергуючими головками, розташованими в поглибленнях корпусу, з двома або кількома конічними корпусами, розташованими один біля одного і сполученими в верхній частині між собою, змішувачі з сорочками для обігріву або охолодження корпусу, і т.д. Існують виконання, мають надлишковий тиск в корпусі до 6 надлишкових атмосфер або вакуум.

Змішувач найчастіше застосовується для незв'язних сипучих матеріалів. Можливо змішання матеріалів з невеликими добавками рідини. Якщо утворюються агломерати, то змішувачі оснащують диспергуючими головками, які руйнують їх. У деяких випадках можливе і перемішування паст невеликої в'язкості.

Часто ця конструкція змішувача використовується в якості усереднителя. Наприклад, якщо потрібно отримати однорідну партію барвників, одержуваних протягом кількох технологічних циклів. Природно, що в кожному з циклів виходять дещо відмінні відтінки барвників і їх необхідно змішати і отримати заданий колір (усереднити). Від усереднителів зазвичай не потрібна висока продуктивність, але необхідна висока однорідність суміші, можливість досить тривалого зберігання і надійна вивантаження. Усереднителі мають робочий об'єм, який необхідний для напрацювання партії однорідного продукту, змішувачі фірми «Nauta» за матеріалами каталогів мають обсяг корпусу до 30 м<sup>3</sup>. Іноді усереднителі виконують з двошвидкісним приводом. Висока швидкість застосовується в процесі змішування, а низька при зберіганні сипучого матеріалу, щоб запобігти злежуванню.

Проблемним вузлом даної конструкції є нижня опора шнека. В підшипники опори потрапляють змішуються матеріали. На жаль С.Ф. НДІХІММАШ не розв'язав цю проблему до кінця, нижня опора працює надійно далеко не для всіх змішуються матеріалів. Радикальним вирішенням цієї проблеми є застосування консольного шнека, закріпленого на водію. Нижньої опори у шнека в цьому випадку немає, а все осьові і радіальні навантаження сприймає верхня опора шнека і водило. Така конструкція застосовується на змішувачах невеликого розміру. Змішувач ПШ-1 має саме таку конструкцію. Відомі змішувачі фірми "Nauta" виконуються з консольними шнеками при обсязі корпусу в кілька м<sup>3</sup> (до 3 м<sup>3</sup>, судячи з рекламних матеріалів).

Можливі й інші рішення цієї проблеми, наприклад, подача газу під надлишковим тиском в порожнину між ущільненнями і підшипниками нижньої опори. Природно, що в цьому випадку необхідно відводити невелика кількість газу з корпусу змішувача.

Кут підйому витків шнека рекомендується приймати рівним 17° (цей кут повинен бути менше кута зовнішнього тертя між сипучим матеріалом і поверхнею шнека).

В одній з конструкцій планетарно-шнекового змішувача був застосований шнек з великим кутом підйому гвинтової лінії. Це призвело до заклинювання ротора при завантаженні корпусу приблизно до половини його висоти. Після заміни вищезгаданого шнека на інший, зі звичайним кутом підйому гвинтової лінії проблема була знята.

Кут нахилу твірної корпусу до його осі рекомендується приймати рівним 17°. Такий кут має переважна більшість корпусів.

Зниження металоємності конструкції можливо за рахунок виготовлення суцільнозварних корпусів. Фірма "Nauta" випускає змішувачі з



такими корпусами. Звичайно, виникають деякі незручності при установці водила і шнека. Доводиться монтувати водило і шнек через верхній люк, на кришці робляться додаткові монтажні штуцери, але ці складності компенсуються зниженням металоємності машини, зменшенням габаритних розмірів і, як наслідок, собівартості. Як показала практика обслуговування цих змішувачів, демонтаж і монтаж водила і шнека під час ремонту все одно простіше здійснювати без розбирання фланця з'єднує кришку і корпус. Саме так вони і виробляються практично.

Затвор змішувача розташовується в нижній частині корпусу. Він призначений для повного вивантаження змішувача. Часткове розвантаження змішувача вимагає застосування затвора спеціальної конструкції.

На жаль, заводи, що випускали раніше змішувачі ПШ, припинили їх випуск (Глазовский завод, Сумське ВО ім. Фрунзе).

Завод «Дімітровградхіммаш» освоїв виробництво змішувача ПШ-1 з консольним шнеком (Номінальний обсяг камери змішувача - 1 м<sup>3</sup>) [1]. Мабуть, недоліком цього змішувача можна вважати застосування нестандартних редукторів в приводі шнека і водила. Таке рішення дозволяє зробити конструкцію більш компактною, проте підвищує трудомісткість виготовлення і вартість машини, знижує її ремонтпридатність.

Альтернативою планетарно-шнековим змішувачів можуть служити стрічковий і змішувач з вертикальним конічним корпусом. Останній змішувач має усічений конічний корпус, розширюється догори. Кут конусності невеликий 5-10 °. Усередині корпусу обертається вертикальний ротор з стрічками, що транспортують матеріал вгору. Між стрічками і корпусом є невеликий зазор.

С.Ф. НІХімаш виготовив модель такого змішувача. Його корпус був прозорим, що дозволяло спостерігати рух в ньому сипучого матеріалу. Цей

змішувач добре показав себе при змішуванні незв'язних добре сипучих матеріалів. Спостерігалось досить інтенсивний рух сипучого матеріалу вгору, під дією гвинтових стрічок біля корпусу і зсипання вниз по центру корпусу. У той же час при змішуванні зв'язкових матеріалів, що мають невеликий насипний вагу спостерігалось малоінтенсивне рух або повна його відсутність - матеріал обертався разом з ротором.

Перевагою конструкції в порівнянні з планетарно-шнековими змішувачами є простота приводу (немає водила).

Згодом був спроектований, виготовлений і поставлений на виробництво один зразок такого змішувача робочим об'ємом 0,63 м<sup>3</sup> для приготування сумішей карбонільного заліза. Карбонільное залізо являє собою дрібнодисперсний залізний порошок, який застосовується для виготовлення сердечників електричних котушок. Він має велику насипну масу.

Змішувач успішно пройшов приймальні випробування і працює в даному виробництві. При вивантаженні змішаного матеріалу через затвор, розташований в нижній частині корпусу невелика його кількість залишалось на стрічках ротора і в зазорі між стрічкою і днищем. Решту матеріалу при наступному замісі змішувався з матеріалом з нового завантаження, тому ця обставина не перешкоджало експлуатації змішувача.

Відомий випадок застосування апарату з вертикальним циліндричним корпусом і стрічкової мішалкою для змішування високов'язкого продукту, по консистенції нагадує мед. Змішання компонентів в ньому відбувалося надзвичайно повільно, тривало кілька годин. Дослідження інтенсивності змішування вироблялося шляхом реєстрації випромінювання від радіоактивного порошку, доданого в продукт. Датчики були розташовані на зовнішній поверхні корпусу апарату [1].

С.Ф. НДІХІММАШ виготовив модель змішувача з вертикальним циліндричним корпусом і двома шнеками, що мають нахил по ходу обертання водила. Передбачалося, що такий змішувач може працювати без приводу водила. Обертання водила мало здійснюватися за рахунок реакції матеріалу, що діє на похилі шнеки. Випробування моделі не підтвердило це припущення, тобто ніяких переваг в порівнянні з традиційною конструкцією планетарно-шнекового змішувача він не має. До того ж залишилася невирішеною проблема з нижніми опорами, яких в даній конструкції стало вже дві.

Основні елементи планетарно-шнекового змішувача: конічний корпус, циліндричний похилий шнек, що обертається одночасно навколо своєї осі і осі корпусу. Для здійснення такого режиму руху шнека служить водило, на якому шнек закріплений і через яке проходить привід шнека.

Ці змішувачі зазвичай мають порівняно невисоку інтенсивність змішування і питому потужність приводу шнека і водила. Характерно відсутність застійних зон і повне вивантаження матеріалу з корпусу після замісу. Конічна форма корпусу часто виявляється зручною при компонуванні технологічної лінії.

Призначені для змішування сипучих матеріалів. Можливе приготування паст обмеженої в'язкості.

У трьох вищезгаданих конструкціях іноді виникає необхідність подрібнення агрегатів, що утворюються при змішуванні. У цьому випадку застосовуються подрібнюючі головки, що представляють собою швидкохідні обертові елементи, зазвичай безпосередньо з'єднані з ротором електродвигуна.

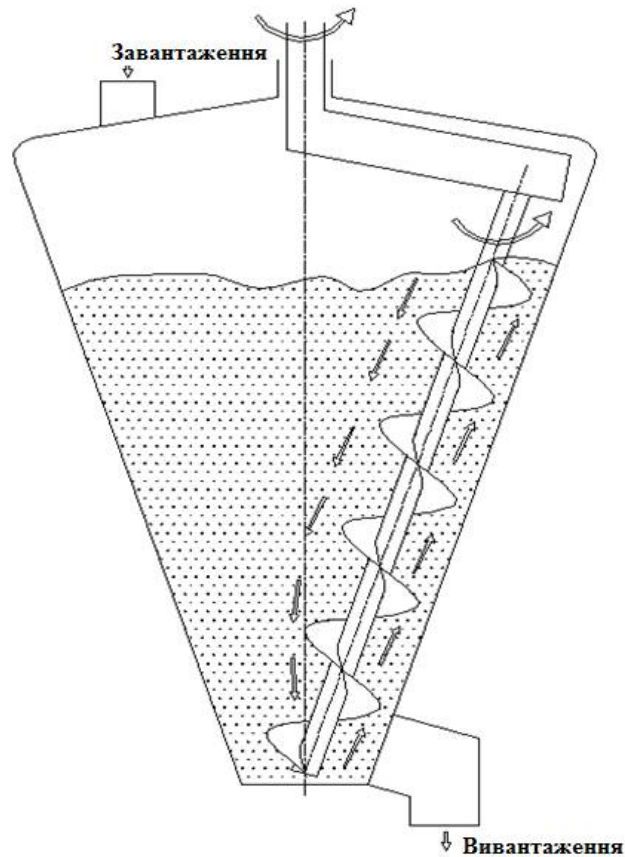


Рис.1.3. Планетарно-шнекові змішувачі

Ці змішувачі є також дуже розповсюдженими. В даній роботі цим змішувачам з вертикальним ротором уділяється найбільша увага.

### 1.3.1. Планетарно-шнекоізмішувачищо розроблені С.ф.НДІхіммаш

С.ф.НДІхіммаш розроб тіпорозмірній ряд планетарно-шнекові змішувачів з робочими об'ємами 0,63; 1,6; 3,2; 6,3; 10; 16 м<sup>3</sup> [4].

Вони призначені для змішування і усереднення партій сипучих матеріалів розміром частинок не більше 5 мм, насипною щільністю не більше 1300 кг / м<sup>3</sup>.

Змішувачі обсягами 1,6; 3,2; 6,3; 10; 16 м<sup>3</sup> є змішувальну камеру конічної форми (рис.1.3.1.-1), всередині якої розташовані один або два шнека: центральний, змонтований по осі камери змішувача (встановлений на деяких конструкціях), і похилий, встановлений уздовж твірної конуса (у змішувача з робочим об'ємом 0,63 м<sup>3</sup> - один шнек - похилий). Центральний шнек

закріплений консольно, похилий - нижнім кінцем з'єднаний з опорою, а верхнім за допомогою муфти прикріплений до водив.

Індивідуальні приводи шнеків розташовані на кришці камери змішувача. Обертання шнеків навколо власних осей - від приводу, що складається з мотор-редуктора або електродвигуна і редуктора. Обертання водила - від мотор-редуктора через муфту і червячну передачу.

Матеріал завантажують через штуцери, розташовані на кришці; вивантаження продукту - через розвантажувальний клапан, що приводиться в дію пневмоцилиндрами.

Змішувачі, що комплектуються електроустаткуванням у вибухозахищеного виконання, призначені для установки у вибухонебезпечних приміщеннях зони класу В-Іа по ПУЕ-76.

Середовище в камері змішувача для змішувача виконання НБУ-некорозійні, не вибухонебезпечне; НБК-корозійна, не вибухонебезпечне; ВБУ - некорозійні, вибухонебезпечна, категорії і групи ІІА-Т4 по ГОСТ 12.1.011-78; ВБК - корозійна, вибухонебезпечна, категорії і групи ІІА-Т4 по ГОСТ 12.1.011-78.

## Змішувач ПШ-6300

Як приклад розглянемо конструкцію і технічні характеристики змішувача ПШ-6300 (ріс.1.3.1.-1).

Технічна характеристика

Обсяг змішувальної камери, м<sup>3</sup>:

номінальний 10

робочий, не більше 6,3

Робочий тиск, МПа, не більше:

в камері змішувача 0,002

в пневмоциліндрах 0,6

Робоча температура, ° С, не більше 45

Частота обертання, об / хв:

шнеків навколо власної осі 59

води 1,68

Мотор-редуктор приводу:

шнеків:

тип: для виконань НБУ і НБК МП02-15ВК-24,6-

11 / 59-4A132M4

для виконань ВБУ і ВБК МП02-15ВК-24,6-

11/59-B132M4

потужність, кВт 11

частота обертання електродвигуна,

об / хв 1500

води:

тип:

для виконань НБУ і НБК МПО2-10Ф-28,2-

3 / 48-4A100S4

для виконань ВБУ і ВБК МПО2-10Ф-28,2-

3/48-B100S4

потужність, кВт 3

частота обертання електродвигуна,

об / хв 1500

Привід розвантажувального затвора пневмоциліндр

1412-100x200

Габаритні розміри, мм:

довжина 3165

ширина 3165

висота Н:

для виконань НБУ і НБК 6806

для виконань ВБУ і ВБК 6840

Маса, кг:

загальна:

для виконання НБУ 4950

для виконання НБК 4950 (5897) \*

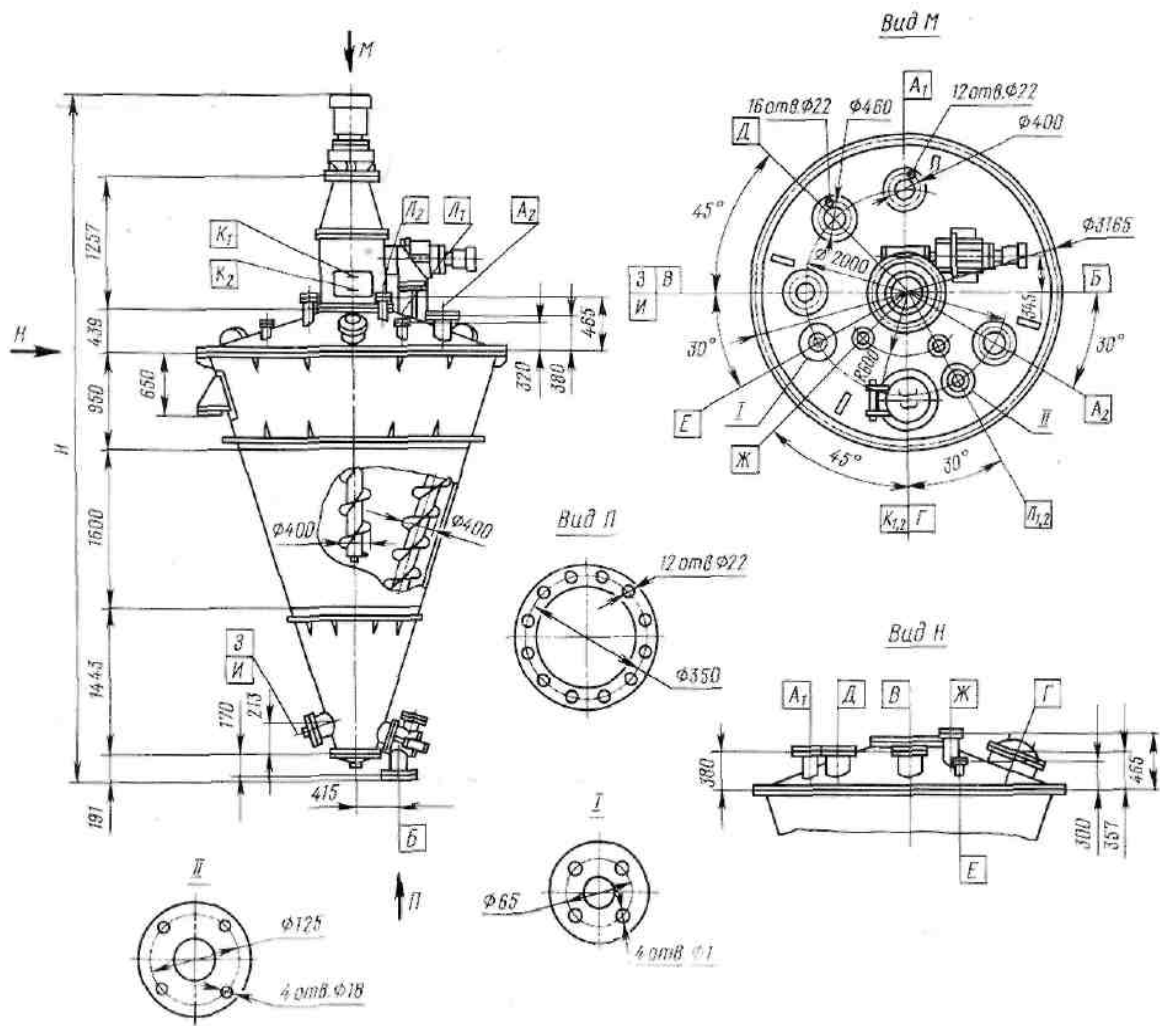
для виконання ВБУ 5100

для виконання ВБК 5100 (5935) \*

в тому числі корозійностійкої сталі

для виконань НБК та ВБК 4750 (1810) \*

\* Для виконання з двошарової сталі.



План розташування отворів під фундаментні болти

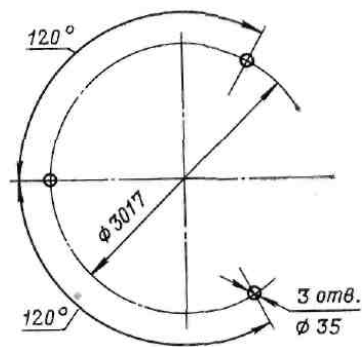


Рис. 1.3.1-1. Габаритні та приєднувальні розміри змішувача ПШ-6300



Таблиця штуцерів

Позна-чення	Призначення	Количе-ство	Умовний прохід, D <sub>y</sub> , мм	Умовний ти-ск, МПа
A <sub>1,2</sub>	Завантаження матеріалу	2	300	0,1
Б	Вивантаження продукта	1	250	0,1
В	Для вентиляції	1	300	0,1
Г	Люк	1	600	0,25
Д*	Резервний	1	350	0,1
У	Вхід азота	1	15	0,1
Ж	Вихід повітря	1	50	0,1
З	Люк	1	250	0,1
И	Для пробовідбірника	1	40	0,1
К <sub>1,2</sub>	Для продувки	2	M36x2	0,1
Л <sub>1,2</sub>	Резервний	2	50	0,1

\* Для змішувачів виконань ВБУ і ВБК - розривна мембрана

### **Змішувач ПШ-1**

Призначений для змішування і усереднення партій сипучих матеріалів розміром частинок не більше 5 мм, насипною щільністю не більше 1300 кг / м<sup>3</sup>.

Змішувач являє собою змішувальну камеру конічної форми. Усередині камери уздовж твірної конуса консольно встановлений шнек, який верхнім кінцем за допомогою муфти з'єднаний з валом водила (Рис. 1.3.1-2).

Привід шнека змонтований на кришці камери змішувача. Обертання шнека навколо власної осі - від приводу, що складається з мотор-редуктора або електродвигуна і редуктора, а обертання водила - від мотор-редуктора через муфту і червячну передачу.

Призначений для змішування і усереднення партій сипучих матеріалів розміром частинок не більше 5 мм, насипною щільністю не більше 1300 кг / м<sup>3</sup>.

Змішувач являє собою змішувальну камеру конічної форми. Усередині камери уздовж твірної конуса консольно встановлений шнек, який верхнім кінцем за допомогою муфти з'єднаний з валом водила (Рис. 1.3.1-2).

Привід шнека змонтований на кришці камери змішувача. Обертання шнека навколо власної осі - від приводу, що складається з мотор-редуктора або електродвигуна і редуктора, а обертання водила - від мотор-редуктора через муфту і червячну передачу. Кліматичне виконання змішувача - УЗ по ГОСТ 15150-69.

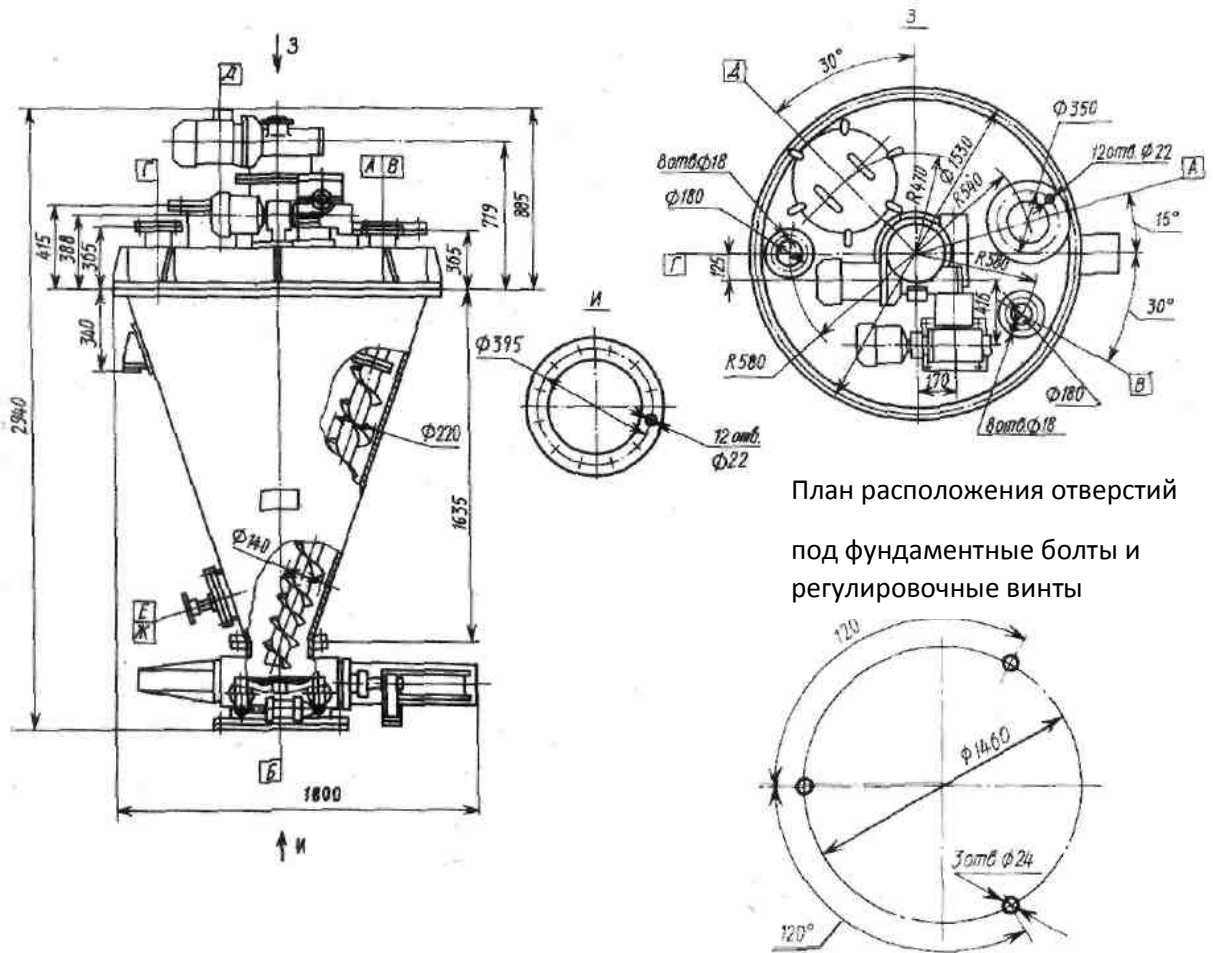


Рис.1.3.1-2.Змішувач ПШ-1

Таблица штуцерів

Позна-чення	Призначення	Кол.	Умовний прохід, $D_y$ , мм	Умовний ти ск $P_y$ , МПа
А	Завантаження сипких компонентів	1	250	0,1
Б	Вивантаження готвого продукта	1	250	0,1
В	Резервний	1	100	0,1
Г	Резервний	1	100	0,25
Д	Люк	1	350	0,1
Е	Люк	1	15	0,1
Ж	Для відбіра проб	1	50	0,1

Технічна характеристика

Обсяг змішувальної камери, мЗ:

номінальний 1

робочий 0,63

Коефіцієнт заповнення змішувальної камери. 0,5-0,8

Робочий тиск, МПа, не більше:

в камері змішувача 0,002

в пневмосистемі 0,4 - 1

Робоча температура в змішувальній

камері, ° С. від 0 до +45

Тип електродвигуна:

приводу шнека АІМ90L4

приводу водила В71В4

Потужність електродвигуна, кВт:

приводу шнека 2,2

приводу водила 0,75

Частота обертання, об / хв:

шнека 120

водида 3,663

Габаритні розміри, мм 1800x1530x2940

Маса без автоматики, кг, не більше:

загальна:

для виконання 14У-01 1100

для виконання 14К-02 1070

для виконання 14К-03 1060

в тому числі корозійностійкої сталі 610

ПШ-1 є модифікованим виконанням змішувача ПШ-0,63. Принциповою відмінністю є: консольний шнек, шиберний розвантажувальний затвор, привід з черв'ячними редукторами. Консольний шнек працює набагато надійніше, ніж шнек з нижньою опорою. Шиберний затвор дозволяє проводити часткову вивантаження суміші. Черв'ячні приводи шнека і водила спеціальної конструкції дозволили знизити масу змішувача і рівень шуму.

#### **1.4.Відцентрові**

Особливість конструкції - вертикальний нерухомий корпус, в нижній частині якого обертається ротор з вертикальною віссю. Ротор має лопаті, які впливають при обертанні на матеріал таким чином, що він весь знаходиться в підвішеному стані над обертовим ротором. Зазвичай матеріал обертається під дією лопатей з невеликою швидкістю (у багато разів нижче швидкості обертання ротора), має форму подібну тору. У нижній частині тора відбувається надзвичайно активне змішання, матеріал піднімається уздовж корпусу вгору і потім зсипається до середнього отвору тора. Матеріал знаходиться в стані віброожіження. Інтенсивність змішання в такому режимі надзвичайно висока, змішання закінчується за 1 - 2 хвилини.

Застосовуються й інші режими роботи змішувача, коли матеріал циркулює по всьому об'єму корпусу змішувача. Режим роботи залежить від конструкції ротора і частоти його обертання [1].

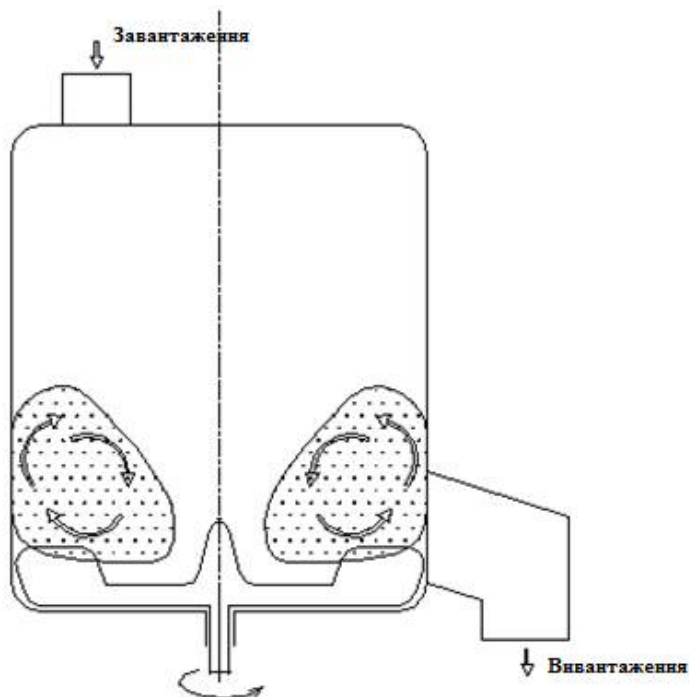


Рис.1.4. Відцентрові змішувачі

Вони призначені для змішування добре сипучих матеріалів, можна з невеликими добавками рідин.

Інтенсивність змішання в цих змішувачах рекордна, тому застосовують їх або для отримання дуже однорідної суміші або там, де потрібна висока продуктивність.

У цих змішувачах відбувається повне вивантаження суміші через бічний затвор, розташований в циліндричній частині корпусу над лопатями, всі частинки видуваються з корпусу потоком повітря, який створюють лопаті.

### 1.5. Двороторні

Це новий перспективний тип змішувачів що згоден для приготування як добре сипучих матеріалів, так і зв'язаних, а також пастоподібних невеликої в'язкості [12]. Він має можливість взаємоочищення лопатей.



Рис. 1.5.1 Двохроторний змішувач фірми SHENGLI (Китай)



Рис. 1.5.2 Робочі ротори змішувача. Вид з гори

### 1.6. Двохроторні з Z-подібними лопатями

Особливість конструкції - наявність двох розташованих горизонтально роторів з паралельними осями. Ротори мають форму, призначену для роботи з високов'язкими матеріалами. Конструкції роторів можуть бути різні. В Сєвєродонецької філії НДІХІММАШ найчастіше застосовували Z-образні ротори, тому за цим типом змішувачів і закріпилася така назва [1].

Ротори обертаються з різними частотами обертання.

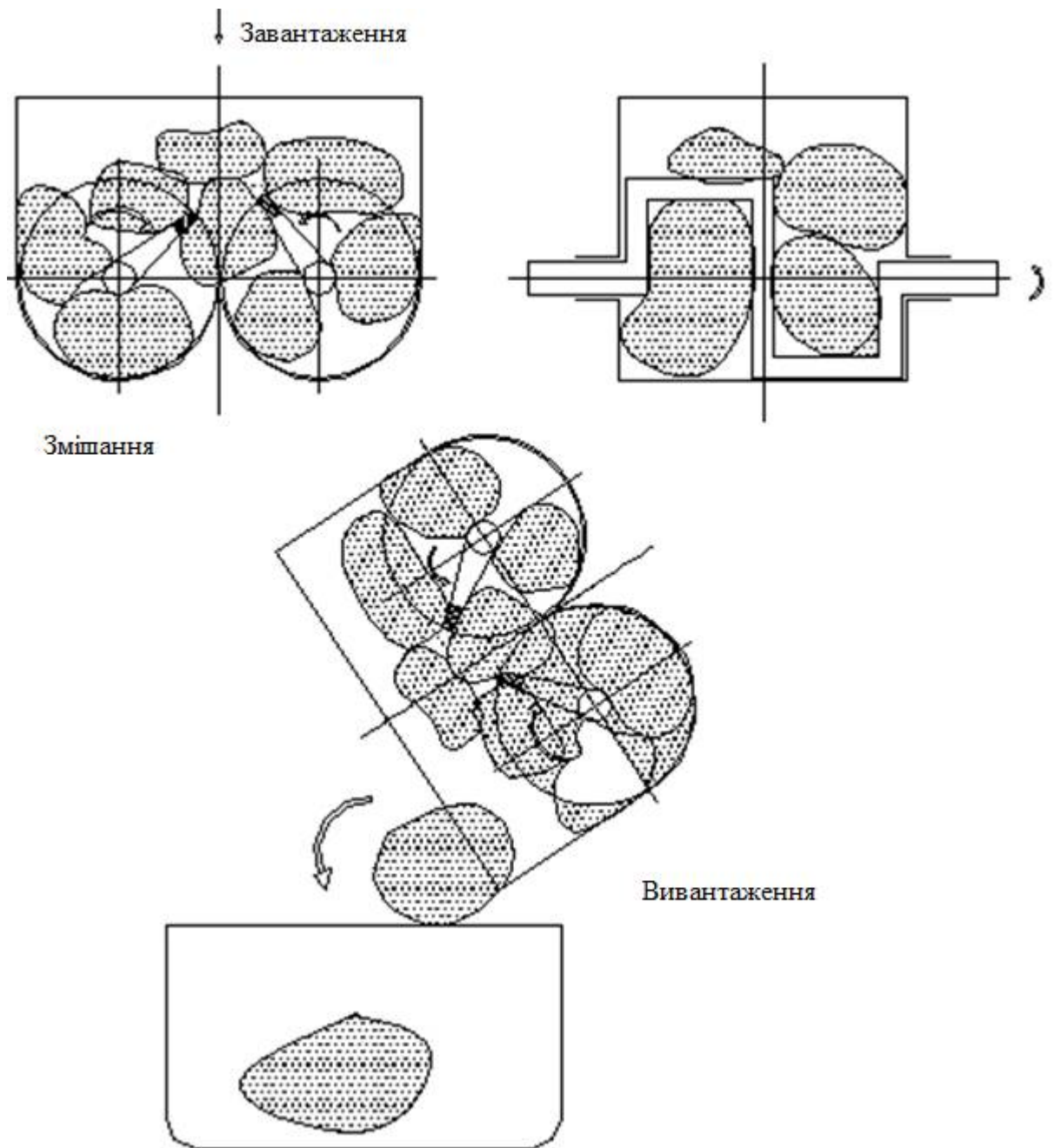


Рис.1.6. Змішувачі з Z-подібними лопатями



Ці змішувачі здатні виробляти змішання як сипучих матеріалів, так і паст, а також можуть застосовуватися в процесах отримання паст із сипучих матеріалів при додаванні в них рідин. Змішувачі універсальні, працюють в дуже складних умовах, коли змінюються фізико-механічні параметри суміші від сипучого матеріалу до пастоподібного з високою в'язкістю і здатністю до налипання на ротори та корпус. Конструкція роторів і різна їх частота обертання (тертя) сприяють взаємному очищенню лопатей і корпусу в процесі змішування. Ці змішувачі універсальні, вони можуть замінити вищеописані змішувачі для сипучих матеріалів і практично всі змішувачі для паст. Однак за цю універсальність доводиться платити значним ускладненням і подорожчанням конструкції.

Процес змішування відбувається порівняно повільно, але однорідність отриманої пастоподібної суміші може бути високою.

Потужність приводу залежить від властивостей одержуваних продуктів. Найбільш потужні приводи використовуються для отримання розплавів полімерів, паст для пресування гальмівних колодок і т.п.

Вивантаження отриманої суміші, зазвичай пастоподібної, відбувається шляхом перекидання корпусу навколо осі одного з роторів при оберту роторів, шляхом гравітаційного вивантаження суміші з корпусу в піддон. Повного вивантаження досягти зазвичай не вдається, 10-20% суміші залишається налиплими на роторах і корпусі змішувача. Ці залишки можуть бути розмішені при подальшому замісі, якщо це допустимо, якщо немає, то доводиться застосовувати ручну очистку за допомогою скребоків. Їх застосування виправдане при проведенні складних процесів: змішання паст або приготування паст із сипучих компонентів.

### 1.7. Двороторні з Z-подібними лопатями і розвантажувальним шнеком

Конструкція роторів змішувача аналогічна наведеної вище, але в нижній частині корпусу між роторами розташований шнек. Шнек служить для додаткової циркуляції компонентів при змішуванні і для вивантаження суміші. При вивантаженні суміші напрямок обертання шнека такий, що суміш виводиться з корпусу шнеком, а при змішуванні направляє суміш в корпус.

Призначення аналогічно попередньої конструкції. Істотною перевагою змішувача з розвантажувальним шнеком є можливість керованого розвантаження через шнек, кращі умови роботи для обслуговуючого персоналу, можливість екструдувати пастоподібних сумішей або рівномірної подачі пастоподібних або сипучих сумішей.

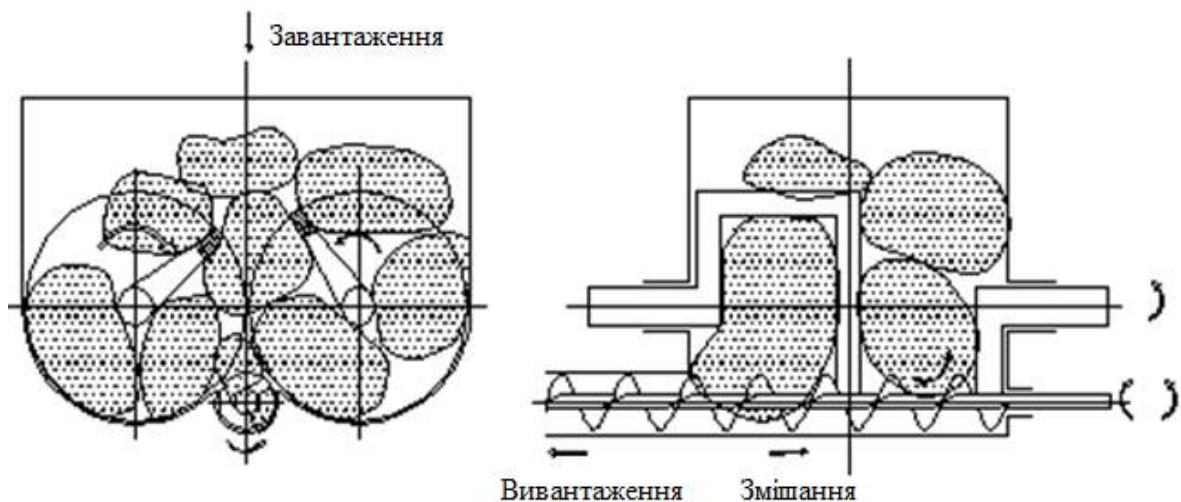


Рис.1.7. Змішувачі з Z-подібними лопатями і розвантажувальним шнеком

Корпус змішувача нерухомий, тому і завантаження та розвантаження його так само полегшується. З іншого боку, ручна очистка корпусу і роторів, в разі такої необхідності, ускладнюється в порівнянні з попередньою конструкцією, приведеної в розділі 1.6.

## 1.8. Барабанні

Ці змішувачі використовуються для виконання змішування сухих сипких матеріалів, та матеріалів, що містять небагато рідини. Вони мають перевагу в тому, що мало подрібнюють матеріал, та не чуйні до коефіцієнту тертя, відсутні застійні зони. До недоліків слід віднести низку інтенсивність змішування, схильність до сегрегації компонентів.

Форми корпусів можуть бути різноманітні, наприклад, приведені на рис.1.8.1.

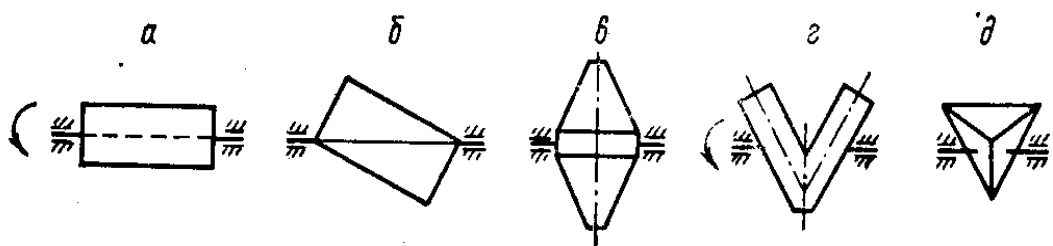


Рис. 1.8.1 Форми корпусів барабанних змішувачів



Рис 1.8.2. Змішувач типа «п'яна бочка», ООО "ХІММІКС" (Україна)

Змішувач "П'яна бочка" застосовується для швидкого та якісного змішення сухих, сипких, порошкоподібних, гранульованих матеріалів і компонентів, а так же для опудрювання.

Змішувачі такого типу ефективні для змішування багатокомпонентних продуктів, в состав яких входять компоненти с хрумкої структурою.

Нагадуємо, що це далеко не всі використані конструкції в техніці, або на думку автора найбільш розповсюджені.

## **2 Ціль та задачі досліджень**

В умовах ринкових відносин необхідно переконатися в тому, що випуск продукції дасть економічний ефект. Тому слід визначити потребу в даній продукції для передбачуваного ринку збуту, розробити раціональну номенклатуру виробів типорозмірного ряду, застосовуючи при цьому принципи стандартизації і уніфікації, оцінити собівартість виробів у виробника, оцінити вартість виробів на передбачуваному ринку, оцінити очікуваний прибуток, зробити висновок про доцільність організації серійного випуску даних виробів. Слід прагнути до серійного випуску виробів, оскільки загально визнано, що собівартість одиничних зразків обходиться на порядок дорожче.

Виходячи з вищевикладеного необхідно розглянути конструкцію одного з представників типорозмірного ряду змішувачів, в даній роботі це планетарно-шнековий змішувач з робочим об'ємом  $6,3 \text{ м}^3$ . Визначити конкурентоспроможність продукції та шляхи до її улущення тобто, зниження енергетичних витрат на змішання, зниження металоємності

машини, збільшення її надійності і зручності обслуговування. Для порівняння використані дані з каталогу [4]Інтернеті.

Після проектування необхідно встановити масу витрачених матеріалів, трудомісткість виготовлення, витрати виробника (собівартість).

Вартість аналогічних по конструкції машин на ринку України взяті з відкритих джерел (Інтернет).

У даній роботі запропоновані емпіричні методи розрахунку технічних параметрів машин виходячи з досвіду експлуатації серійно випускаються змішувачів конструкції Сєвєродонецького НДІхіммаш.

### **3.Експериментальне дослідження енергетичних витрат в апаратах з вертикальним ротором**

Для дослідження енергетичних витрат в апаратах з вертикальним ротором був застосований електричний перфоратор РИТМ ПЭ-1500 Е.



Рис. 3-1 Електричний перфоратор РИТМ ПЭ-1500 Е

Технічні характеристики перфоратора РИТМ ПЭ-1500 Е:

Споживана потужність, Вт	1500;
Напруга/Частота, В/Гц	220/50;
Швидкість ненавантаженого ходу, об/хв.	0-800;
Маса, кг	7

При використанні перфоратора в якості привода він робив в режимі свердління (без удару).

Для вимірювання частоти обертання ротора був використаний вело комп'ютер ASSIZEAS-820.

Магніт, що є необхідним для вимірювання частоти обертання кріпиться на патроні дрилі. Магнітний датчик кріпиться на корпусі дрилі.



Рис. 3-2. Вело комп'ютер ASSIZEAS-820

Цій комп'ютермає функцію відображення частоти обертання колеса, яка і використовувалася в даній роботі.

Вимірюєма частота обертання об/хв. 0-3600.



Для вимірювання витрат енергії в процесі змішування був використаний ватметр PZEM-021. Цей ватметр застосовується для виміру потужності підключеного активного навантаження.

Він єдино терміново відображає 4 параметри вимірювання:

- 1 Напругу в сети (В)
- 2 Сила току перемінного (А)
- 3 Активну споживану потужність (Вт)
- 4 Рахунок споживаної енергії (Вт\*год )



Рис. 3-3. Ватметр PZEM-021

Характеристики:

Живлення: 80 - 260В-переменного току

Частота: 50 Гц

Потужність: 4.5кВт

Максимальний вимірний струм: 20 А

Діапазон відображення електроенергії: до 9999.9 кВт/ч

Розміри: 84.6 x 44,6 x 24.4 мм

В лабораторії кафедри МОПП були проведені експериментальні роботи по визначенню енерговитрат на перемішування сухого піску. При проведенні експериментів використовувався сухий пісок Сєверодонецького кар'єра. Шнек з зовнішнім діаметром вітків 40 мм забуривался на певну глибину. Було проведено дві серії експериментів, кут нахилу шнека к вертикалі в яких був 0 і 17 градусів.



Рис. 3.4. Експериментальна установка для дослідження змішувачів з вертикальним ротором

При проведенні експериментальних робіт по вивченню розподілу ключового компонента - чавунної тирси в основному компоненті - піску були використані матеріали з наступними приблизно фізико-механічними характеристиками (для точного визначення НЕ було відповідного обладнання).



Пісок: насипна маса - 1600 кг / м<sup>3</sup>; середній розмір частинок - 0,15 мм; середньоквадратичне відхилення розмірів частинок -0,1 мм; кут природного укосу - 34 °; вологість - 0%.

Чавунні тирсу: насипна маса - 3350 кг / м<sup>3</sup>; середній розмір частинок - 0,4 мм; середньоквадратичне відхилення розмірів частинок -0,15 мм; кут природного укосу - 42 °; вологість - 0%.

Результати вимірювання витрати енергії приводу і розрахунків потужності, споживаної на перемішування наведені в табл.3.1.

Потужність холостого ходу приводу при  $n_{xx} = 330$  об / хв дорівнювала  $N_{xx} = 110$  Вт.

Потужність, споживана на перемішування при  $n_{xx} = 330$  об / хв. , Визначалася за формулою

$$N_n = \frac{N_u * 330}{n} - N_{xx}, \text{ Вт} \quad (3.1.1)$$

де:  $N_u$  - виміряна потужність при перемішуванні, Вт;

$N_{xx} = 110$  - потужність холостого ходу, Вт;

$n$  - частота обертання шнека при перемішуванні, об / хв;

$n_{xx} = 330$  - частота обертання шнека на холостому ходу, об / хв.

Таблиця 3.1. Результати вимірювання витрати енергії приводу і потужності, споживаної на перемішування

№ п/п	$\alpha$ , градус	Глибина занурення шнека, $h$ , мм	Виміряна потужність, $N_u$ , Вт	Частота обертання шнека, $n$ , об/мин	Мощність, споживана на перемішування, $N_n$ , Вт
1	0	90	120	300	22,0
2	0	180	130	300	33,0
3	0	270	125	280	37,3
4	17	90	110	250	35,2
5	17	180	115	250	41,8

6	17	270	120	250	48,4
---	----	-----	-----	-----	------

### 3.1. Дослідження енергетичних витрат в планетарно-шнекових змішувачах

Науково-дослідні роботи на цю тему були в проведені в Сєвєродонецької філії НДІхіммаш, яка була головною по змішувачам для сипких матеріалів в міністерстві хімічного машинобудування. Були опубліковані в науково-технічних журналах результати як теоретичних досліджень, так і результати обслідування змішувачів на підприємствах.

Слід відмітити, що багаточисленні фірми, які займаються розробкою та виготовленням змішувачів, також проводять ці роботи, однак їх результати не публікують.

Однією з проблем, що виникають при проектуванні планетарно-шнекових змішувачів є відсутність надійної методики розрахунку моменту опору обертанню шнека, осьових навантажень діючих на нього, витрати енергії на перемішування. У цьому розділі пропонується методика розрахунку цих величин [2].

Для побудови математичної моделі навантажень, що діють на шнек, розіб'ємо рухається уздовж його осі безперервний потік сипучого матеріалу на елементарні шари, що мають висоту  $dL = \frac{dh}{\cos \alpha}$ , діаметр  $D_s$ , рівний зовнішньому діаметру вітків шнека.

На виделений шар сипкого матеріалу що підіймається по шнеку, діють наступні сили: його вес -  $dG$ , сила тертя, що виникає на циліндричній поверхні при обертанні шнека, -  $dF$ , сила дії витка шнека -  $dP$ . Сила  $dF$  залежить від тиску сипкого матеріалу на циліндричну поверхню елемента. Усі сили рахуємом прикладені в одній крапці на відстані  $D_s/2$  від шнека. Вісь шнека нахилена к вертикальній осі конічного корпусу під кутом  $\alpha$ , рівним

половинікутапри вершині конуса. На Рис. 3.1-1 приведена схема, пояснюча простірноє розташування цих сил.

Сипкий матеріал має наступні фізико-механічні характеристики: насипну масу –  $\rho_n, \text{кг/м}^3$ , кут внутрішнього тертя –  $\varphi$ , кут зовнішнього тертя –  $\varphi_e$  [14].

Рівняння рівноваги діючих по осі сил, Z

$$\sum Z = dF \cdot \cos(\theta + \varphi_e) + dG \cdot \cos \alpha - dP \cdot \cos \gamma = 0, \quad (3.1-1)$$

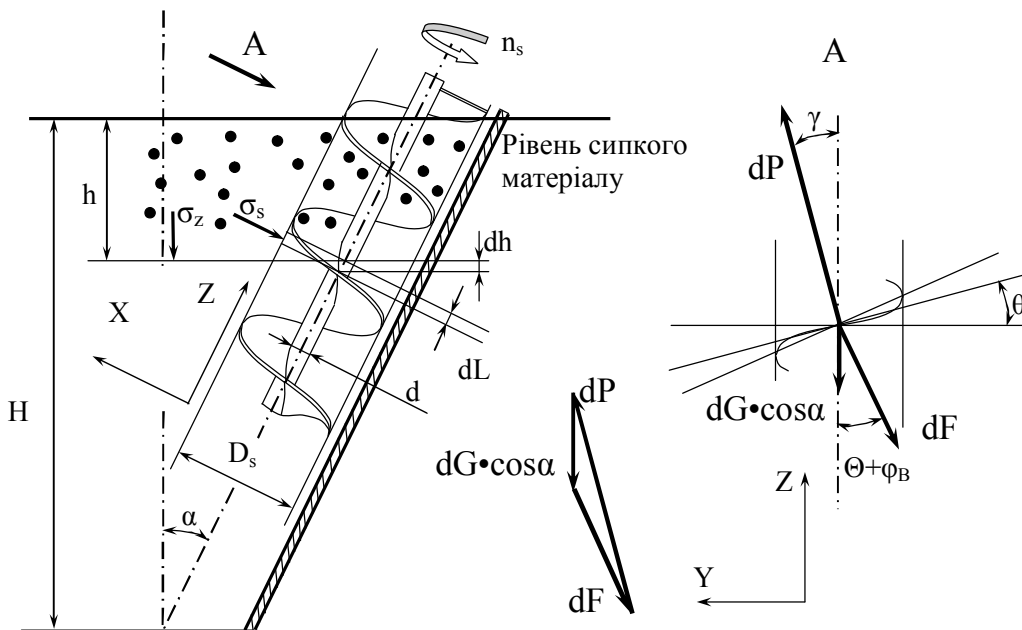


Рис. 3.1-1. Схема сил, що діють на шар сипучого матеріалу, що піднімається по шнеку

де  $\theta$  – кут підйому зовнішньої кромки витка шнека.

З цього рівняння отримуємо залежність

$$dP = \frac{dF \cdot \cos(\theta + \varphi_e) + dG \cdot \cos \alpha}{\cos \gamma}, \text{ Н.} \quad (3.1-2)$$

Кутів цих рівненнях

$$\gamma = \arctg\left(\frac{dF \cdot \sin(\theta + \varphi_s)}{dG \cdot \cos \alpha + dF \cdot \cos(\theta + \varphi_s)}\right), \text{ рад.} \quad (3.1-3)$$

Питання про те, який тиск діє на циліндричну поверхню елементарного шару залишається відкритим, але можна припустити, що воно дорівнює вертикальному тиску сипучого матеріалу на глибині  $h$ .

$$\sigma_s = \sigma_z, \text{ Па.} \quad (3.1-4)$$

Сила тертя, що діє на циліндричну поверхню шару дорівнює

$$dF = \pi \cdot D_s \cdot \frac{dh}{\cos \alpha} \cdot \text{tg} \varphi \cdot \sigma_s, \text{ Н.} \quad (3.1-5)$$

Вага слоя

$$dG = \pi \cdot \rho_n \cdot g \cdot \frac{(D_s^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{dh}{\cos \alpha}, \text{ Н.} \quad (3.1-6)$$

где  $d$  – діаметр вала шнека, м.

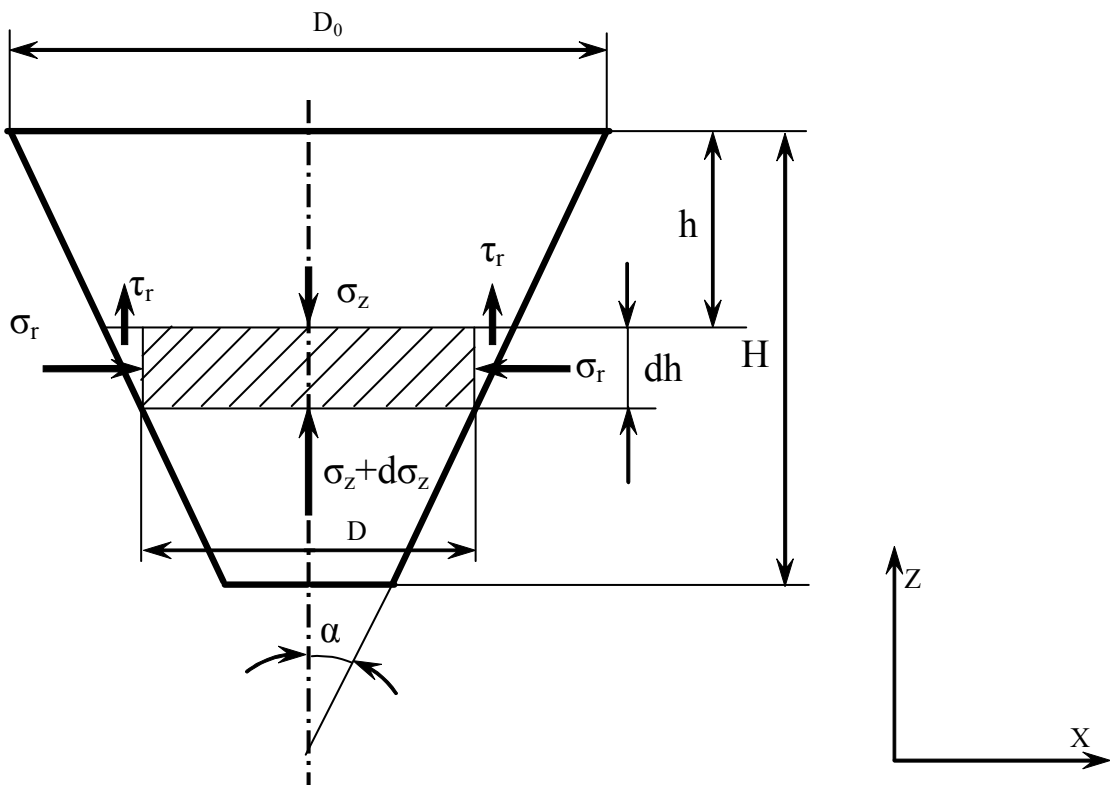


Рис.3.1-2. Схема сил, що діють на елемент сипучого матеріалу, що знаходиться в конічному бункері.

Для визначення вертикального тиску сипучого матеріалу в конусі скористаємося методом плоских перетинів [1]. Розглянемо рівновагу циліндричного елемента сипучого матеріалу висотою  $dh$ , що знаходиться на глибині  $h$  від поверхні сипучого матеріалу (див. Рис 3.1-2).

Тиск на верхню поверхню елемента дорівнює  $\sigma_z$ . Для наступного елемента, при збільшенні глибини на  $dh$  тиск збільшується на  $d\sigma_z$ . Бічний тиск сипучого матеріалу

$$\sigma_r = \sigma_z \cdot \mu, \quad (3.1-7)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт бокового тиску.

Для незв'язних сипких матеріалів

$$\mu = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}. \quad (3.1-8)$$

$$d\sigma_z = \rho_n \cdot g \cdot dh - \frac{4}{D_{ecv}} \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sigma_z \cdot dh, \text{ Па}, \quad (3.1-9)$$

$$D = \frac{(D_s + 2 \cdot \Delta)}{\cos \alpha} + 2 \cdot (H - h) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ м} \quad (3.1-10)$$

$$D_{ecv} = D - \frac{D_s}{\cos \alpha}, \text{ м} \quad (3.1-11)$$

где:  $D$  - діаметр конічного корпусу на глибині  $h$ , м;

$D_{ecv}$  - еквівалентний діаметр корпусу, м;

$\Delta$  - зазор промезду шнеком и корпусом, м.

Момент опіру обертанню, діючий на шар сыпкого матеріала висотою  $dL$ , рухуючий по шнеку

$$dM = \frac{\sin \gamma \cdot D_s}{2} \cdot dP, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.1-12)$$

Осьова сила, деючана шарсипкого матеріала висотою  $dL$ , рухаючийя по шнеку

$$dP_{oc} = \cos \gamma \cdot dP, \text{ Н}. \quad (3.1-13)$$

Момент опору обертанню шнека  $M$  і осьова сила, що діє на шнек  $P_{oc}$ , виходять підсумовуванням  $dM$  і  $dP_{oc}$ , підрахованими для елементів шнека висотою  $dL$ , вважаючи, що  $\sigma_z = 0$  при  $h = 0$ .

Витрата енергії, споживаної шнеком на перемішування

$$N_s = M \cdot \omega_s, \text{ Вт}, \quad (3.1-14)$$

де  $\omega_s$  - углова частота шнека, рад/с.

Якщо скористатися формулою,

що визначає осьовий тиск сипкого матеріала  $\sigma_z$  в вертикальному коничному корпусі [1],

$$\sigma_z = \frac{\rho_n \cdot g}{1-A} \cdot (H-h)^A \cdot H^{1-A} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{H-h}{H} \right)^{1-A} \right], \text{ Па} \quad (3.1-15)$$

де 
$$A = \frac{2 \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha},$$

то після інтегрування диференціального рівняння

$$dM = \pi \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \sin(\theta + \varphi_\theta) \cdot \sigma_z \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{dh}{\cos \alpha}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.1-16)$$

и умноження його на  $\omega_s$ , отримуємо формулу для визначення потужності, що потребує шнек-смісителя при  $\alpha = 17^\circ$ .

$$N_s = \pi \cdot \rho_n \cdot g \cdot \sin(\theta + \varphi_\theta) \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot \frac{0,3 \cdot H^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \alpha \cdot (2 \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha)} \cdot \omega_s, \text{ Вт}. \quad (3.1-17)$$

Таким чином, можливе розрахувати потужність, що потребує шнек-смісителя чисельним інтегруванням, використавши залежності

(3.12-1) – (3.1-14), або використати для цієї цілі формулу (3.1-17).

Для розрахунку осьової сили, що діє на шнек, можна рекомендувати таку формулу

$$P_{oc} = \pi \cdot \rho_n \cdot g \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot H \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot H \cdot \cos(\theta + \varphi_\theta) \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha}{D_s \cdot \cos \alpha \cdot (2 \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha)} \right], \text{ Н}. \quad (3.1-18)$$

Для перевірки відповідності наведеної вище методики можна порівняти розраховану з її допомогою потужність, зі значеннями, отриманими в реальних умовах.

У таблиці 3.1-1 наведені дані отримані при перемішуванні крупнодисперсного абразивного матеріалу - периклаза в планетарно-шнековому змішувачі фірми "Nauta". Периклаз - матеріал, який застосовується для виготовлення керамічних ізоляційних матеріалів методом пресування. Змішувач мав діаметр шнека - 0,310 м, кут нахилу шнека до осі корпусу -  $17^\circ$ ,

кут підйому гвинтової лінії шнека -  $14^\circ$ , частоту обертання шнека - 60 об / хв, частоту обертання водила - 2 об / хв.

Привід шнека мав асинхронний двигун потужністю 7,5 кВт, конічно-циліндричний редуктор, муфту, дві конічні зубчасті передачі. Загальний ККД приводу шнека приймаємо рівним 0,7. Привід водила мав асинхронний двигун, потужністю 0,55 кВт. Потужність холостого ходу приводу шнека - 630 Вт, потужність холостого ходу приводу водила - 120 Вт.

Таблиця 3.1-1

Маса завантаження, кг	Глибина занурення нижнього кінця шнека в сипкий матеріал, м	Розрахункові значення		Експериментальні значення			
		Витрата енергії, отриманий чисельним методом, (3.1-14), Вт	Витрата енергії за формулою (3.1-17), Вт	Витрата енергії шнеком при нерухомому воділі, з урахуванням ККД приводу, Вт	Витрата енергії шнеком при нерухомому водлі, Вт	Витрата енергії шнеком при рухомому воділі, Вт	Витрата енергії водилом, Вт
600	1,03	1145	1077	1638	2340	2430	120
1200	1,43	2183	2086	2202	3150	3780	126
1400	1,53	2511	2406	-	-	4320	150
1700	1,67	2971	2857	2898	4140	4950	180

У таблиці 3.1-2 наведені експериментальні дані, отримані при перемішуванні периклаза, в планетарно-шнековом змішувачі ПШ-1 конструкції Северодонецького НДІХІММАШ. Змішувач мав середній зовнішній діаметр шнека (конічного) - 0,20 м, кут нахилу шнека до осі корпусу -  $15^\circ$ , кут при вершині конічного корпусу -  $17^\circ$ , кут підйому гвинтової лінії шнека -  $17^\circ$ , частоту обертання шнека - 120 об / хв, частоту обертання водила - 3,66 об / хв. Привід шнека мав асинхронний двигун потужністю 2,2 кВт,



черв'ячний редуктор, дві конічні зубчасті передачі. Загальний ККД приводу шнека приймаємо рівним 0,6. Привід водила мав асинхронний двигун, потужністю 0,75 кВт. Потужність холостого ходу приводу шнека - 390 Вт, потужність холостого ходу приводу водила - 300 Вт.

Периклаз має кут внутрішнього тертя -  $26^\circ$ , кут зовнішнього тертя -  $23^\circ$ , насипну масу 1800 кг / м<sup>3</sup>.

Порівняння розрахункових і досвідчених значень свідчить про достатньої точності рекомендованої методики.

Деяку інформацію про розподіл навантаження від дії сипучого матеріалу на витки шнека можна отримати, вивчивши величину і конфігурацію абразивного зносу витків шнека змішувача фірми «Nauta» після тривалої експлуатації (див. Ріс.3.1-3, табл.3.1-3). Витки зношувалися вузькою смугою, на відстані приблизно 20 мм від краю витка виробилася канавка, яка мала найбільшу глибину приблизно на відстані 1/3 від нижнього кінця шнека. Теоретично, бічний тиск, в залежності від глибини занурення в матеріал, що знаходиться в конічному корпусі має максимум на глибині приблизно в тому ж місці [1]. Присильному зносу від краю витка відділяється спіраль. Величина зносу свідчить про те, що розподіл навантаження на витки шнека від дії сипучого матеріалу близько до того, що прийнято в даній роботі.

З таблиці 3.1-1 слід, що при рухомому водію витрата енергії на перемішування істотно зростає. Зростають і навантаження на опорні підшипники шнека. Тому при проектуванні змішувачів рекомендується оснащувати привід водила елементами, що обмежують крутний момент.

Таблиця 3.1.1.2-2

Маса вантаження, кг	Глибина занурення нижнього кінця шнека в сипкий матеріал, м	Розрахункові значення		Експериментальні значення		
		Витрата енергії, отриманий чисельним методом, (14), Вт	Витрата енергії за формулою (17), Вт	Витрата енергії шнеком з урахуванням ККД приводу, Вт	Витрата енергії шнеком Вт	Витрата енергії водилом, Вт лом, Вт
60	0,38	158	135	306	510	330
120	0,57	340	304	398	663	330
180	0,70	503	458	534	840	330
240	0,81	666	613	594	990	-
300	0,90	816	757	666	1110	-
360	0,98	962	897	738	1230	-
420	1,05	1100	1030	792	1320	-
480	1,12	1247	1172	864	1440	-
540	1,18	1380	1301	936	1560	-
600	1,23	1496	1414	1224	2040	-
700	1,32	1716	1628	1548	2580	420

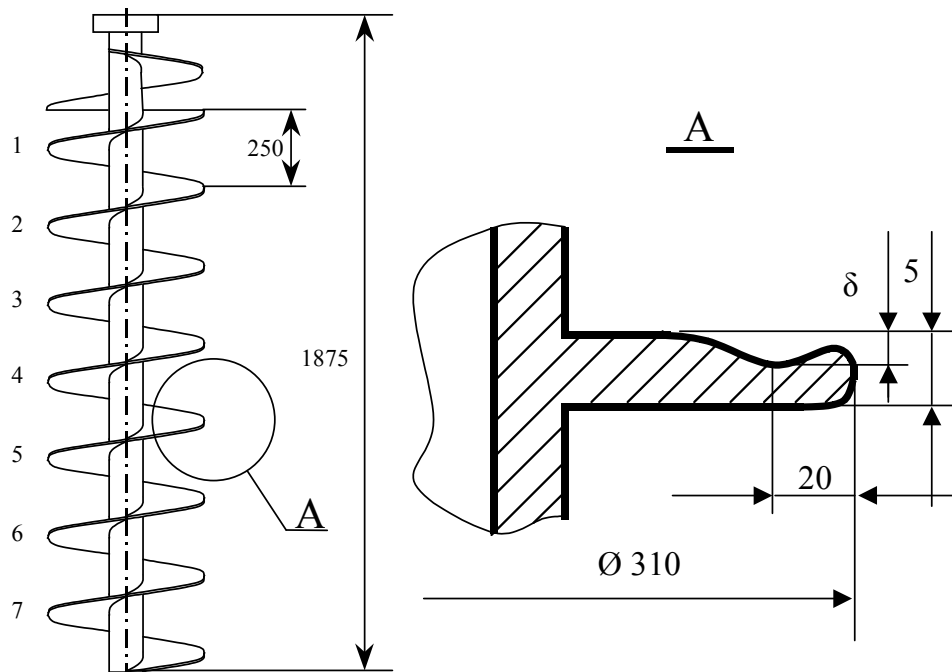


Рис. 3.1-3. Зносівки шнека.

Таблиця 3.1.-3

№ вітка	1	2	3	4	5	6	7
Зносівка δ, мм	0,33	1,30	2,70	5,00	3,50	2,40	0,10

### Розрахунок енерговитрат та осьової сили що діє на вертикальний шнек

Тиск з боку сипучого матеріалу на циліндричний елемент поверхні матеріалу, зрушуваної шнеком

$$dp_{\delta} = \pi \cdot D_{ш} \cdot \rho_n \cdot g \cdot \mu \cdot h \cdot dh, \quad [\text{Н}] \quad (3.1-19)$$

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

Момент опору обертанню, створюваний циліндричним елементом.

$$dM_{ш} = dp_{\delta} \cdot \sin(\Theta + \varphi_s) \cdot \frac{D_{ш}}{2}, \quad [\text{Н} \cdot \text{м}] \quad (3.1-20)$$

де:  $\Theta$  - кут підйому витка шнека на зовнішньому діаметрі, градус;

$\varphi_6$  – кут зовнішнього тертя сипучого матеріалу об поверхню витка шнека, град;

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

Момент опору обертанню

$$M_{ш} = \int_0^H dM_{ш} = \int_0^H \frac{\pi}{2} \cdot D_{ш}^2 \cdot \rho_H \cdot g \cdot \mu \cdot \sin(\Theta + \varphi_6) \cdot h \cdot dh = \frac{\pi}{4} \cdot \rho_H \cdot g \cdot \mu \cdot \sin(\Theta + \varphi_6) \cdot D_{ш}^2 \cdot H^2,$$

[Н·м](3.1-21)

Потужність, споживана шнеком,

$$N_{ш} = M_{ш} \cdot \omega_{ш}, \quad [\text{Вт}](3.1.-22)$$

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

Осьова сила, що діє на шнек,

$$P_{ос} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho_H \cdot g \cdot \mu \cdot \cos(\Theta + \varphi_6) \cdot D_{ш} \cdot H^2 + \frac{\pi}{4} \cdot \rho_H \cdot g \cdot D_{ш}^2 \cdot H, \quad [\text{Н}]. \quad (3.1-23)$$

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

Задаємося значеннями фізичних величин:

$$\rho_H = 1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \Theta = 14^\circ; \quad \varphi = \varphi_6 = 26^\circ; \quad \mu = 0,39; \quad \sin 40^\circ = 0,64;$$

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

При яких:

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

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

Приймаємо  $D_{ш} = 0,040$  м,

$\omega_{ш} = 30$  рад/с,  $H = 0,27$  м, тоді  $M_{ш} = 0,35$  Н·м,  $N_{ш} = 10,5$  Вт,  $P_{ос} = 10,5$  Н.

Отримані результати є одного порядку з експериментальними результатами (Табл. 3.1).

Як встановлено в результаті експериментальних робіт що проведені в С.ф. НДХіммаш, сили опору переміщенню робочих органів планетарно-шнекового змішувача залежать від гранулометричного складу сипких матеріалів[1]. В крупно дисперсному матеріалі, з розмірами часток більше 50 мкм, їх величина значно більш ніж сили опору, що виникають при роботі змішувача на дрібнодисперсному матеріалі.

Виходячи з жорстко-пластичної моделі сипкого середовища, аналітично вирішено завдання визначення сил опору обертаннюшнекапланетарно-шнекового змішувача. Адекватність прийнятої моделі реальним процесам при перемішуванні крупно дисперсних матеріалів підтверджена експериментально.

Істотне зниження сил опору переміщенню робочого елемента в мелкодисперсному матеріалі пов'язане з його переходом в новий стан, для якого методи визначення фізико-механических властивостей нині не розроблені.

Експериментальна перевірка підтвердила адекватність розробленої математичної моделі для крупнодисперсних сипких матеріалів.

Для мелкодисперсних матеріалів, з розміром часток менш приблизно 50 мкм, опір руху в розпушеному матеріалі у багато разів менше, ніж для крупнодисперсних матеріалів. Мелкодисперсні матеріали поведуться в процесі змішення подібно до рідин: мають горизонтальну поверхню, передають тиск рівномірно на всі боки, опір руху не залежить від глибини занурення в сипкий матеріал. Значний опір мелкодисперсних матеріалів може виникнути у момент пуску змішувача, коли робочі органи деформують матеріал, що злежався.

#### 4. Дослідження процесу змішування сипких матеріалів в змішувачах з вертикальним ротором

Для вивчення кінетики процесу змішування в апаратах з вертикальним ротором були проведені експериментальні роботи.

У наведених нижче дослідах в змішувач завантажували сухий пісок і металеві тирса. Тирса завантажували на поверхні піску. У процесі змішування відбувався розподіл тирси в піску.

Вивчення розподілу компонентів вироблялося шляхом відбору проб по схемі наведеної на малюнку 4.1., через певний час змішування.

У даній роботі наведені результати приготування суміші, що складається приблизно з 95% вагових піску (основний компонент) і 5% металевої тирси (ключовий компонент).

Маса проб становила приблизно 10-20 грамів.

Відібрані проби поділялися на компоненти за допомогою магніту. Маса тирси і піску визначалася шляхом зважування на лабораторних вагах ТурWA-21 (ZakladyMechanikiPrecyzyinej, Gdansk, Polska, 1971) з точністю до 50 мг.

Найкращий можливий результат випадкового (рандомального) розподілу  $V_R$  оцінювався за допомогою формули Штанге [4].

Підраховувалася дисперсія випадкового розподілу  $S_R^2$ , потім

$$V_R = \frac{100 \cdot \sqrt{S_R^2}}{x}, \%$$

Для даного гранулометричного складу матеріалів і розміру проб  $V_R \approx 3\%$ .

Таким чином можна зробити висновок про те що при значеннях  $V_C$  суміші менше  $\approx 5\%$  результати стають статистично невизначними.

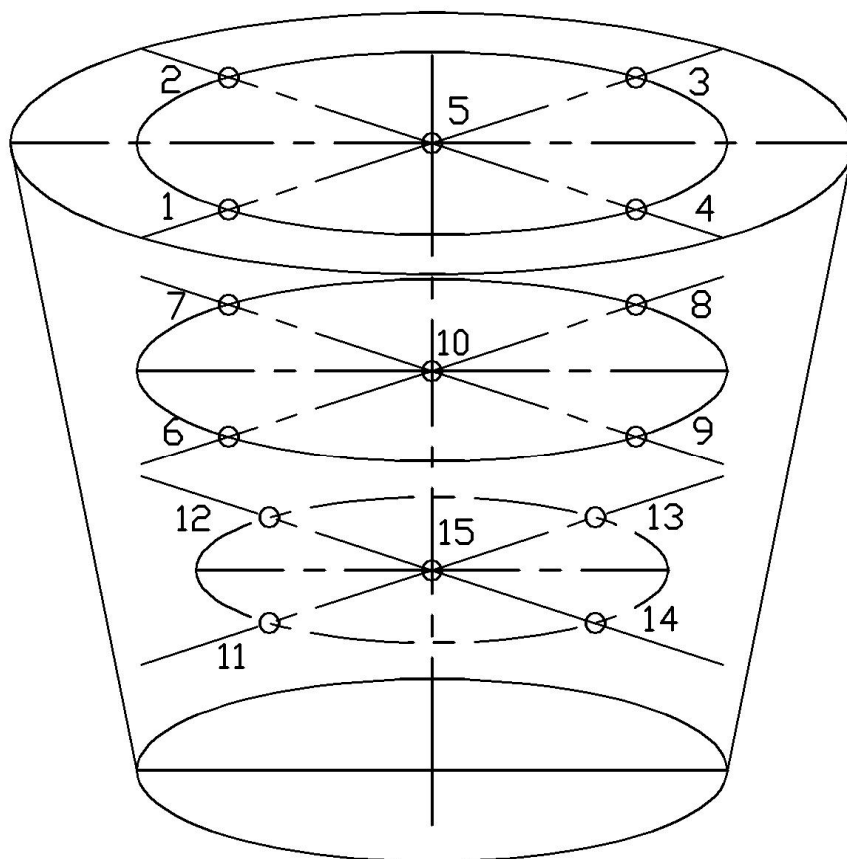


Рис.4.1. Схема відбору проб з корпусу змішувача

Крім обчислення коефіцієнта неоднорідності вироблялося обчислення середніх значень групових концентрацій на 3 вертикальних рівнях по 5 на кожному рівні (верхній 1, 2, 3, 4, 5; середній 6, 7, 8, 9, 10; нижній 11, 12, 13, 14, 15). Відповідні проби розташовані одна над другою (1, 6, 11; 2, 7, 12; 3, 8, 13; 4, 9, 14 і 1, 5, 10) (див. Рис.3.1) і вироблялося порівняння групових середніх концентрацій за допомогою критерію Стюдента.

Обробка результатів експерименту за допомогою методів математичної статистики дозволяє об'єктивно визначити однорідність розподілу матеріалів суміші у різних частинах корпусу.

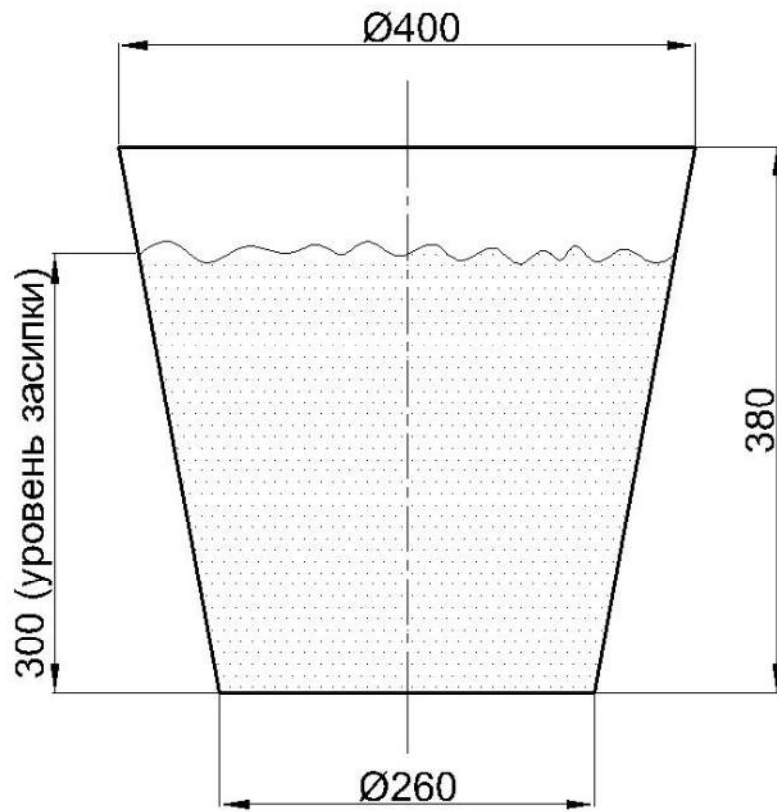


Рис.4-2 Розміри корпусу



#### 4.1 Приклад обробки експериментальних даних вибірки

Розглянемо обробку результатів змішання піску і металевої тирси, отримані в змішувачі через 180 секунд змішування (Додатки, Табл. Д3) при обертанні водила.

Відповідно до номерів проб (див. рис.3.1) були визначені наступні вагові концентрації ключового компонента (металевої тирси) в пробах вибірки.

№№ проб					Концентрація ключового компонента в відповідних пробах, $x_i\%$				
1	2	3	4	5	8,024	10,826	2,976	2,315	5,122
10	9	8	7	6	7,547	3,033	0,356	2,912	2,912
11	12	13	14	15	6,032	0,642	0,019	0,865	11,595

Розраховуємо середню концентрацію ключового компонента у всіх 15 пробах вибірки (середнє вибіркоче)

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 4,495 \%$$

де:  $x_i$  – концентрація ключового компонента в  $i$ -ой пробі, %;

$n$  – число проб у вибірці.

Сума квадратів різниць

$$S^2(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 192$$

Виправлена вибіркова дисперсія

$$D(x) = \frac{S^2(x)}{n-1} = \frac{192}{14} = 13,7.$$

Коефіцієнт неоднорідності суміші

$$Vc(x) = \frac{100 \cdot \sqrt{D(x)}}{\bar{x}} = \frac{100 \cdot 3,71}{4,495} = 82,47 \%$$

Виробляємо порівняння двох вибірових середніх верхнього і нижнього шарів  $\bar{x}_e$  і  $\bar{x}_n$  [6, с.297-303]. Число проб в групах  $n_e = n_n = 5$ .

$$\bar{x}_e = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{ei}}{5} = 5,8 \%$$

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{ni}}{5} = 3,8 \%$$

Визначимо виправлені вибірові дисперсії верхньої і нижньої груп

$$D_e = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} (x_{ei} - \bar{x}_e)^2}{n_e - 1} = 12,7 ;$$

$$D_n = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} (x_{ni} - \bar{x}_n)^2}{n_n - 1} = 24,7 ;$$

де:  $n_e$  і  $n_n$  кількість проб у верхній і нижній вибірках.

Для коректного порівняння  $\bar{x}_e$  і  $\bar{x}_n$  необхідно провести перевірку однорідності дисперсій  $D_e$  і  $D_n$ . Підраховуємо ставлення більшої з порівнюваних дисперсій до меншої (критерій Фішера-Снедекора).

$$F = \frac{D_{\text{большая}}}{D_{\text{меньшая}}} = \frac{24,7}{12,7} = 1,93 .$$

Критичне значення критерію  $F_{кр}$  визначаємо по [6, додаток 7]. При рівні значності  $\alpha=0,01$ ; число ступенів свободи більшої дисперсії  $k_1=n_e-1=4$ , меншою  $k_2=n_n-1=4$ .  $F_{кр}=15,98$ .

$F < F_{кр}$ , отже, дисперсії однорідні.

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

Підраховуємо значення критерію Стьюдента

$$Z = \frac{\bar{x}_6 - \bar{x}_n}{\sqrt{\frac{D_H}{n_H} - \frac{D_B}{n_B}}} = \frac{5,8 - 3,8}{\sqrt{\frac{24,7}{5} - \frac{12,7}{5}}} = 1,29.$$

Конкуруюча гіпотеза  $H_1: \bar{x}_6 \neq \bar{x}_n$ , критична область двостороння.

Знайдемо праву критичну точку, для чого спочатку підрахуємо функцію Лапласа

$$\Phi(Z_{кр}) = \frac{1 - \alpha}{2} = \frac{1 - 0,01}{2} = 0,49.$$

По таблиці функції Лапласа [6, додаток 2] визначаємо  $Z_{кр} = 2,34$ .

$|Z| < Z_{кр}$  - вибіркові середні різняться незначно,  $\bar{x}_6 = \bar{x}_n$ .

Виробляємо порівняння середніх для п'яти груп, розташованих по вертикалі корпусу методом дисперсійного аналізу. [6, с.349-362].

Розбиваємо вибірку з 15 проб на п'ять груп, по 3 проби в кожній розташованих паралельно осі корпусу: 1J ( $x_1, x_6, x_{11}$ ); 2J ( $x_2, x_7, x_{12}$ ); 3J ( $x_3, x_8, x_{13}$ ); 4J ( $x_4, x_9, x_{14}$ ); 5J ( $x_5, x_{10}, x_{15}$ ).

Підраховуємо середні значення концентрацій ключового компонента для груп.

$$\bar{x}_{kJ} = \frac{\sum_{i=1}^3 x_{ikJ}}{3},$$

де номери груп  $k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ .

$$\bar{x}_{1J} = 7,201; \bar{x}_{2J} = 4,834; \bar{x}_{3J} = 1,117; \bar{x}_{4J} = 2,031; \bar{x}_{5J} = 7,290.$$

Для коректного порівняння середніх цим методом потрібно, щоб виправлені групові дисперсії були однорідні.

$$D_{kJ} = \frac{\sum_{i=1}^3 (x_{ikJ} - \bar{x}_{kJ})^2}{3 - 1}.$$

$$D_{1J} = 1,08; D_{2J} = 28,36; D_{3J} = 2,62; D_{4J} = 1,11; D_{5J} = 13,90.$$

Проведемо перевірку однорідності дисперсій за критерієм Кочрена

$$G = \frac{D_{J\max}}{\sum_{k=1}^5 D_{kJ}} = \frac{28,36}{47,07} = 0,602.$$

Критичне значення критерію Кочрена для рівня значущості  $\alpha=0,01$ ;  
 $l=5$ ;  $k=3-1=2$ . [6, додаток 8]

$$G_{кр} = 0,7885;$$

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

Обчислюємо факторну дисперсію [6, с.351-355]

$$D_{\phi} = \frac{i \cdot \sum_{k=1}^5 (\bar{x}_{kJ} - \bar{x})^2}{J - 1} = 49,01,$$

де:  $i$  - кількість проб в кожній групі ( $i = 3$ ).

Залишкова дисперсія

$$D_o = \frac{\sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^3 (x_{ikJ} - \bar{x}_{kJ})^2}{(k-1) \cdot i} = \frac{94,15}{4 \cdot 3} = 7,85;$$

де:  $x_{ikJ}$  - концентрація ключового компонента в  $i$  - ой пробі  $kJ$  - ой групи;

$\bar{x}_{kJ}$  - середня концентрація ключового компонента в  $kJ$  - ой групе.

Підрахуємо критерій Фішера-Снедекора

$$F = \frac{D_{\phi}}{D_o} = \frac{49,01}{7,85} = 6,26.$$

Критичне значення критерію Фішера-Снедекора

$$F_{кр} = 5,99 \text{ [6, додаток 7]}$$

(при  $\alpha=0,01$ ; число ступенів свободи чисельника  $k_1=4$ ; а знаменника  $k_2=10$ )

$F > F_{кр}$  - групові середні відрізняються значимо.

## 4.2 Результати вивчення розподілу компонентів

Аналізуючи отримані результати (див. табл.Д.1 -табл. Д.5.), приходимо до висновку, що найбільш повільне розподіл компонентів в планетарно-шнекових змішувачах відбувається в перетинах перпендикулярних осі корпусу. Якщо водило не рухається у змішуванні приймає участь лише одна третина продукту.Інтенсивна циркуляція здійснюється лише в площині над шнеком, та в воронці, яка з'являється в районі зони циркуляції.

Якщо водило здійснює рух, то розподіл близький до рандомального досягається через 30 обертів водила ( $V_c=5,5$ ).

Планетарно-шнекові змішувачі в разі необхідності оснащують диспергуючими головками, зануреними в шар сипучого матеріалу. Їх завданням, в основному, є подрібнення агрегатів, що утворюються в процесі змішування. У змішувачі з вертикальним шнеком, що розташований по осі корпусу(наприклад ПШ-6,3) не слід чекати значного збільшення інтенсивності змішування, бо він і так знаходиться в зоні інтенсивного руху сипкого матеріалу.

Значне збільшення інтенсивності змішування можливо, якщо застосувати додаткові прилади для змішування в зоні нерухомого сипкого матеріалу, наприклад другого шнеку.

## 5.Розробка типорозмірного ряду планетарно-шнекових змішувачів

Потреба в планетарно-шнекових змішувачах встановлена на підставі досвіду їх випуску заводами Міністерства хімічного машинобудування. Номінальні обсяги змішувачів прийнято вибирати виходячи з рекомендованого ряду обсягів хімічних апаратів. Робочі об'єми (обсяги завантажуючої суміші) призначаються для кожного технологічного процесу, виходячи з фізико-механічних характеристик матеріалів. Мають значення насипна маса, коефіцієнт внутрішнього тертя, розмір часток та інше.

На підставі аналізу замовлень планетарно-шнекових змішувачів для сипучих матеріалів на заводах хімічного машинобудування пропонується розробка наступного ряду (номінальний обсяг корпусу змішувача  $V_n, \text{м}^3$ ):

0,5; 0,75; 1,0; 1,6; 2,4; 3,2; 5,0; 7,5; 10; 16; 24; 32.

Таблиця 5.1.

Рекомендований типорозмірний ряд планетарно-шнекових змішувачів

Номи нальн об`єм корп, $V_n, \text{м}^3$	Реко- мендо- ваний об`єм суміші, $V_p, \text{м}^3$	Діам. шнека, мм	Частота обертання, об/мин		Потужність приводу, кВт		Маса змішувача без прив., кг	Товщина Стінки корп., мм
			вод.	шнек	вод.	шнек		
0,5	0,4	200	4	125	0,6	3	250	4
0,63	0,5	200	4	125	0,6	3	350	4
1,0	0,63	200	4	125	0,6	3	500	4
1,6	1,0	300	6	100	1	9	1200	6
2,5	1,6	300	6	100	1	9	1500	6
3,2	2,0	300	6	100	1	9	2000	6
5	4,0	400	4	100	2	20	2500	8
8	5	400	4	100	2	20	3500	8
10	6,3	400	4	100	2	20	4500	8
16	10	400	3	80	3	30	6000	10
25	16	400	3	80	3	30	7500	10

32	20	400	3	80	3	30	9000	10
----	----	-----	---	----	---	----	------	----

Таблиця 5.2. Пропоновані виконання змішувачів

1	Корозійностійке (12Х18Н10Т)
2	Некорозійностійке (Ст 3)
3	Вибухозахищене
4	Невибухозахищене
5	Періодичної дії
6	Приводи з регульованою частотою обертання шнека (sem-eurodrive.ua (produkt))
7	Приводи з нерегульованою частотою обертання шнека (elektronpo.ru/production))
8	З сорочкою
9	Без сорочки
10	Розвантаження через клапанний затвор
11	Розвантаження через шибєрний затвор
12	Розвантаження шнеком
13	Розвантаження гнучким шнеком

Можливі інші виконання змішувача в залежності від вимог замовника

Приклад позначення змішувача планетарно-шнекового з номінальним об'ємом корпусу 6,3 м<sup>3</sup>, з корпусом, шнеком та водилом зі сталі 12Х18Н10Т, не вибухозахищене виконання, періодичної дії, з нерегульованою частотою обертання водила і шнека, без сорочки, з розвантаженням через клапанний затвор:

ПШ-6,3-1/4/5/7/9/10



Рис. 5.1 Конструкція планетарно-шнекового змішувача фірми SENG LI з двома шнеками



## **6Економічна оцінка ефективності випуску змішувачів**

Собівартість - один з важливих узагальнюючих якісних показників ефективності виробництва, що дозволяє здійснювати контроль над витратами і оцінювати результати господарської діяльності підприємства. Собівартість формується безпосередньо на підприємстві і відображає індивідуальні витрати і умови виробництва, конкретні результати господарювання даного виробничого підприємства.

Зниження собівартості продукції має велике значення, так як є одним з вирішальних джерел збільшення накопичень для цілей розширення виробництва і підвищення добробуту персоналу. Звідси впливає значущість ролі, яка належить бухгалтерському обліку і калькулювання собівартості продукції в процесі управління собівартістю підприємства. Здійснення економії коштів передбачає організацію обґрунтованого, повного, достовірного і своєчасного обліку виробничих витрат.

Загальні правила формування в бухгалтерському обліку інформації про витрати підприємства та її розкриття у фінансовій звітності встановлено в П(С) БО 16 (Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 "Витрати").

Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) в різних галузях визначають безпосередньо (методологію) порядок калькулювання собівартості продукції. У них враховані галузеві особливості включення витрат до складу собівартості продукції, які обумовлені технологічним процесом виробництва конкретної галузі.

На підставі галузевого документа з формування собівартості [8] робиться розрахунок собівартості змішувача.

Найбільший вплив на калькулювання і облік витрат на підприємстві надає система внутрішнього обліку і звітності, оскільки в обліку витрат формується основна інформація для повсякденних потреб управління. Пояснюється це тим, що правильна постановка обліку витрат на виробництві багато в чому залежить від особливостей діяльності кожного підприємства.

Під виробничою собівартістю продукції (робіт, послуг) розуміють виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на її виробництво.

У плануванні, обліку і аналізі собівартості окремих видів продукції виділяють такі показники, як планова, нормативна та фактична (звітна) собівартість.

Планова собівартість є прогнозне значення граничної величини витрат на виробництво окремих видів продукції (робіт, послуг), розрахованої на основі прогресивних норм і економічних нормативів на планований період (квартал або рік).

Нормативна собівартість визначає величина витрат на виробі в розрізі встановлених на підприємстві статей, за чинною поточної нормам, нормативи і кошторису (норми витрати сировину, матеріали, напівфабрикати, паливо, енергія, норми і розцінки заробітна плата).

Фактична (звітна) собівартість визначається на основі даних бухгалтерського обліку після закінчення звітного періоду і являє достовірну інформацію про фактичні витрати на виробництво продукції, робіт, послуг. Вона служить основою для економічного аналізу, прогнозування, планування і прийняття рішень на короткострокову та довгострокову перспективу по виготовленню, вдосконаленню або заміни даного виду продукції.

Під калькулюванням собівартості продукції розуміється сукупність прийомів і способів, що забезпечують обчислення собівартості виробленої продукції, виконаних робіт або наданих послуг.

Калькуляція - це частина процесу калькулювання, спосіб розрахунку (сукупність розрахункових процедур) собівартості одиниці продукції. За допомогою калькуляції визначається собівартість різних об'єктів обліку, тому вона є основою грошової оцінки об'єктів бухгалтерського обліку.

Таблица 6.1 Вихідні дані для калькуляції собівартості

№ п/п	Статья затрат	ЕИ	Стоимостьгрн
1	<b>Материалы основные, в том числе покупные изделия</b>	прямые затраты	
	Лист 12Х18Н10Т		418000
	Лист Ст3		4620
	Электроды для 12Х18Н10Т		29962
	Электроды для Ст3		1498
	Мотор-редуктор ЗМП-100-7,1-3		60000
	Мотор-редуктор МПО1М-10-В-5,74-3/250-АИР100S-У3		19125
	Электродвигатель АИР100S-У3	3112	
	Электродвигатель АИР100S4	3112	
	Система управления (шкаф,пускатели итд)		6224
	<b>Итого</b>		<b>539429</b>
2	Транспортно-заготовительные расходы	масса аппарата кг х на 1 грн	5635
3	Топливо, энергия (технологические)	масса аппарата х на 1 грн	5635
4	Основная заработная плата	стоимость нормо-часа	56664
5	Дополнительная заработная плата	20 % от п. 4	11333
6	Отчисления в фонды	34,2 % от (п. 4 + п. 5)	23255
7	Расходы на содержание оборудования и износ инструмента	40 % от (п. 4 + п. 5)	27199
8	Цеховые расходы	30 % от (п. 4 + п. 5)	20399
9	Общезаводские расходы	10 % от (п. 4 + п. 5)	6800
10	Производственная себестоимость	п. 1 + п. 2 + п. 3 + п. 4 + п. 5 + п. 6 + п. 7 + п. 8 + п. 9	<b>696347</b>
11	Внепроизводственные расходы	15 % от п. 10	104452,07
12	Итого производственная себестоимость	п. 10 + п. 11	<b>800799</b>

Витрата електродів узятий [16таблиця 4 стр.3].

Витрата матеріалів згідно конструкції змішувача ПШ-6,3[4].

Ціни на матеріали моніторинг Українського ринку Інтернет ресурсу.

**Висновок.**

Проаналізувавши ринок (середня оптова ціна аналогічного змішувача номінальним об'ємом 6,3 м<sup>3</sup> змішувача становить приблизно 1000 000 грн.) І склавши калькуляцію собівартості змішувача можемо зробити висновок, що дохід від продажу складе орієнтовно 200000 грн. Для підвищення конкурентоспроможності змішувачів необхідне зниження їх матеріалоємності, особливо корозійностійких сталей, та опрощення конструкції.

## **7 Техніка безпеки при роботі в лабораторії**

До роботи з електроприладами допускаються особи, що інструктовані, пройшли навчання і перевірку знань по питаннях охорони праці і що мають групу по електробезпеці не нижче 2. [10], [11].

Студенти, що беруть участь в НІРС, допускаються до виконання робіт в присутності і під безпосереднім керівництвом викладача, ведучого НДРС.

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

Спецодяг і інші засоби індивідуального захисту повинні зберігатися в спеціально відведеному місці. Забороняється знаходитися в лабораторії у верхньому одязі і класти одяг на випробувальні установки, прилади і .

При роботі в лабораторії необхідно дотримувати правила гігієни. Забороняється приймати їжу на робочому місці.

У лабораторії має бути аптечка для надання першої допомоги при порізі, опіку і інших нещасних випадках.

Для гасіння можливих займань і пожеж лабораторія має бути оснащена необхідними засобами пожежегасіння (вогнегасник, ящик з піском)

### **7.1 Вимоги безпеки перед початком роботи**

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

Заземлюючі контакти розеток мають бути надійно з контуром захисного заземлення.

Перед початком роботи переконатися в тому, що всі електроприлади, використовувані в експерименті, правильно підключені і надійно заземлені.

При експлуатації електроприладів необхідно керуватися правилами, викладеними в технічному паспорті.

При виявленні несправностей електроприладів, стендів, захисного заземлення повідомити про це науковому керівникові лабораторії, або зав. лабораторією

### **7.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт**

Дозволяється працювати тільки зі справними електроприладами.

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

- одночасний дотик руками або металевим предметом до корпусу електроприладів і оголених проводів;
- робота з несправними електроприладами;
- порушення правил користування електроприладами.

Забороняється працювати з електроприладами і вимірювальними приладами при знятому кожусі.

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

Забороняється працювати з електроприладами у вогкому одязі, вогкими руками, перекривати вентиляційні отвори, якщо вони є на приладах.

Куріння в лабораторії заборонене.

Забороняється залишати без спостереження, ремонтувати і переносити включені в мережу електроприлади.

Забороняється підключати декілька споживачів електроенергії до однієї штепсельної розетки.

Забороняється заміна згорілих запобіжників «жучками». Необхідно застосовувати запобіжники заводського виготовлення, що калібруються.

Забороняється захаращувати підступи до електричних пристроїв(шафам, автоматичним вимикачам, розеткам), а також відкривати їх.

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

Не допускається залишати неізолюваними оголені проводи, перевантажувати електромережу, користуватися розбитими вилками, розетками і вимикачами.

Електроприлади мають бути розташовані на відстані не менше 1 м від нагрівальних приладів і не повинні піддаватися дії прямих сонячних променів

Робоче місце утримувати в сухому і чистому стані, не допускати запиленої електроприладів, вимірювальних приладів, стендів.

Забороняється проводити очистку від пилу і включених в мережу 220V електроприладів, вимірювальних приладів, стендів.

При виявленні несправностей електроприладів, вимірювальних приладів, стендів, за відсутності їх заземлення, а також при появі іскріння або характерного запаху перегрітої ізоляції, негайно знеструмити їх. Повідомити про це науковому керівникові лабораторії або його заступникові.

Приступати до роботи дозволяється тільки після усунення відмічених несправностей електроприладів, вимірювальних приладів і стендів.

При проведенні профілактичних і 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 щільно закритою кришкою.

### **7.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи**

Після закінчення роботи вимкнути електроприлади, вимірювальні прилади, стенди.

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

Привести в порядок робоче місце, прибравши пил, що з'явилися, і сміття.

При відході з приміщення лабораторії необхідно вимкнути всі споживачі електроенергії.

При виявлених під час роботи і неполадках електроприладів повідомити наукового керівника лабораторії або його заступника

### **7.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

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

- загоряння горючих матеріалів;

- поразка електричним струмом.

Джерелами загоряння в лабораторіях, комп'ютерному класі можуть бути електронні вузли приладів і блоки комп'ютерів, принтерів, приладів, пристроїв електроживлення, електропаяльники, де в результаті різних порушень перегріваються електронні компоненти схем, дроти, утворюються електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

Обслуговуючий персонал і користувачі вимірювальних приладів, персональних комп'ютерів зобов'язані знати розташування засобів пожежогасіння та вміти ними користуватися.

При пожежі:

- негайно знеструмити все електрообладнання загальним автоматичним вимикачем;
- негайно евакуювати в безпечне місце постраждалих людей;
- повідомити по телефону 101 до служби порятунку;
- видалити в безпечне місце неушкоджені комп'ютери та прилади;
- приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння;
- довести до відома керівництво інституту про те, що сталося;
- електрообладнання гасити вуглекислотними вогнегасниками (ВВ), порошковими вогнегасниками (ВПУ) або сухим піском;
- гасити електрообладнання і дроти водою забороняється.

У разі ураження електричним струмом слід негайно знеструмити електрообладнання і викликати швидку допомогу за телефоном 103. Працівники та студенти зобов'язані знати заходи надання першої допомоги потерпілому при ураженні електричним струмом і вміти надати при необхідності.

Негайно повідомити про нещасний випадок безпосереднього керівника робіт, завідувачу кафедри або завідувачу лабораторії.



## **7.5 Вимоги безпеки при роботі на змішувачах**

При роботі на змішувальному обладнанні слід виконувати наступні мери безпеки:

- Роботи виконувати тільки в присутствії керівника наукових робіт;
- Не брати пробі матеріалу під час роботи змішувача;
- Якщо виникла потреба очистки стінок, або інше, що потребує дій в корпуси змішувача в момент роботи приводу, це слід робити за допомогою тонкої дерев'яної пластини, наприклад, дерев'яної лінійки;
- Очистку корпусу змішувача слід робити тільки при висмикнутої напругі на привод змішувача.

## **8 Висновки та рекомендації**

Проведений аналіз літературних даних з питання змішення сипких матеріалів. Виявлені найбільш розповсюджені конструкції змішувачів для сипких і пастоподібних матеріалів. Досліджені галузі їх використання.

Приведені дані результатів дослідження процесу змішення в змішувачах з вертикальним конічним корпусом проведених в СНУ ім. В. Даля..

Приведені результати теоретичних та експериментальних досліджень енергетичних витрат при змішуванні сипких матеріалів в планетарно-шнекових змішувачах.

Розроблена технічна пропозиція і рекомендації по випуску типоразмерного ряду планетарно-шнекових змішувачів.

Зроблена оцінка економічного ефекту від випуску представника ряду номінальним об'ємом 6,3м<sup>3</sup>. Економічний ефект складає приблизно 200 тис.грн.

Для підвищення конкурентоздатності планетарно-шнекових змішувачів необхідно зниження їх металоємності, особливо цвітних металів та удосконалення конструкції. Метою впровадження нових конструкцій є підвищення ефективності процесу змішування, зручності та безпеки при експлуатації, надійності роботи, можливості включення в автоматизовані технологічні лінії.

## Література:

1. Модестов В.Б. Смесители сыпучих и пастообразных материалов /Монография. — Луганськ, СПД Резніков В.С., 2011. — 352 с.
2. Модестов В.Б. Определение затрат энергии на перемешивание в планетарно-шнековых смесителях. Ж. «Химическое и нефтегазовое машиностроение», №3, 2002.
3. [Вентцель Е.С. Теория вероятностей. -М.: Наука,1973, 368 с.].
4. Смесители для сыпучих и пастообразных материалов. Каталог. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ.1986. 77 с.
5. Stange K. Die Mischgute einer Zufallmischung als Grundlage zur Beurteilung von Mischversuchen. Chemie-Ingenier-Technick, 26. 1954, s. 331-337]
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие для вузов. — 8-е изд., стер. —М.: Высш. шк., 2002, 479 с.: ил.
7. Модестов В.Б. Разработка методики расчёта плужных смесителей для сыпучих материалов. М.: МИХМ, 1984.
8. «Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості», затвержені наказом Мінпромполітики України від 09.07.2007 р № 373
9. ВСН 452-84 «Виробничі норми витрат матеріалів в будівництві. Сварка трубопроводів з легованих сталей автоматичне зварювання під флюсом листових конструкцій, зварювання стрижнів арматури і заставних деталей, газове різання »
10. Інструкція з безпеки життєдіяльності № 8 при виконанні лабораторних робіт студентами кафедри машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП).Сєверодонецьк, СНУ ім. В. Даля, факультет інженерії, 2017.

11. Інструкція з охорони праці № 11 при роботі на електрообладнанні, вимірювальних приладах і персональному комп'ютері на кафедрі машинознавства та обладнання промислових підприємств (МОПП). Сєверодонецьк, СНУ ім. В. Даля, факультет інженерії, 2017.
12. <http://www.1985shengli.com/customer-construction/>
13. Модестов В.Б. Определение мощности смесителя, необходимой при смешивании сыпучих материалов. Ж. «Химическое и нефтегазовое машиностроение», №3, 2003
14. РД РТМ 26-01-129 - 80 «Машины для переработки сыпучих материалов. Метод выбора оптимального типа питателей, смесителей и измельчителей».
15. «Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості», затверджені наказом Мінпромполітики України від 09.07.2007 р № 373
16. ВСН 452-84 «Виробничі норми витрат матеріалів в будівництві. Сварка трубопроводів з легованих сталей автоматичне зварювання під флюсом листових конструкцій, зварювання стрижнів арматури і заставних деталей, газове різання »

## Додатки

Таблиця Д1. Розподіл ключового компонента в змісі, %

замес №1/1

води́ло нерухо́ме

термін змішування, с 15

№ проб	Маса ключового компонента, г	Маса основного компонента, г	Зміст ключового компонента в пробі, %
1	4,600	4,100	52,874
2	0,000	5,500	0,000
3	0,000	6,800	0,000
4	0,000	4,700	0,000
5	0,000	5,300	0,000
6	5,700	11,800	32,571
7	0,000	15,500	0,000
8	0,000	14,900	0,000
9	0,000	13,900	0,000
10	0,140	13,500	1,026
11	1,600	13,000	10,959
12	0,140	16,000	0,867
13	0,007	12,000	0,058
14	0,010	14,100	0,071
15	0,091	13,000	0,695

X<sub>ср</sub>= 6,608

V<sub>с</sub>= 233,174

Таблиця Д2. Розподіл ключового компонента в змісі, %

замес №1/2

води́ло нерухо́ме

термін змішування, с 300

№ проб	Маса ключового компонента, г	Маса основного компонента, г	Зміст ключового компонента в пробі, %
1	1,810	12,851	12,346
2	0,003	8,398	0,036
3	0,000	9,300	0,000
4	0,000	9,504	0,000
5	0,793	5,600	12,404
6	2,196	12,900	14,547
7	0,008	15,000	0,053
8	0,030	13,100	0,228
9	0,000	12,990	0,000
10	1,985	12,590	13,619
11	2,152	11,990	15,217
12	0,092	15,300	0,598
13	0,033	14,000	0,235
14	0,000	15,700	0,000
15	1,765	12,715	12,189

X<sub>ср</sub>= 5,432

Vc=

124,624

Таблица Д3. Розподіл ключового компонента в змісі, %

замес №1/3

5 обертів водила

термін змішування, с

180

№ проб	Маса ключового компонента, г	Маса основного компонента, г	Зміст ключового компонента в пробі, %
1	0,647	7,416	8,024
2	0,655	5,395	10,826
3	0,244	7,955	2,976
4	0,172	7,258	2,315
5	0,461	8,540	5,122
6	1,216	14,896	7,547
7	0,488	15,600	3,033
8	0,054	15,100	0,356
9	0,450	15,002	2,912
10	0,842	15,500	5,152
11	0,674	10,500	6,032
12	0,095	14,693	0,642
13	0,003	15,494	0,019
14	0,130	14,900	0,865
15	1,755	13,381	11,595

Xcp=

4,495

Vc=

82,467

Таблица Д4. Розподіл ключового компонента в змісі, %

замес №1/4

30 обертів водила

термін змішування, с

1080

№ проб	Маса ключового компонента, г	Маса основного компонента, г	Зміст ключового компонента в пробі, %
1	0,389	6,560	5,598
2	0,220	4,496	4,665
3	0,560	11,190	4,766
4	0,620	12,197	4,837
5	0,630	12,700	4,726
6	0,750	14,706	4,852
7	0,870	15,950	5,172
8	0,840	16,050	4,973
9	0,792	15,750	4,788
10	0,846	15,701	5,113
11	0,740	14,512	4,852
12	0,796	14,120	5,337
13	0,730	13,410	5,163
14	0,723	14,780	4,664
15	0,696	14,000	4,736

Xcp=

4,949

Vc=

5,512

Таблица Д5. Розподіл ключового компонента в змісі, %

замес №1/5

60 обертів водила

термін змішування, с

1680

№ проб	Маса ключового компонента, г	Маса основного компонента, г	Зміст ключового компонента в пробі, %
1	0,341	5,900	5,464
2	0,705	11,470	5,791
3	0,390	7,663	4,843
4	0,912	15,786	5,462
5	0,731	13,052	5,304
6	0,961	15,749	5,751
7	0,955	16,420	5,496
8	0,780	14,674	5,047
9	0,894	16,596	5,111
10	0,880	14,798	5,613
11	0,880	16,999	4,922
12	0,990	17,052	5,487
13	0,883	15,800	5,293
14	0,902	16,197	5,275
15	0,928	16,330	5,377
		X <sub>cp</sub> =	5,349
		V <sub>c</sub> =	5,217