

РЕФЕРАТ

Перетяцько С.М. Дослідження впливу коефіцієнту заповнення корпусу на енергетичні витрати в планетарно-шнекових змішувачах. Дипломна робота магістра. Східноукраїнський національний університет ім В. Даля. 2019: 86 с., 17 табл., 33 рис., 1 дод., 24 джер.

ЗМІШЕННЯ, ЗМІШУВАЧІ, СИПКИ МАТЕРІАЛИ, ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ, ПЛАНЕТАРНО – ШНЕКОВІ, КОЕФІЦІЄНТ ЗАПОВНЕННЯ.

Об'єкт дослідження: змішувачі планетарно-шнекові.

Мета роботи: дослідження енергетичних витрат при різних коефіцієнтах заповнення корпусу сипким матеріалом.

Методи дослідження: теоретичне та експериментальне дослідження енергетичних витрат.

Зроблено огляд з питання змішування сипких матеріалів. Приведені результати наукових досліджень, що опубліковані в літературних джерелах та Інтернеті. Розглянуті розповсюджені конструкції змішувачів, які використовуються в світі. Приведені методика та результати експериментальних робіт, проведених в лабораторії СНУ ім. Даля.

Виконано дослідження енергетичних витрат приводом планетарно-шнекового змішувача в залежності від коефіцієнту завантаження корпусу.

Виконано також дослідження процесу змішування.

Дані рекомендації щодо проектування планетарно-шнекових змішувачів оптимальної конструкції.

ЗМІСТ

	стор.
Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	5
Вступ	6
1 Аналітичний огляд змішувачів	7
1.1 Барабанні	9
1.2 Стрічкові	10
1.3 Плужні	12
1.4 Вертикальні конічні та планетарно-шнекові	13
1.5 Відцентрові	23
1.6 Двохроторні	25
1.7 Двохроторні з Z-подібними лопатями	27
1.8 Двохроторні з Z-подібними лопатями і розвантажувальним шнеком	29
1.9 Безперервної дії	30
2 Мета задачі досліджень	33
3 Дослідження впливу коефіцієнту заповнення корпусу на енергетичні витрати	34
3.1 Конструкція шнеків	37
3.2 Теоретичне визначення витрат енергії на перемішування в планетарно-шнекових змішувачах	37
3.3 Експериментальне визначення енергетичних витрат	46
4 Дослідження розподілу компонентів в планетарно-шнекових змішувачах	55
4.1 Теорія змішування	55
4.2 Приклад обробки експериментальних даних вибірки	62
4.3 Результати вивчення розподілу компонентів	67
5 Пропозиції що до розробки типорозмірного ряду планетарно - шнекових змішувачів	71

6 Економічна оцінка ефективності випуску планетарно-шнекових змішувачів	73
7 Техніка безпеки при роботі в лабораторії	75
7.1 Вимоги безпеки перед початком роботи	75
7.2 Вимоги безпеки під час виконання роботи	76
7.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи	78
7.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	78
7.5 Вимоги безпеки при роботі на змішувачах	80
8 Висновки	81
Перелік джерел посилання	82
Додаток А Результати змішування чавунної тирси та піску	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК , ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

С.ф. НДІхіммаш – Сєверодонецька філія науково-дослідного та
конструкторського інституту хімічного машинобудування;

і.т.д. – і так далі;

N – потужність, Вт;

$\omega_{ш}$ – кутова швидкість обертання шнека, рад/с;

ρ_n – насипна маса сипучого матеріалу, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння 9,81 , м/с²;

h – глибина занурення в сипучий матеріал, м;

μ - коефіцієнт бокового тиску;

φ – кут внутрішнього тертя сипучого матеріалу, градус;

φ_e – кут зовнішнього тертя сипучого матеріалу, градус;

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

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

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

n – число проб в виборці;

i – номер проби в вибірці;

x_i – концентрація ключового компонента в i - ой пробі;

\bar{x} середня концентрація ключового компонента в виборці або групі.

Вступ

Ціль даної роботи - дослідження впливу коефіцієнта заповнення корпусу на енергетичні витрати в планетарно-шнекових змішувачах (ПШ). Ефективний змішувач повинен мати високу інтенсивність змішування при відносно низьких енергозатратах.

Для дослідження впливу коефіцієнта заповнення корпусу на роботу змішувача використані данні з літературних джерел, Інтернету та результати робіт проведених в Сєверодонецької філії НДІхіммаш, яка була головною організацією в Міністерстві хімічного машинобудування по змішувальному обладнанню. Також були проведені експериментальні дослідження в лабораторії кафедри МОПП що до впливу коефіцієнту заповнення корпусу , та інших факторів, що впливають на енергетичні витрати.

Отримані результати були зрівняні з розрахованими по методиці розробленої в С.ф. НДІхіммаш.

Приведені також результати вивчення розподілу компонентів в планетарно-шнекових змішувачах. Зроблені висновки що до планування промислового випуску змішувачів типа ПШ. Рекомендовано методика розрахунку сіх апаратів та номенклатура випуску.

1 Аналітичний огляд змішувачів

Процеси змішування сипких матеріалів дуже відрізняються один від одного, хоч часто ті хто дослідують не звертають на це увагу.

Наприклад є процеси в яких:

- Змішуються продукти, які загрузають 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.
- Змішують сипкі матеріали, які безперервно подаються в змішувач за допомогою дозаторів. У сіх випадках використовуються змішувачі безперервної дії.
- Змішуються 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 усереднювачами.
- Змішуються продукти, які загрузають 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.
- Виконується безперервне перемішування продукту, причому вимог до однорідності продукту не ставиться. Єдина мета процесу – не допустити злежування. Таки змішувачі називають ворошителямі. Часто усереднителі використовують також як ворошители. Для цього вони мають можливість міняти швидкість обертання ротора.

- Окрім 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 позичених з Інтернету.

Це слідує конструкції [1]:

- Барабанні;
- Стрічкові
- Плужні;
- вертикальні конічні;
- Планетарно-шнекові;
- Відцентрові;
- Двохроторні;
- Двохроторні з Z-подібними лопатями;
- Двохроторні з Z-подібними лопатями і розвантажувальним шнеком;
- Безперервної дії.

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.

Севродонецька філія НДІХІММАШ розробила типорозмірні ряди змішувачів [3], а також методику вибору типу змішувача [4] на підставі визначення фізико-механічних характеристик сипких матеріалів.

1.1 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. Форми корпусів можуть бути різноманітні, наприклад, приведені на рис.1.1.

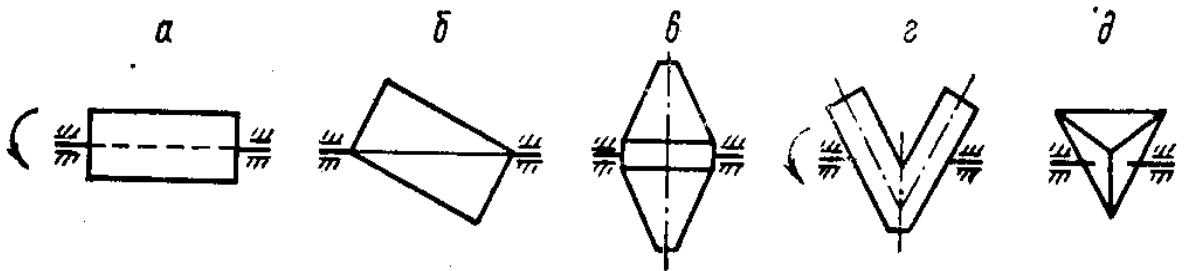


Рисунок 1.1 - Форми корпусів барабанних змішувачів

Принципове переваги, які вони мають: рух матеріалу відбувається під дією гравітаційних сил на поверхні сипучого матеріалу; подрібнення компонентів незначне; можливо змішання з кускових матеріалів, наприклад, будівельних розчинів зі щебенем; фізико-механічні характеристики змішуються матеріалів незначно впливають на опір обертанню барабана.

До недоліків сіх змішувачів слід віднести низку інтенсивність змішування, схильність до сегрегації компонентів, можливість налипання матеріалу на корпус, не дуже зручне завантаження та розвантаження.

Призначені для змішування добре сипучих матеріалів. Часто використовуються для проведення гранулювання. Але можливо і приготування паст обмеженою в'язкості.

1.2 Стрічкові

Змішувач має горизонтальний ротор, який має робочі елементи у вигляді стрічок, які переміщують матеріал уздовж осі корпусу - до центру по зовнішньому діаметру, від центру - ближче до осі. Нерухомий корпус циліндричної або коритообразної форми.

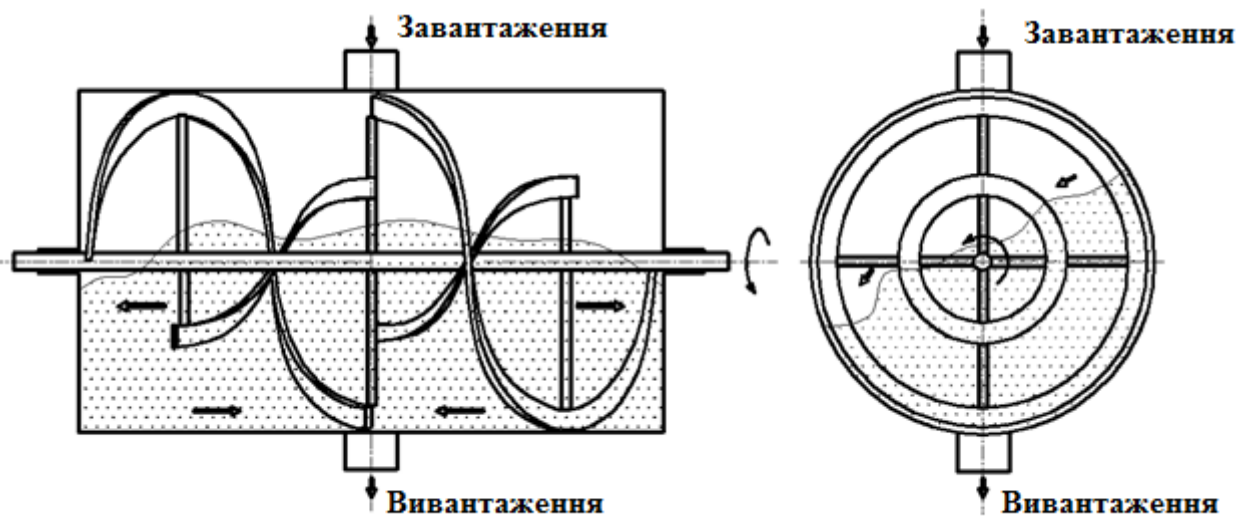


Рисунок 1.2 - Стрічкові змішувачі

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, бо 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. Це найбільш розповсюджена в світі конструкція.



Рисунок 1.3 - Змішувач стрічковий фірми SHUANGLONG GROUP
(Китай) [17].

Стрічковий змішувач призначений в першу чергу для використання з сухими матеріалами, хоча також можна додавати газові і рідкі потоки. Широке різноманітність конфігурацій для періодичного або безперервного змішування є з розмірами від 100-20000 літрів. Спеціальна конструкція змішувача елемента ротора дозволяє скоротити час циклу через збільшення ефективності змішування. Можливо налаштувати конструкцію (дизайн) Ribbon Mixer для задоволення вимог до змішування. Ємності можуть бути стандартними U-образними або циліндричними в залежності від вимог внутрішнього тиску або вакууму.

1.3 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 (рис.1.4; 1.5).

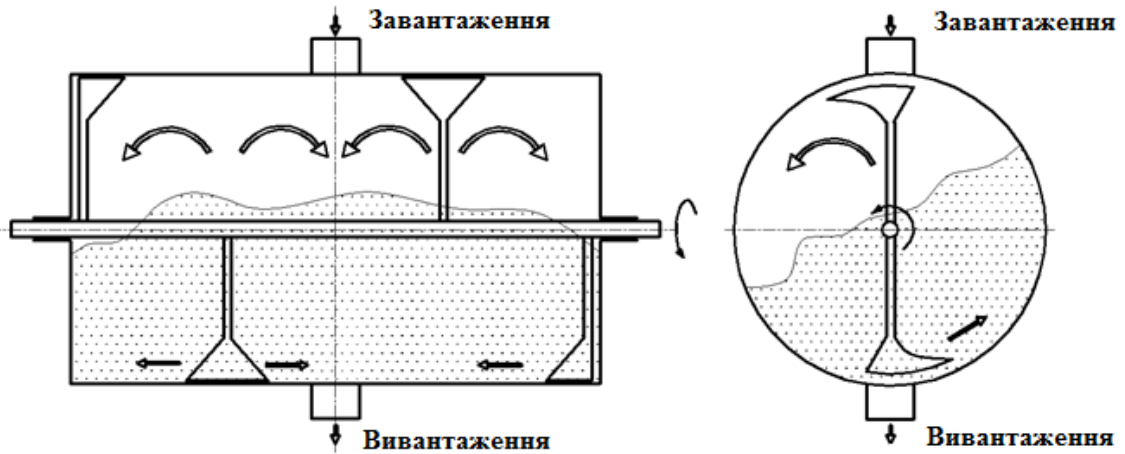


Рисунок 1.4 - Плужні змішувачі



Рисунок 1.5 - Змішувач стрічковий фірми SHUANGLONG GROUP

(Китай) [17].

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.

1.4 Вертикальні конічні та планетарно-шнекові

Вертикальні конічні змішувачі є простими по конструкції та надійними.



Рисунок 1.6 - Вертикальний стрічковий змішувач [23]

Змішувач являє собою, одношаровий вертикальний конічний, герметичний резервуар з подвійної спіральної мішалкою.

Потужність приводу пристроями, змішувача 7,5 кВт, робочий число обертів -10 об/хв.

Змішувач кріпиться до рами, через гумові подушки.

На корпусі ємності встановлений вібраційний генератор.

Завантаження в резервуар змішувача виробляється з другого поверху, через трубу з конусом і опорними ґратами, для запобігання потрапляння порожнього мішка всередину змішувача. На кришці встановлено штуцер для видалення пилу (покупна гофре труба для витяжки).

Спіральна мішалка складається з малої внутрішньої спіралі, і великий зовнішній, що має вигляд конуса. Спирається мішалка на знімну, через фланець, підшипникову опору з сальникової набиванням.

Розвантаження відбувається через шиберні засувки з ручним приводом через редуктор. Висота вивантаження -700мм

Цій змішувачі можуть бути альтернативою розглянутим нижче планетарно-шнековим змішувачам.

С.Ф. НДІхіммаш 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 невелику насипну вагу, спостерігався мало інтенсивний рух або повна його відсутність - матеріал обертвся 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 м³ для приготування сумішей карбонільного заліза. Карбонільне 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 залишалася 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.

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

Класична конструкція, це вертикальний конічний корпус, в якому обертається шнек, який транспортує сипучий матеріал вгору (рис.1.7). Верхній підшипниковий вузол шнека встановлений на водило, яке обертається навколо осі корпусу. Утворює шнека паралельна утворює конуса. Між корпусом і шнеком є проміжок 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.

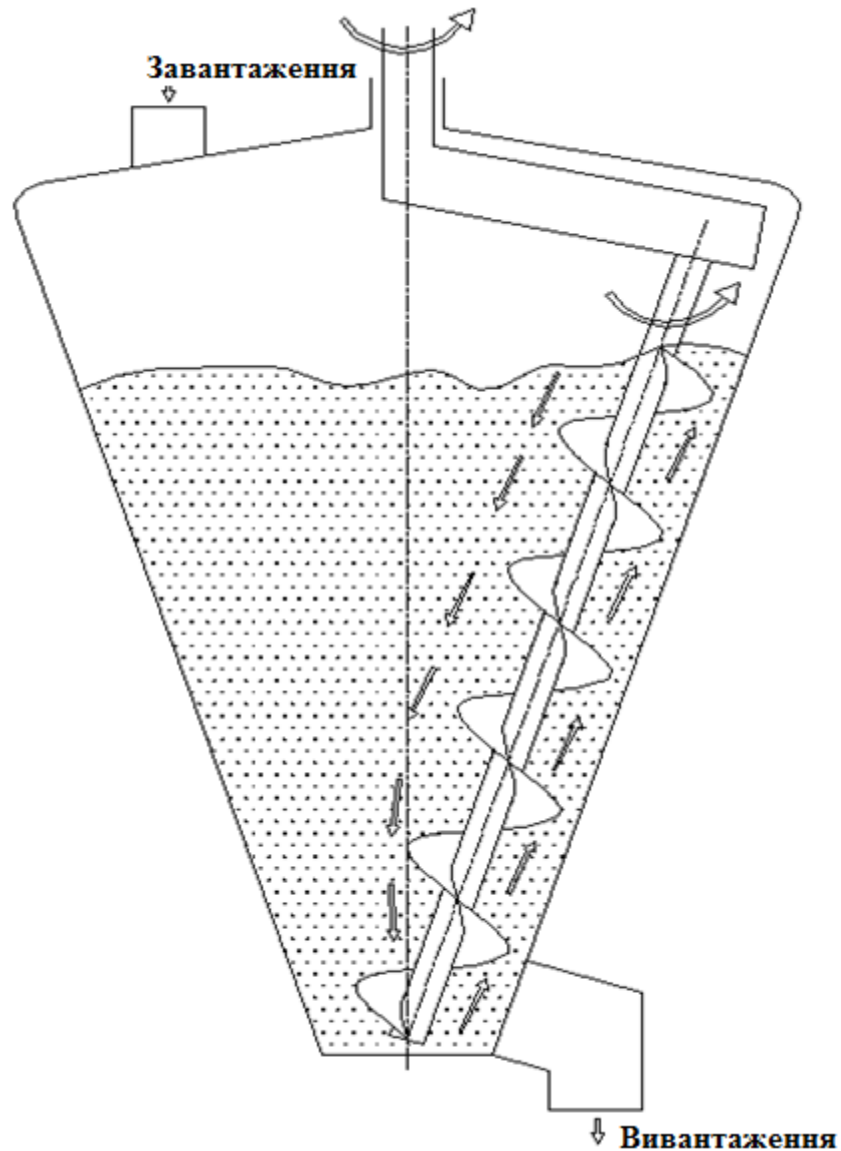


Рисунок 1.7 - Планетарно-шнековий змішувач

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.

Фірма має великий досвід впровадження цієї конструкції в різні виробництва. Крім класичної конструкції, пропонуються численні

модифікації: з додатковою стрічковою мішалкою, з двома шнеками, 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 0,6 МПа 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 усереднювача. 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 усереднювачів зазвичай не потрібна висока продуктивність, але необхідна висока однорідність суміші, можливість досить тривалого зберігання і надійна вивантаження. Усереднювачі мають робочий об'єм, який необхідний для напрацювання партії однорідного продукту. Іноді усереднювачі виконують з двошвидкісним приводом. Висока швидкість застосовується в процесі змішування, а низька при зберіганні сипучого матеріалу, щоб запобігти злежуванню.

Кут підйому витків шнека рекомендується приймати не більш 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.

Якщо виникає необхідність подрібнення агрегатів, що утворюються при змішуванні, застосовуються подрібнюючі головки, що представляють собою швидкохідні обертові елементи, зазвичай безпосередньо з'єднані з ротором електродвигуна.

С.ф.НДІхіммаш розробив типорозмірний ряд планетарно-шнекові змішувачів з робочими об'ємами 0,63; 1,6; 3,2; 6,3; 10; 16 м³ [4].

Вони призначені для змішування і усереднення партій сипучих матеріалів розміром частинок не більше 5 мм, насипною щільністю не більше 1300 кг/м³.

Змішувачі обсягами 1,6; 3,2; 6,3; 10; 16 м³ мають змішувальну камеру конічної форми (рис.1.8), 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 $0,63 \text{ м}^3$ - 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 черв'ячну передачу.

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

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 ПА-Т4 по ГОСТ 12.1.011-78; ВБК - корозійна, вибухонебезпечна, категорії і групи ПА-Т4 по ГОСТ 12.1.011-78.

Як приклад розглянемо конструкцію і технічні характеристики змішувача ПШ-6300 (рис.1.8).

Технічна характеристика

Обсяг змішувальної камери, м³:

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

водида 1,68

Мотор-редуктор приводу:

шнеків:

тип: для виконань НБУ і НБК МП02-15ВК-24.6-11 / 59-4А132М4

для виконань ВБУ і ВБК МП02-15ВК-24,6-11/59-В132М4

потужність, кВт 11

частота обертання електродвигуна,

об/хв 1500

водида:

тип:

для виконань НБУ і НБК МПО2-10Ф-28,2-3 / 48-4А100S4

для виконань ВБУ і ВБК МПО2-10Ф-28,2-3/48-В100S4

потужність, кВт 3

частота обертання електродвигуна, об/хв 1500

Привід розвантажувального затвора -

пневмоциліндр 1412-100x200

Габаритні розміри, мм:

довжина 3165

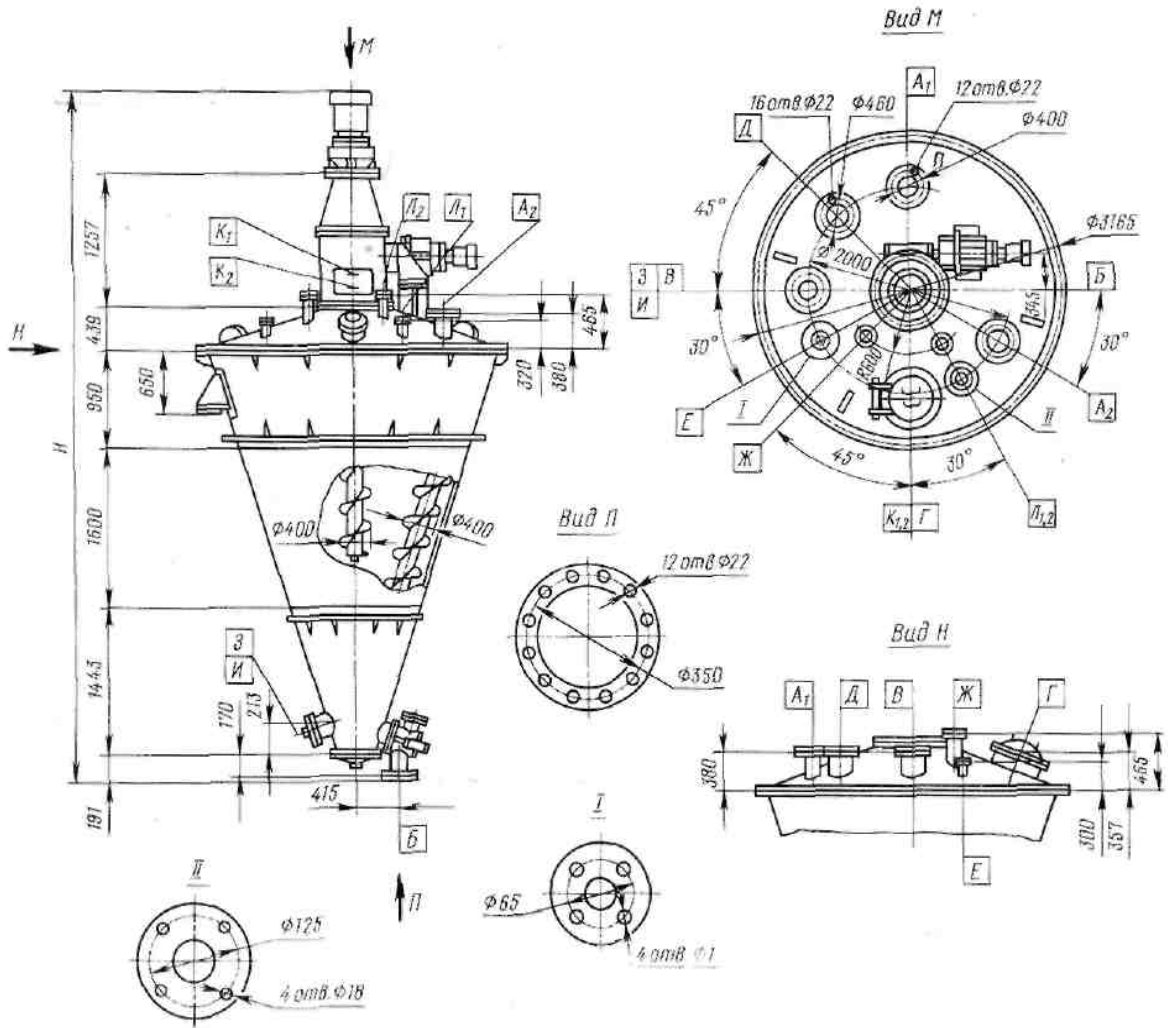
ширина 3165

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.	

Планетарно-шнекові змішувачі є однією з широко розповсюджених конструкцій в світі, численні фірми займаються випуском цій конструкції, наприклад фірма «ЕлеМаш» (Білорусь) (рис.1,9).



План розташування отворів під фундаментні болти

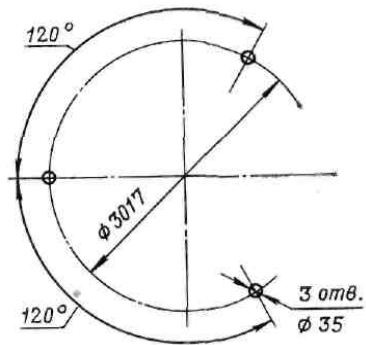


Рисунок 1.8 - Габаритні та приєднувальні розміри змішувача ПШ-6300 [3]



Рисунок 1.9 – Планетарно-шнековий змішувач фірми «ЕлеМаш»
(Білорусь) [19]

1.5 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 (рис.1.10). 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].

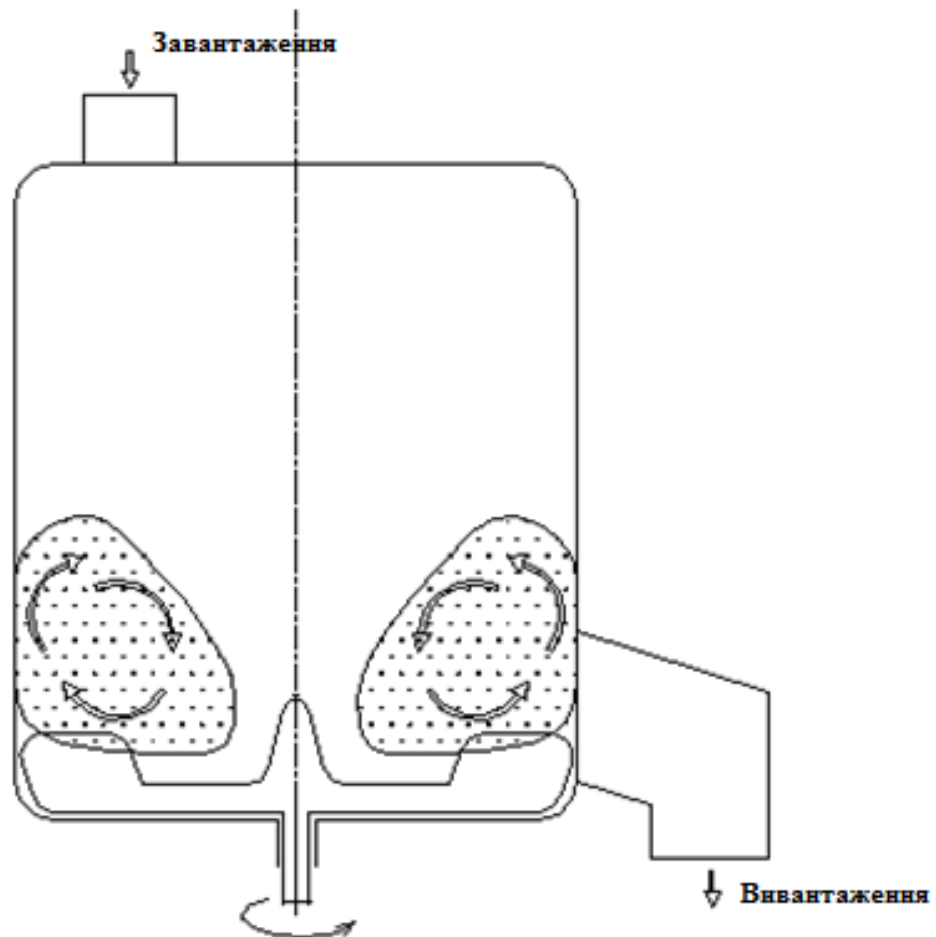


Рисунок 1.10 - Відцентровий змішувач

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

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

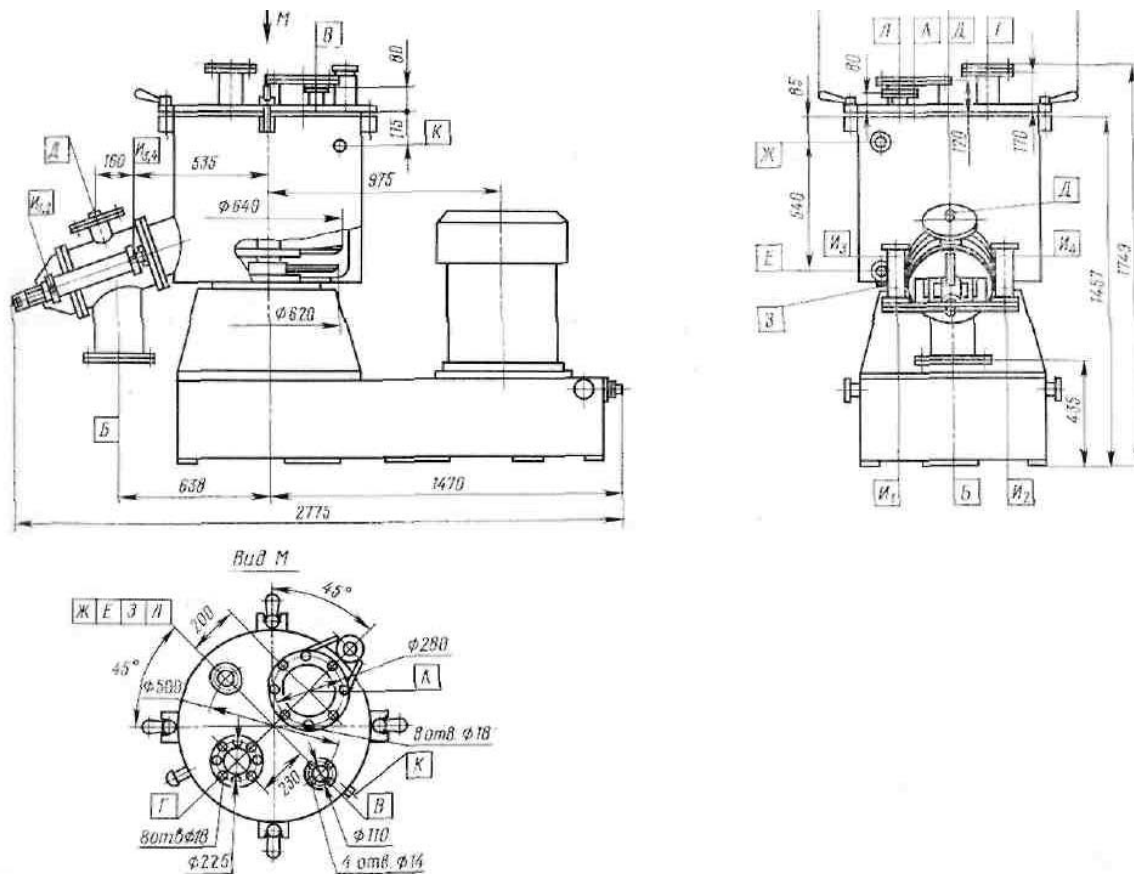


Рисунок 1.11 - Відцентровий змішувач ЦЛ-160 ВРК
(конструкція С.ф.НДІхіммаш) [3]

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

1.6 Двохроторні

Даний тип має два горизонтальних ротора що обертаються в різні сторони. При роботі на сипких матеріалах ротори обертаються вони піднімають його в центрі корпусу вгору.

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



Рисунок. 1.12 - Двохроторний змішувач фірми SHENGLI (Китай) [20].



Рисунок 1.13 - Робочі елементи двохроторного змішувача. Вид з гори.

1.7 Двохроторні з Z-подібними лопатями

Змішувачі мають два розташованих горизонтально ротора з паралельними осями (рис. 1.14). Ротори мають форму, призначену для роботи з високов'язкими матеріалами. Конструкції роторів можуть бути різні. В Сєвєродонецької філії НДІХІММАШ найчастіше застасовували Z-образні ротори, тому за цим типом змішувачів і закріпилася така назва [1].

Ротори обертаються з різними частотами обертання.

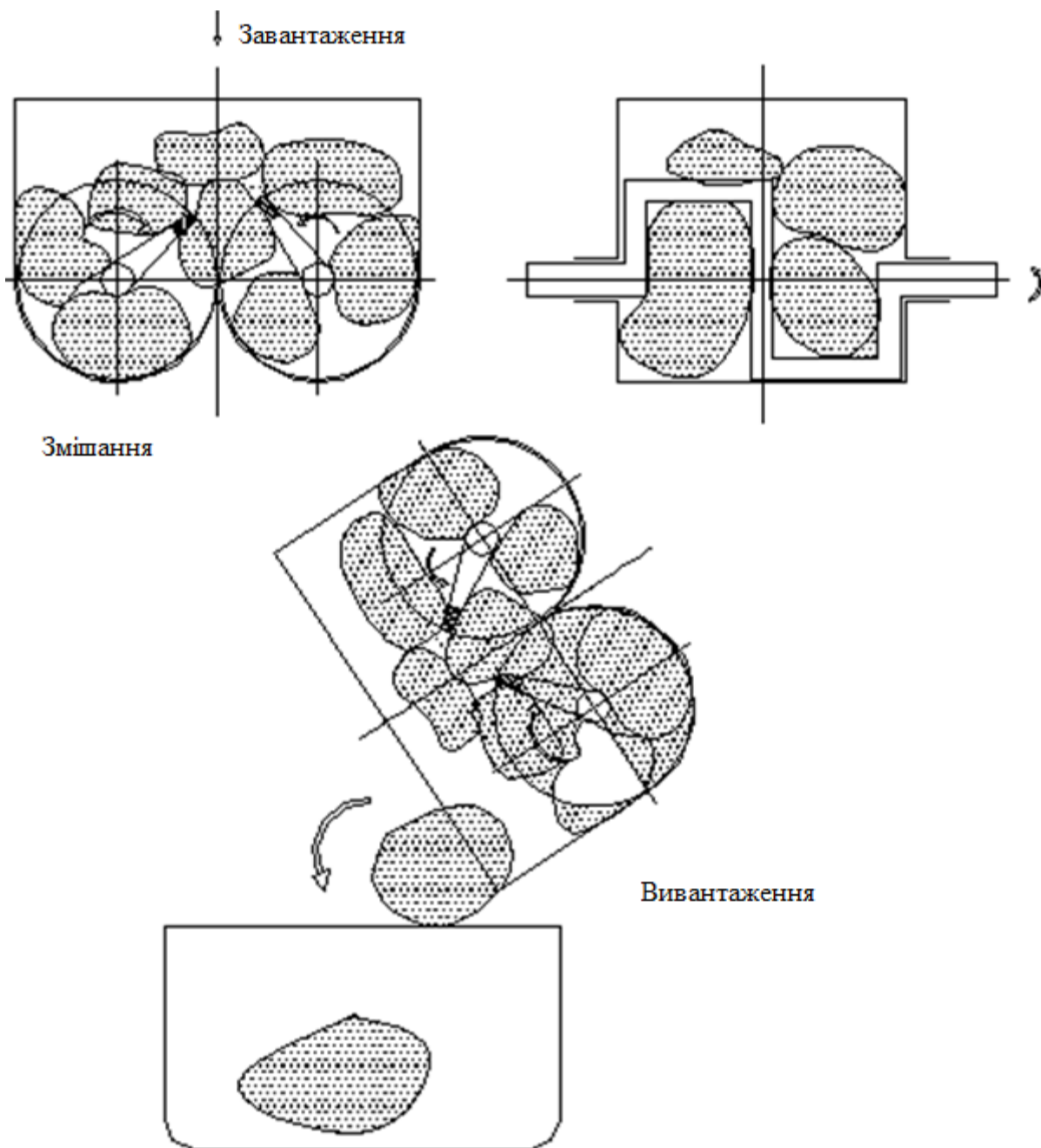


Рисунок 1.14 - Змішувачі з Z-подібними лопатями

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.

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

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

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 скребків. Їх застосування виправдане при проведенні складних процесів: змішання паст або приготування паст із сипучих компонентів.

1.8 Двохроторні 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 (рис.1.15).

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.



Рисунок 1.15 - Змішувачі ЗШ-400 (ТОВ «ГК ЕВРОХІММАШ К.О.», Україна), [22]

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 змішувачами ЗЛ.

1.9 Безперервної дії

Ці змішувачі використовуються для безперервного приготування сипких або пастоподібних змісив. Компоненти безперервно подаються в змішувачі, готова змісь безперервно видається в технологічний процес.

В цьому процесі однорідність зміси залежить як від точності дозування компонентів, так і від згладжуючої здібності змішувача.

Як приклад розглянемо дві конструкції С.ф.НДІхіммаш [3]:
змішувач безперервної дії НДЦ-25 (рис. 1.16) для сипких матеріалів та СНД-650 для пастоподібних матеріалів (рис. 1.17).

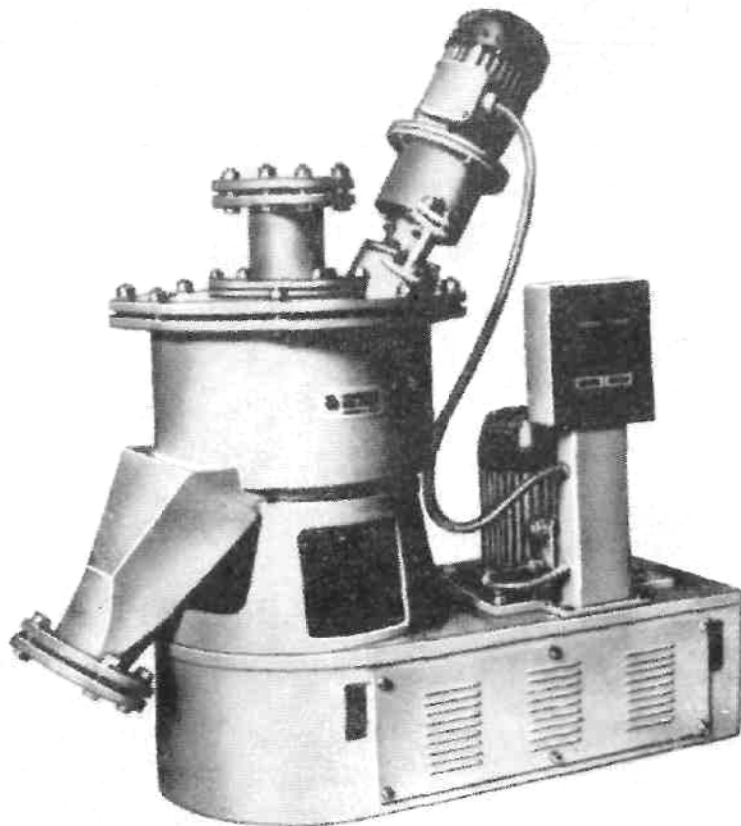


Рисунок 1.16 - Змішувач НДЦ-25

Призначений для змішування сипучих компонентів насипною щільністю не більше 1500 кг/м^3 , а також сипучих з невеликою кількістю рідких компонентів за умови отримання готового продукту у вигляді сипучої суміші.

Змішувач складається з корпусу з кришкою, ротора, що живить тарелі, розвантажувальної лопаті і нерухомого направляючого конуса.

Ротор має форму полого усіченого конуса, закріпленого на валу вершиною вниз. Всередині ротора паралельно його утворює і в безпосередній близькості від стінки встановлений шнек.

Ротор і шнек приводяться в обертання за допомогою індивідуальних приводів.

Вихідні компоненти через завантажувальний штуцер в кришці корпусу подаються на живильну таріль, з якої під дією відцентрових сил скидаються на стінки направляючого конуса і надходять в нижню частину ротора. Далі під дією відцентрових сил компоненти, переміщаючись вгору по конічній поверхні ротора і піддаючись впливу шнека, змішуються. Шнек зміщує деяку частину матеріалу вниз, тобто протилежно його руху в конічному роторі. Завдяки такій циркуляції забезпечується висока інтенсивність змішування.

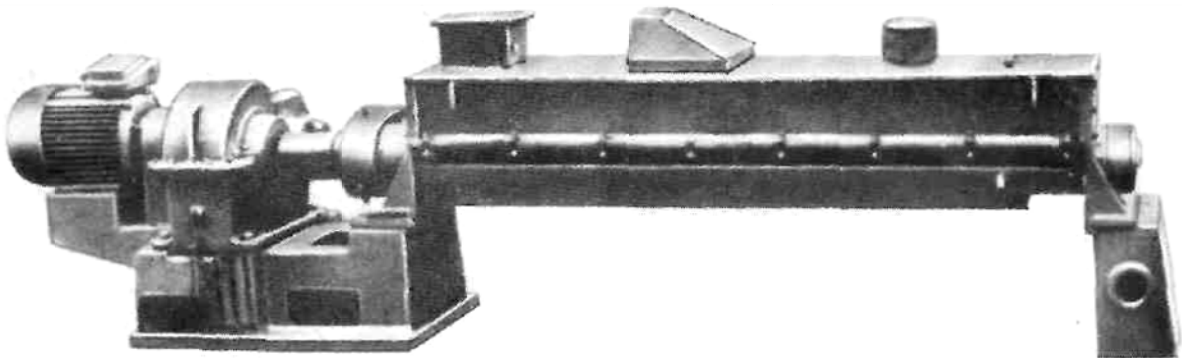


Рисунок 1.17 - Змішувач СНД-650

Призначений для приготування паст свинцево-кислотних акумуляторів, може бути використаний також для приготування інших пастоподібних сумішей динамічною в'язкістю від 200 до 105 Па · с.

Змішувач складається з камери змішувача з сорочкою. Середовище в сорочці - вода. Усередині камери змішувача розміщені два ротори, що

представляють собою вали з закріпленими на них лопатками. Всі вузли змонтовані на рамі.

Привід роторів - від електродвигуна через редуктор і муфти.

На кришці змішувача розташовані штуцери для завантаження матеріалу і технологічні. Вивантаження продукту - через штуцер в кінці камери змішувача.

Середовище в камері змішувача - корозійне, не вибухонебезпечне.

Слід відмітити, що змішувачі безперервної дії безумовно вигрівають у змішувачів періодично дії по економічним показникам. На одиницю готової продукції вони витрачають менше енергії, мають меншу металоємність, спрощується обслуговування під час роботи. Питання ставилося таким чином – слід відмовлятися від періодичних процесів та переходити на безперервні.

Але безперервні змішувачі уступають періодичним в головному – якості змішування.

Одним часом була мода на безперервні процеси. Їх застосували там де це потрібно та непотрібно. В результаті мали проблеми на виробництві.

Крім періодичних та безперервних процесів існують ще циклічні, коли в безперервної технологічної лінії паралельно роблять декілька машин періодичної дії. Така схема дуже надійна якщо установити резервні одиниці.

Треба при проектуванні технологічних ліній розглядати і цей варіант.

2 Мета та задачі досліджень

Метою досліджень є виявлення енерговитрат при перемішуванні сипких матеріалів в планетарно-шнековому змішувачі (ПШ-24).

Особлива увага надана впливу коефіцієнту заповнення корпусу на енергетичні витрати.

Крім того, оскільки мова іде про змішувачі, необхідно визначити ефективність процесу змішування та рекомендувати шляхи удосконалення цього процесу.

Необхідно досліджувати інформацію по даній темі – змішувачі сипких та пастоподібних матеріалів. Виявити найбільш розповсюджені конструкції, оцінити їх галузі застосування.

Визначити галузі застосування даної конструкції – планетарно-шнекових змішувачів, можливі ринки збуту та визначити номенклатуру випуску. Оцінити рентабельність виготовлення.

Слід встановити, наскільки цей апарат конкурентоспроможний.

Корисно прагнути до велика серійного випуску обладнання. Розробити рекомендації до розробки типорозмірного ряду змішувачів, який буде стандартизований та уніфікований. Випускати одиничну продукцію не буде економічно доцільно, оцінюючи час та кошти які будуть застосовані для проектування, комплектації машин.

Уділяти увагу мерам що направлені на підвищення ефективності апарату, збільшення строку служби, надійності та зручності обслуговування, зниження собівартості та інше.

3 Дослідження впливу коефіцієнта заповнення корпусу на енергетичні витрати

Для проведення експериментів був використаний лабораторний змішувач ПШ-24.

Лабораторний змішувач ПШ-24 є модернізованим змішувачем фірми «Nauta» (Нідерланди). В ньому були замінені двигун перемінного струму на двигун постійного струму, що дозволило здійснювати зміну частоти обертів водила та шнека. Був змінений оригінальний шнек на шнек з кутом підйому витка $21^{\circ}40'$.

Технічні характеристики змішувача ПШ-24

Робочий об'єм, л	20-30;
Привід:	
Двигун постійного струму	
Тип МИ-32	
Потужність, кВт	0,78;
Напруга обмотки збудження, В	220;
Струм обмотки збудження, А	0,3;
Частота обертання ротора, об/хв.	0-2500;
Напруга на якорі, В	0-220;
Струм якоря, А	0-4,1;
Збудження незалежне	
Клино- ремінна передача	
Передаточне число, і	1,7

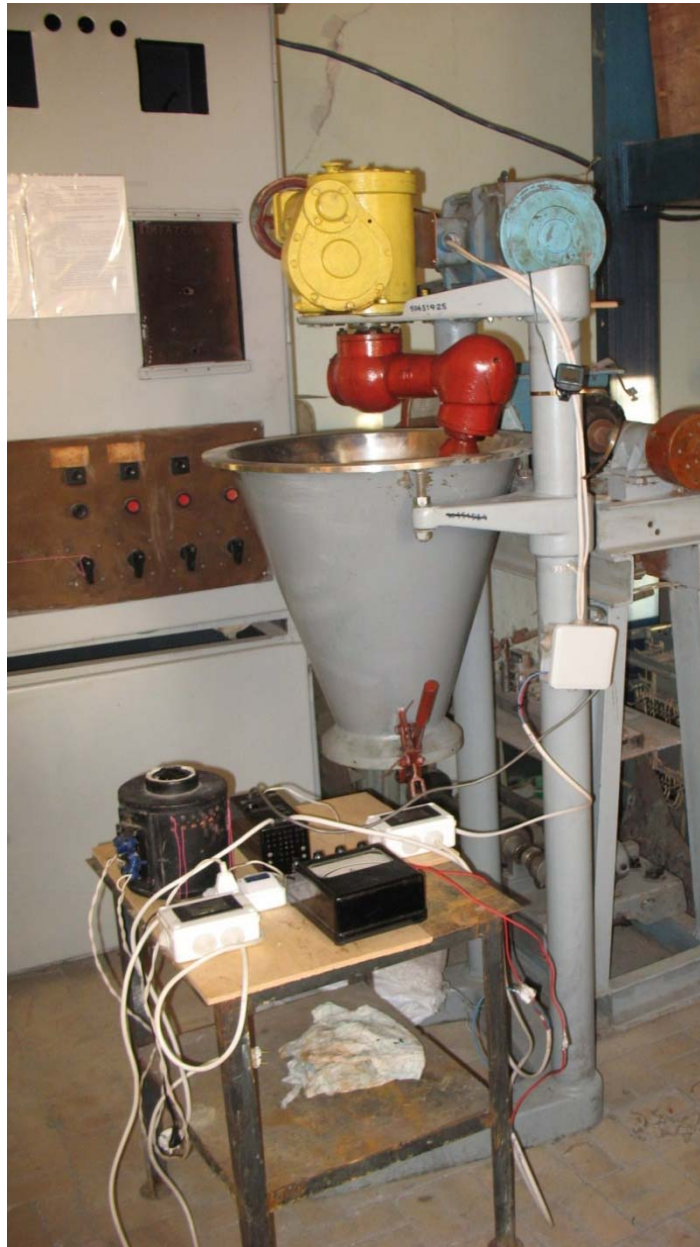


Рисунок 3.1 - Змішувач ПШ-24 (модернізований планетарно-шнековий змішувач фірми «Nauta»(Нідерланди).

Редуктор оригінальний конструкції фірми «Nauta».

Має один вхідний вал та два вихідних для привода шнека та водила.

На шнек момент передається через черв'ячну передачу.

На водило через черв'ячну передачу-зубчасту передачу-черв'ячну передачу.

Передаточне число на шнек , $i=8,24$;

Передаточне число на водило, $i=21,36$;

Співвідношення частот обертання водила та шнека постійне, $i=17,8$;

При проведенні експериментів практично змінювались:

Частота обертання шнека, $n_{ш}$, об/хв. 0-71;

Частота обертання водила $n_{в}$, об/хв. 0-4.

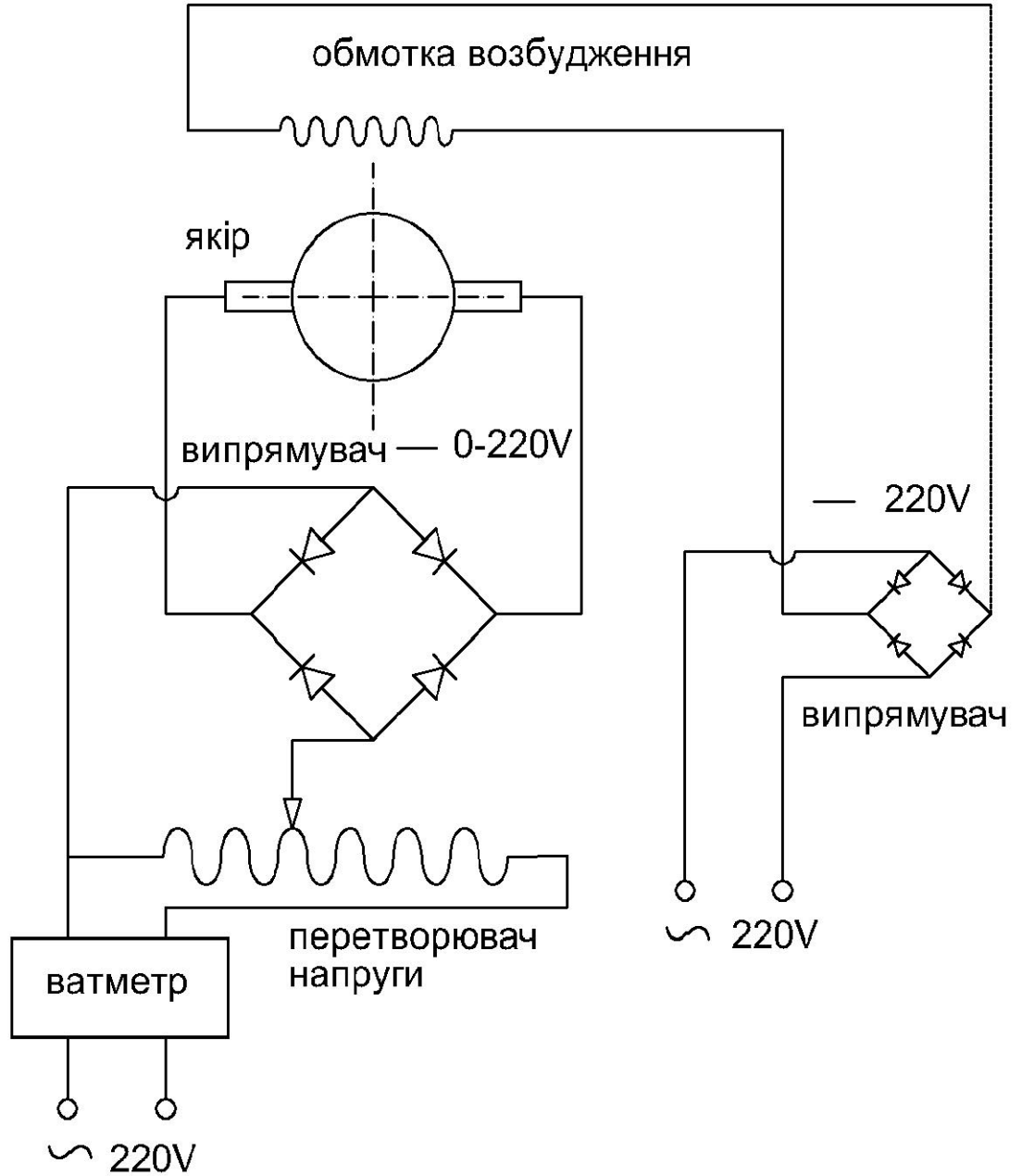


Рисунок 3.2 - Схема підключення двигуна

3.1. Конструкція шнеків

Шнеки планетарно - шнекових змішувачів мають наступні характеристики [2], табл.3.1:

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики шнеків планетарно-шнекових змішувачів

Змішувач	Зовнішн діаметр, мм	Внутрішн . діаметр, мм	Шаг шнека, мм	Товщина витка, мм	Кут підйому витка по зовнішн. діаметру, °	Кут нахилу осі шнека до вертикалі, °
ПШ-20 (лабораторний)	50	18	32	2	11,5	17
ПШ-24 (лабораторний)	140	25	175	2	21,7	17
ПШ-1000 фірми «Nauta»	310	60	250	5	14,4	17

Очевидно, що кут підйому витка шнека на зовнішньому діаметрі для шнека змішувача ПШ-24 значно більше, ніж на оригінальному шнеку змішувача фірми «Nauta». Було відмічено, що при роботі ПШ-24 спостерігалось значне коливання стрілки амперметра, що свідчить про зміну моменту опору. Тому можливо припустити, що кут $21,7^\circ$ є занадто великий.

3.2 Теоретичне визначення витрат енергії на перемішування в планетарно-шнекових змішувачах

Планетарно-шнекові змішувачі широко використовуються для змішування сипучих матеріалів в хімічній промисловості [1], [2]. Однією з проблем що виникають при їх проектуванні є відсутність надійної методики розрахунку моменту, осьових навантажень діючих на шнек, витрати енергії на перемішування. Нижче пропонується методика розрахунку цих величин.

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

$$dL = \frac{dh}{\cos \alpha}, \text{ діаметр } D_s, \text{ рівний зовнішньому діаметру витків шнека.}$$

На виділений шар сипучого матеріалу, що піднімається по шнеку, діють наступні сили: його вага – dG ; сила тертя, що виникає на циліндричній поверхні при обертанні шнека, – dF ; сила дії витка шнека – dP . Сила dF залежить від тиску сипучого матеріалу на циліндричну поверхню елемента. Всі сили вважаємо прикладеними в одній точці на відстані $D_s/2$ от осі шнека. Ось шнека нахилена до вертикальної осі конічного корпусу під кутом α , рівним половині кута при вершині конуса. На Рис. 1 наведена схема, яка пояснює просторове розташування цих сил.

Сипучий матеріал має наступні фізико-механічні характеристики: насипну масу – ρ_n , кг/м³, кут внутрішнього тертя – φ , кут зовнішнього тертя – φ_e [3], [4].

Рівняння рівноваги сил, що діють по осі Z

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

де: θ - кут підйому зовнішньої кромки витка шнека.

З цього рівняння отримуємо залежність

$$dP = \frac{dF \cdot \cos(\theta + \varphi_e) + dG \cdot \cos \alpha}{\cos \gamma}, \text{ Н.} \quad (3.2)$$

Кут γ в цих рівняннях дорівнює

$$\gamma = \arctg \left(\frac{dF \cdot \sin(\theta + \varphi_e)}{dG \cdot \cos \alpha + dF \cdot \cos(\theta + \varphi_e)} \right). \quad (3.3)$$

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

$$\sigma_s = \sigma_z. \quad (3.4)$$

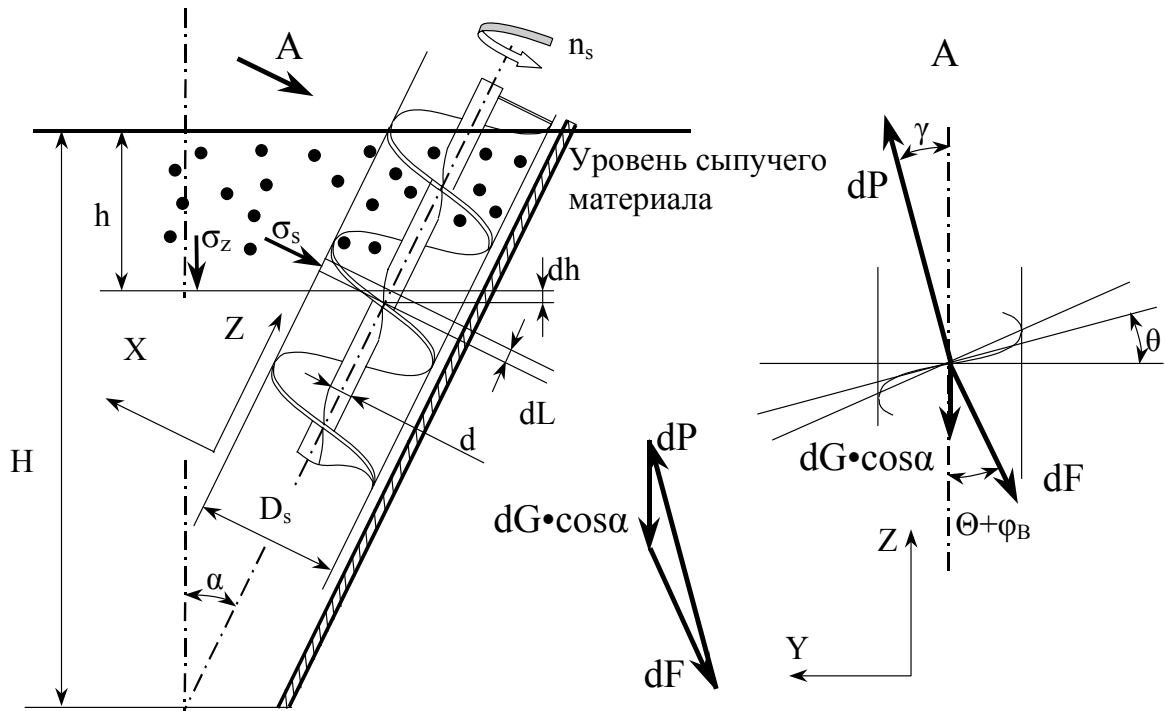


Рисунок 3.3 - Схема сил, що діють на шар сипучого матеріалу, що піднімається по шнеку

Сила тертя, що діє на циліндричну поверхню шару дорівнює

$$dF = \pi \cdot D_s \cdot \frac{dh}{\cos \alpha} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sigma_s. \quad (3.5)$$

Вага шару

$$dG = \pi \cdot \rho_n \cdot g \cdot \frac{(D_s^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{dh}{\cos \alpha}, \quad (3.6)$$

де d - діаметр вала шнека, м.

Для визначення вертикального тиску сипучого матеріалу в конусі скористаємося методом плоских перетинів. Розглянемо рівновагу циліндричного елемента сипучого матеріалу висотою dh , що знаходиться на глибині h від поверхні сипучого матеріалу (рис.3.4).

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

$$\sigma_r = \sigma_z \cdot \mu, \quad (3.7)$$

де μ - коефіцієнт бокового тиску.

$$\mu = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}. \quad (3.8)$$

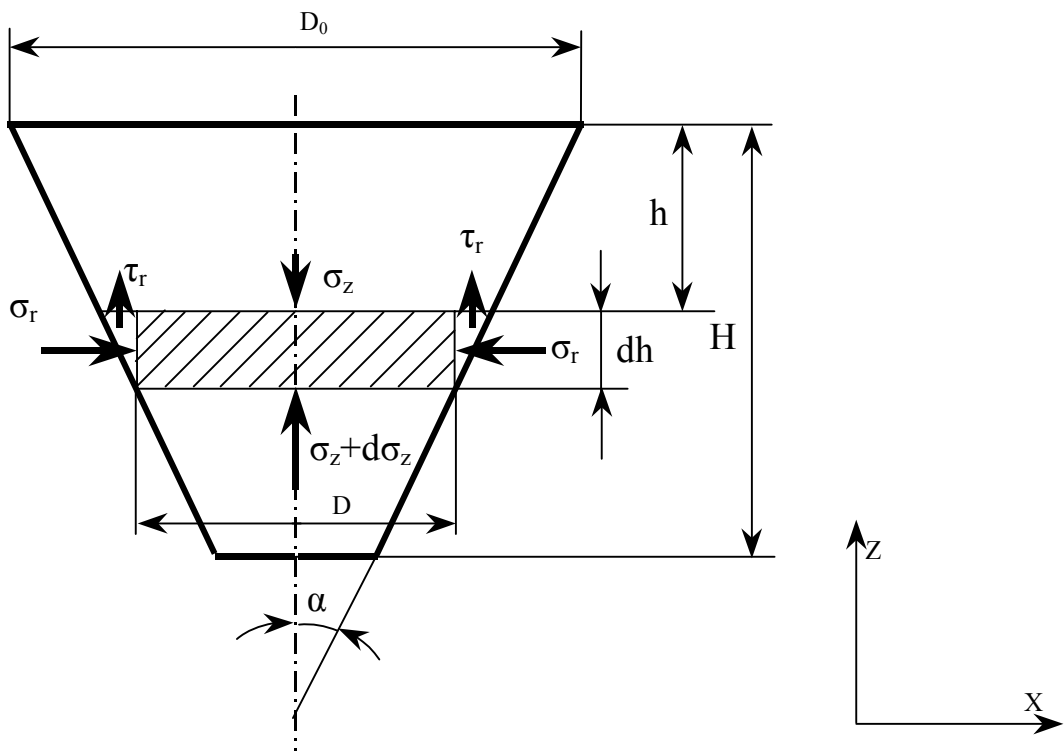


Рисунок 3.4 - Схема сил, що діють на елемент сипучого матеріалу, що знаходиться в конічному бункері.

$$d\sigma_z = \rho_H \cdot g \cdot dh - \frac{4}{D_{есv}} \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sigma_z \cdot dh, \text{ Па}, \quad (3.9)$$

$$D_{ecv} = D - \frac{D_s}{\cos \alpha}, \quad (3.10)$$

$$D = \frac{(D_s + 2 \cdot \Delta)}{\cos \alpha} + 2 \cdot (H - h) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.11)$$

де: D_{ecv} - еквівалентний діаметр, м;

D - діаметр конічного корпусу на глибині $h+dh$, м;

Δ - зазор між шнеком і корпусом, м.

Момент опору обертанню, діючий на шар сипучого матеріалу висотою dL , що рухається по шнеку

$$dM = \frac{\sin \gamma \cdot D_s}{2} \cdot dP. \quad (3.12)$$

Осьова сила, що діє на шар сипучого матеріалу висотою dL , що рухається по шнеку

$$dP_{oc} = \cos \gamma \cdot dP. \quad (3.13)$$

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

$$N_s = M \cdot \omega_s, \text{ Вт}, \quad (3.14)$$

де ω_s - кутова швидкість обертання шнека, рад/с.

Якщо скористатися формулою, що визначає осьовий тиск сипучого матеріалу σ_z в вертикальному конічному корпусі [5],

$$\sigma_z = \frac{\rho_H \cdot g}{1-A} \cdot (H-h)^A \cdot H^{1-A} \cdot \left[1 - \left(\frac{H-h}{H} \right)^{1-A} \right], \quad (3.15)$$

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

то після інтегрування диференціального рівняння:

$$dM = \pi \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \sin(\theta + \varphi_\epsilon) \cdot \sigma_z \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{dh}{\cos \alpha} \quad (3.16)$$

і множення його на ω_s , отримаємо формулу для визначення потужності, споживаної шнеком змішувача.

$$N_s = \pi \cdot \rho_H \cdot g \cdot \sin(\theta + \varphi_\epsilon) \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot \frac{H^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha \cdot (2 \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha)} \cdot \omega_s \quad (3.17)$$

Таким чином, можна розрахувати потужність, споживану шнеком або чисельним інтегруванням, скориставшись залежностями (3.1) - (3.14), або використовувати для цієї мети формулу (3.17).

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

$$P_{oc} = \pi \cdot \rho_H \cdot g \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot H \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot H \cdot \cos(\theta + \varphi_\epsilon) \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha}{D_s \cdot \cos \alpha \cdot (2 \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha)} \right] \quad (3.18)$$

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

У таблиці 3.2 наведені дані отримані при перемішуванні крупно-дисперсного абразивного матеріалу - периклаза в планетарно-шнековому змішувачі фірми "Nauta". Змішувач мав діаметр шнека - 0,310 м, кут нахилу шнека до осі корпусу - 17°, кут підйому гвинтової лінії шнека - 14°, частоту обертання шнека - 60 об/хв, частоту обертання водила - 2 об/хв. Привід

шнека мав асинхронний двигун потужністю 7,5 кВт, конічної-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 3.2 - Експериментальні дані іспиту планетарно-шнекового змішувача фірми "Nauta

маса завантаження, кг	Глибина занурення нижнього кінця шнека в сипучий матеріал, м	Розрахункові значення		Експериментальні значення			
		Витрата енергії, отримана чисельним методом, (3.2.14), Вт	витрата енергії за формулою (3.2.17), Вт	Витрата енергії шнеком при нерухомому водила, з урахуванням ККД	Витрата енергії шнеком при нерухомому водила, Вт	Витрата енергії шнеком при рухомому водила, Вт	Витрата енергії водила, 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 3.3 наведені експериментальні дані, отримані при перемішуванні периклаза, в планетарно-шнековому змішувачі ПШ-1 конструкції Северодонецького НДІХІММАШ. Змішувач мав зовнішній діаметр шнека (конічного) - 0,20 м, кут нахилу шнека до осі корпусу - 15°, кут при вершині конічного корпусу - 17°, кут підйому гвинтової лінії шнека - 17°, 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° , кут зовнішнього тертя - 23° , насипну щільність 1800 кг/м^3 .

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

З таблиці 1 випливає, що при включеному 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 [6].

Таблиця 3.3 - Експериментальні дані, отримані при перемішуванні периклаза, в планетарно-шнековому змішувачі ПШ-1

маса завантаження, кг	Глибина занурення нижнього кінця шнека в сипучий матеріал, м	Розрахункові значення		Експериментальні значення		
		Витрата енергії, отримана чисельним методом, (14), Вт	Витрата енергії за формулою (17), Вт	Витрата енергії шнеком з урахуванням ККД приводу, Вт	Витрата енергії шнеком, Вт	витрата енергії водила, 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

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 (3.5), (табл.3.4). 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. При сильному зносі 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.

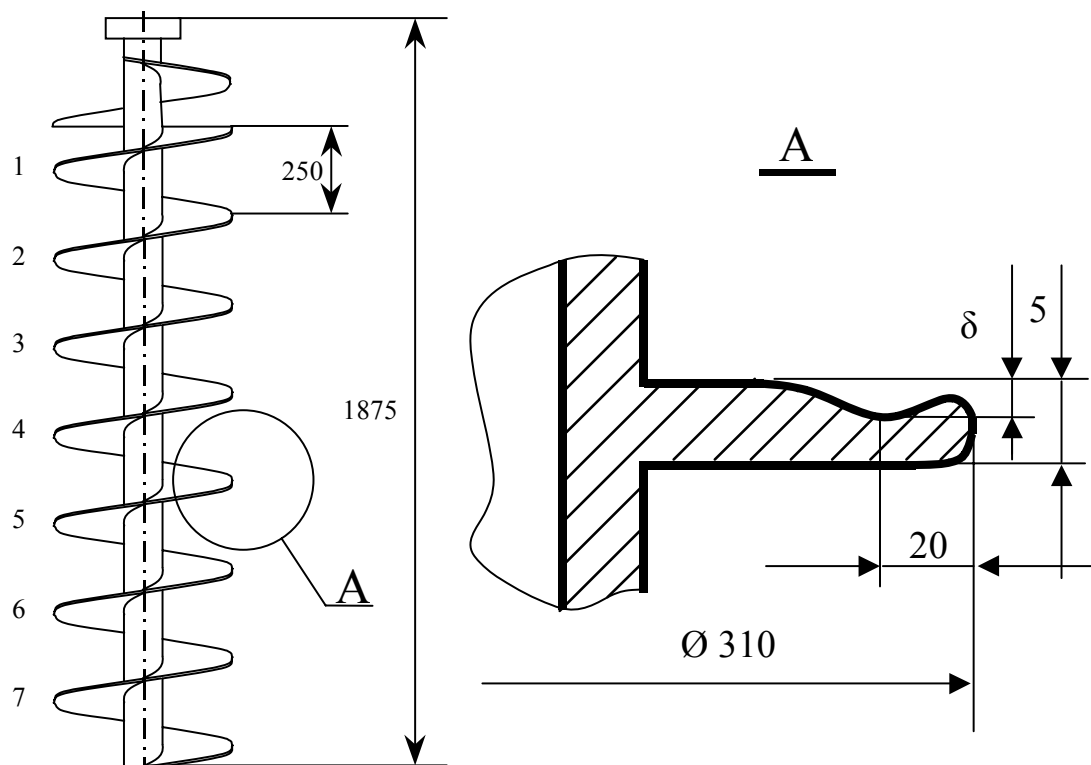


Рисунок 3.5 - Знос витків шнека.

Таблиця 3.4- Знос витків шнека.

№ витка	1	2	3	4	5	6	7
Знос витка	0,3	1,3	2,7	5,0	3,5	2,4	0,1
δ , мм	3	0	0	0	0	0	0

3.3 Експериментальне визначення енергетичних витрат

Результати експериментів по змішуванню сухого піску в змішувачі ПШ-24 приведені в цій підрозділі.

Матеріали для досліджень:

Пісок Сєверодонецького кар'єру:

насипна маса - 1600 кг м^3 ;

середній розмір частинок - $0,15 \text{ мм}$;

середньоквадратичне відхилення розмірів частинок - $0,1 \text{ мм}$;

кут природного укосу - 34° ;

вологість - 0% .

Чавунна тирса :

насипна маса - 3350 кг / м^3 ;

середній розмір частинок - $0,4 \text{ мм}$;

середньоквадратичне відхилення розмірів частинок - $0,15 \text{ мм}$;

кут природного укосу - 42° ;

вологість - 0% .

Експериментальне визначення енергозатрат на перемішування N , Вт визначається як різниця змряної потужності під загрузкою $N_{и}$, Вт та потужності холостого руху $N_{хх}$, Вт

$$N = N_{и} - N_{хх}. \quad (3.3.1)$$

Отримані результати приведені в табл. 3.5-3.13.

Витрати енергії на холостому ході приведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Енергетичні витрати на холостому ході

Холостий хід			Показання ватметра PZEM-021			
Частота обертів						
двигуна об/хв	шнека об/хв	води́ла об/хв	N, W	U, V	I, A	cosφ
100	7,14	0,4	16,5	231	0,09	0,79
200	14,29	0,8	20,9	229	0,11	0,82
300	21,43	1,2	27,0	229	0,14	0,84
400	28,57	1,6	35,0	229	0,18	0,84
500	35,71	2	41,6	230	0,22	0,82
750	53,57	3	60,9	232	0,32	0,82
1000	71,43	4	84,6	232	0,45	0,81
1250	89,29	5	108,0	232	0,57	0,81
1500	107,14	6	128,0	232	0,68	0,81

Таблиця 3.6 - Енергетичні витрати при завантаженні 5 л піску

Завантаження 5 л піску			Показання ватметра, PZEM-021				Споживана потужність,
Частота обертів							
двигуна об/мин	шнека об/мин	води́ла об/мин	N, W	U, V	I, A	cosφ	Nс, W
200	14,29	0,8	24,8	233	0,12	0,88	3,9
400	28,57	1,6	43,0	218	0,23	0,85	8,0
750	53,57	3	70,0	229	0,38	0,80	9,1
1000	71,43	4	100,0	230	0,53	0,82	15,4

Таблиця 3.7 - Енергетичні витрати при завантаженні 10 л піску

Завантаження 10 л піску			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність,
Частота обертів							
двигуна об/мин	шнека об/мин	води́ла об/мин	N, W	U, V	I, A	cosφ	Nс, W
200	14,29	0,8	37	233	0,21	0,75	16,1
400	28,57	1,6	57,0	218	0,3	0,87	22,0
750	53,57	3	98,0	229	0,52	0,82	37,1
1000	71,43	4	123,0	230	0,66	0,81	38,4

Таблиця 3.8 - Енергетичні витрати при завантаженні 15 л піску

Завантаження 15 л піску			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність,
Частота обертів			N, W	U, V	I, A	cosφ	
двигуна об/мин	шнека об/мин	води́ла об/мин					Nc, W
200	14,29	0,8	44	233	0,24	0,78	23,1
400	28,57	1,6	73,0	218	0,39	0,85	38,0
750	53,57	3	115,0	229	0,63	0,79	54,1
1000	71,43	4	150,0	230	0,82	0,79	65,4

Таблиця 3.9 - Енергетичні витрати при завантаженні 20 л піску

Завантаження 20 л піску			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність,
Частота обертів			N, W	U, V	I, A	cosφ	
двигуна об/мин	шнека об/мин	води́ла об/мин					Nc, W
200	14,29	0,8	55	233	0,29	0,81	34,1
400	28,57	1,6	80,0	218	0,43	0,85	45,0
750	53,57	3	135,0	229	0,74	0,79	74,1
1000	71,43	4	170,0	230	0,85	0,86	85,4

Таблиця 3.10 - Енергетичні витрати при завантаженні 25 л піску

Завантаження 25л піску			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність,
Частота обертів			N, W	U, V	I, A	cosφ	
двигуна об/мин	шнека об/мин	води́ла об/мин					Nc, W
200	14,29	0,8	57	233	0,3	0,81	36,1
400	28,57	1,6	93,0	218	0,52	0,82	58,0
750	53,57	3	151,0	229	0,81	0,81	90,1
1000	71,43	4	195,0	230	1,04	0,81	110,4

Таблиця 3.11 - Енергетичні витрати при завантаженні 30 л піску

Завантаження 30 л піску			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність,
Частота обертів			N, W	U, V	I, A	cosφ	
двигуна об/мин	шнека об/мин	води́ла об/мин					Nc, W
200	14,29	0,8	61	225	0,34	0,79	40,1
260	18,57	1,04	77	222	0,42	0,82	52,4
400	28,57	1,6	109	223	0,60	0,81	64,0
500	35,71	2	122,0	221	0,66	0,83	80,4
750	53,57	3	170,0	222	0,93	0,82	109,1
1000	71,43	4	216,0	220	1,17	0,83	125,4

Таблиця 3.12 - Енергетичні витрати при завантаженні 30 л піску з одним додатковим елементом

Завантаження 30 л піску			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність,
Частота обертів			N, W	U, V	I, A	cosφ	
двигуна об/хв	шнека об/хв	води́ла об/хв					Nc, W
260	18,57	1,04	70	228	0,36	0,85	50,44
500	35,71	2	120,0	226	0,65	0,81	85,0
1020	72,86	4,08	216,0	228	1,13	0,81	131,4

Таблиця 3.13 Енергетичні витрати при завантаженні 30 л піску з двома додатковими елементами

Загрузка 30 л піску			Показання ватметра PZEM-021				Потребляема потужність,
Частота обертів			N,W	U,V	I,A	Cosφ	
двиг об/мин	шнека об/мин	води́ла об/мин					Nc,W
260	18,57	1,04	77	222	0,42	0,82	52,4
500	35,71	2	122,0	221	0,66	0,83	87,0
1020	72,86	4,08	217,0	220	1,17	0,84	132,4

Результати приведені в табл. 3.6 - 3.13 зображені також в графічному вигляді на рис. 3.6; 3.7.

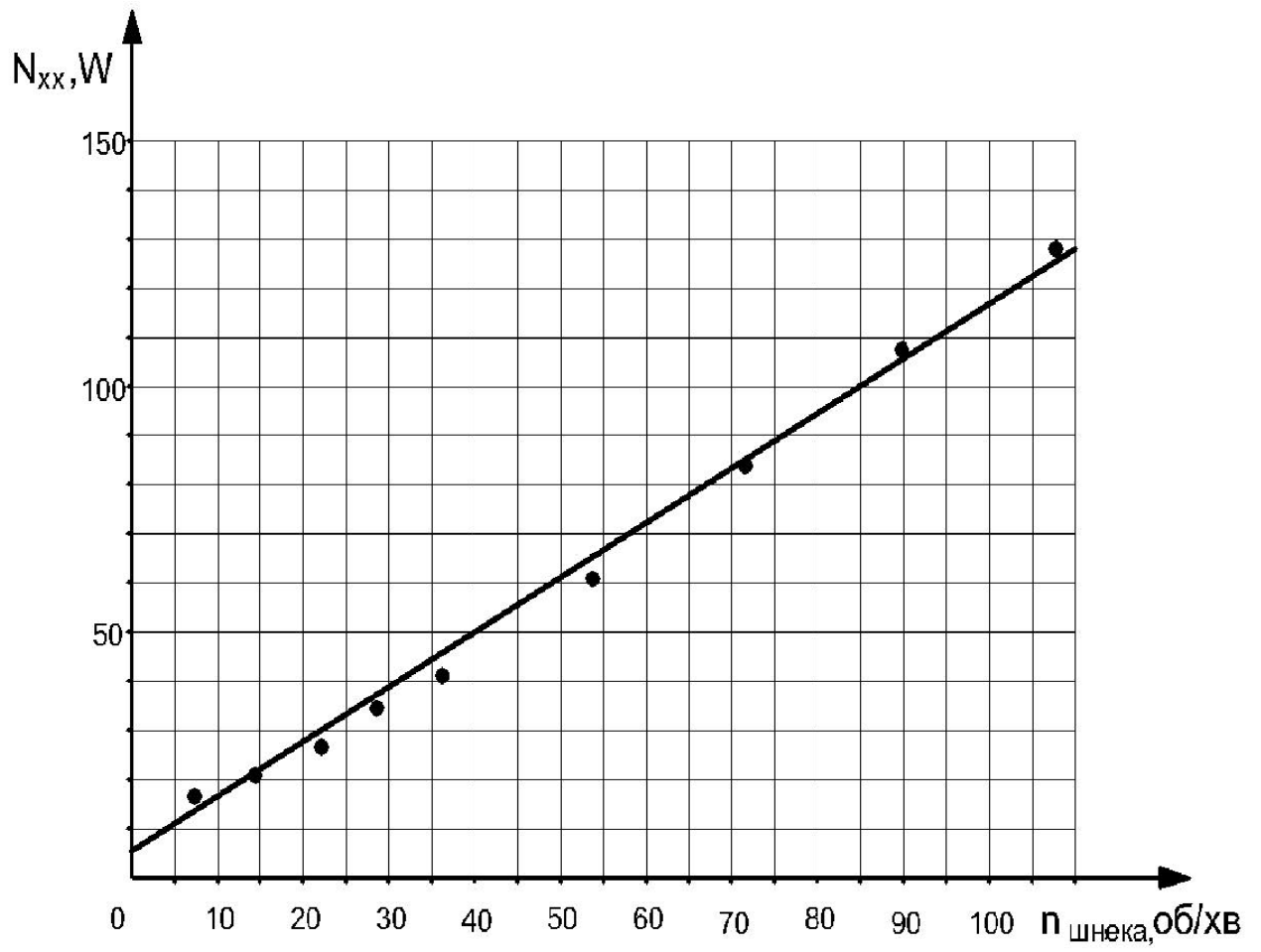


Рисунок 3.6 - Залежність потужності холостого ходу привода від частоти обертання шнека

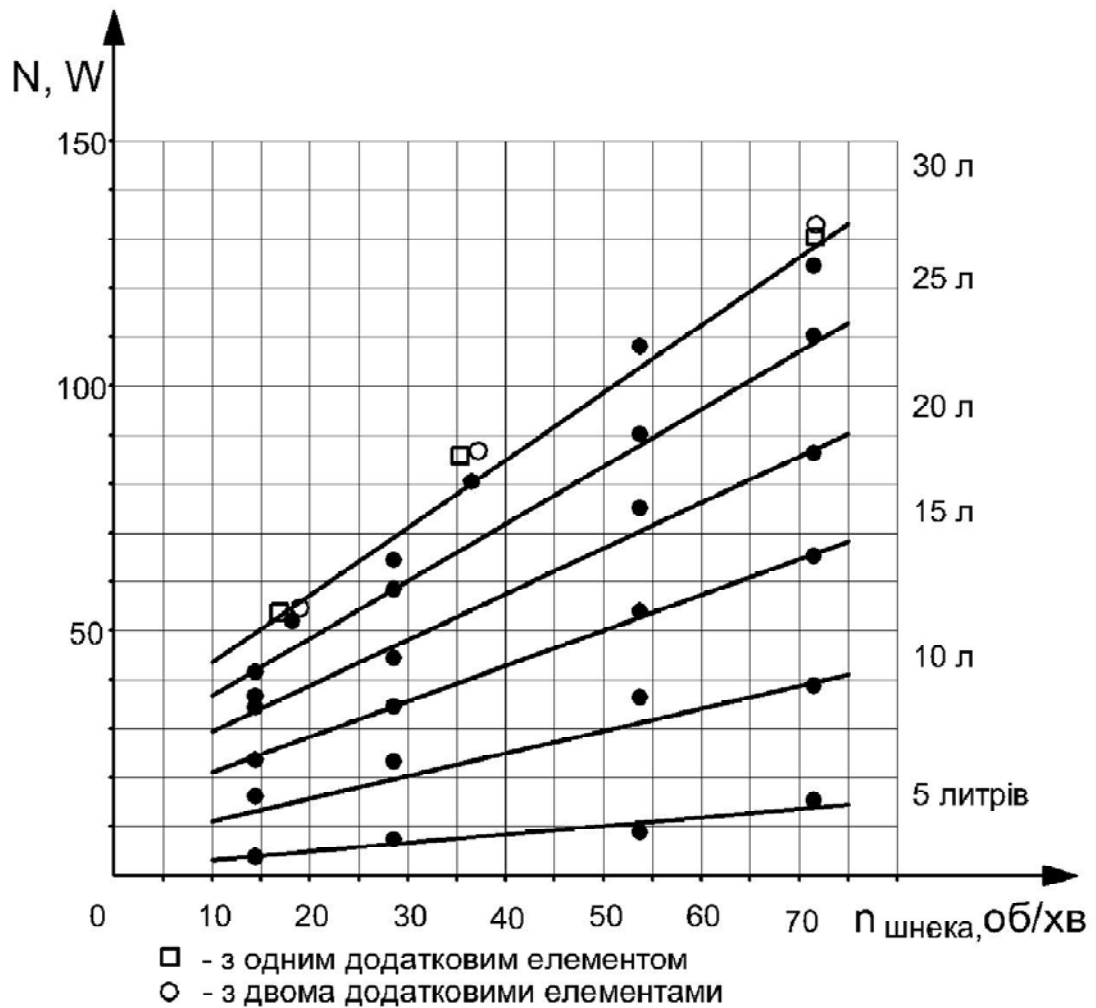


Рисунок 3.7- Залежність енергетичних витрат на змішення від частоти обертання шнека при різних загрузках змішувача ПШ-24 піском

На рис.3.8 показана зміна потужності виміряна ватметром постійного струму PZEM-051. Цій ватметр показує завищенні значення. Однак характер змін можливо відображене вірно. Момент що крутить показаний на рис. 3.9. З підвищення частоти обертання він зніжується. Можливо припустити, що при цьому відбувається розрихлення сипкого матеріалу. Це вигідний режим роботи. Змішувачі фірми «Nauta» працюють в саме такому режимі.

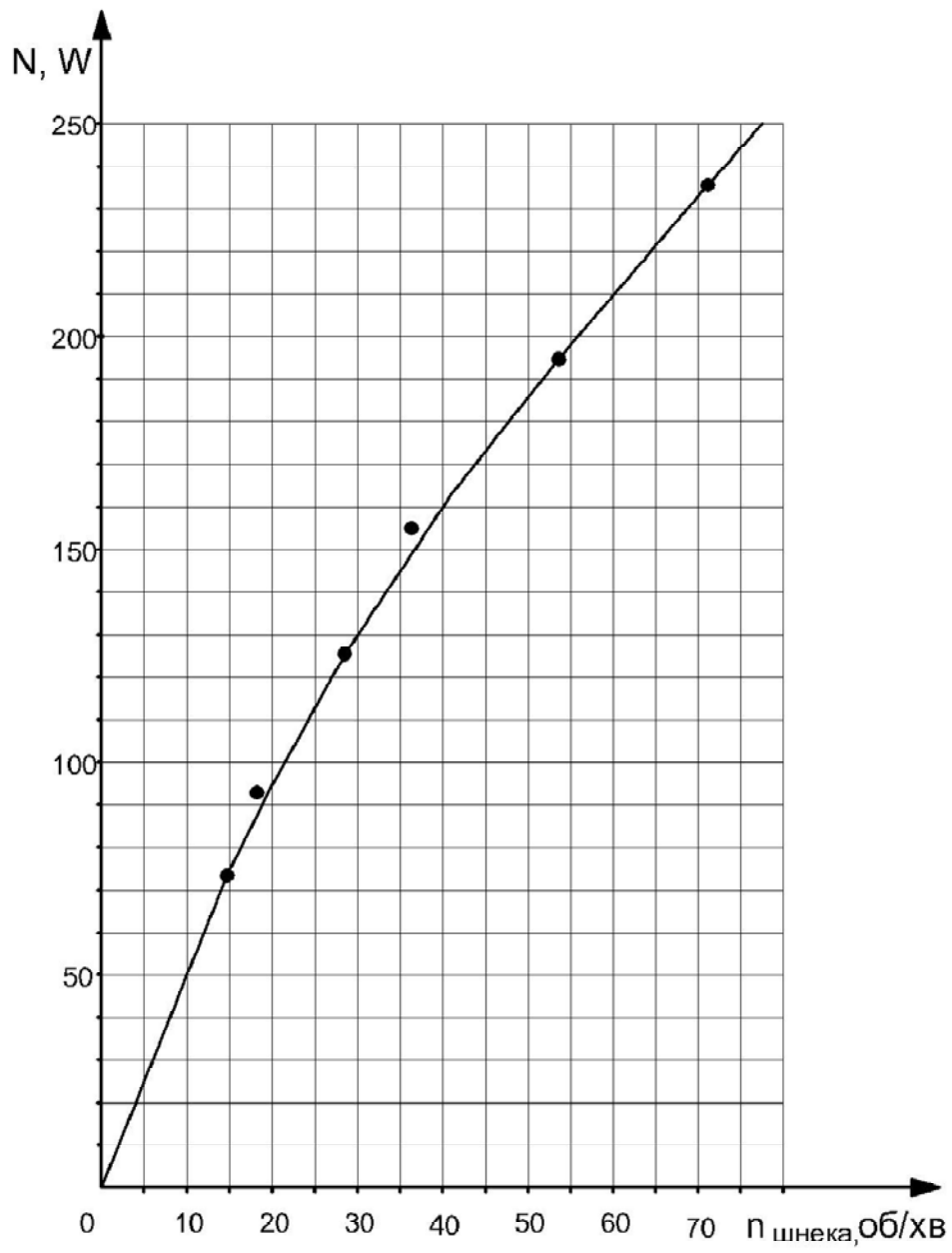


Рисунок 3.8 - Потужність що заміряна ватметром PZEM-051

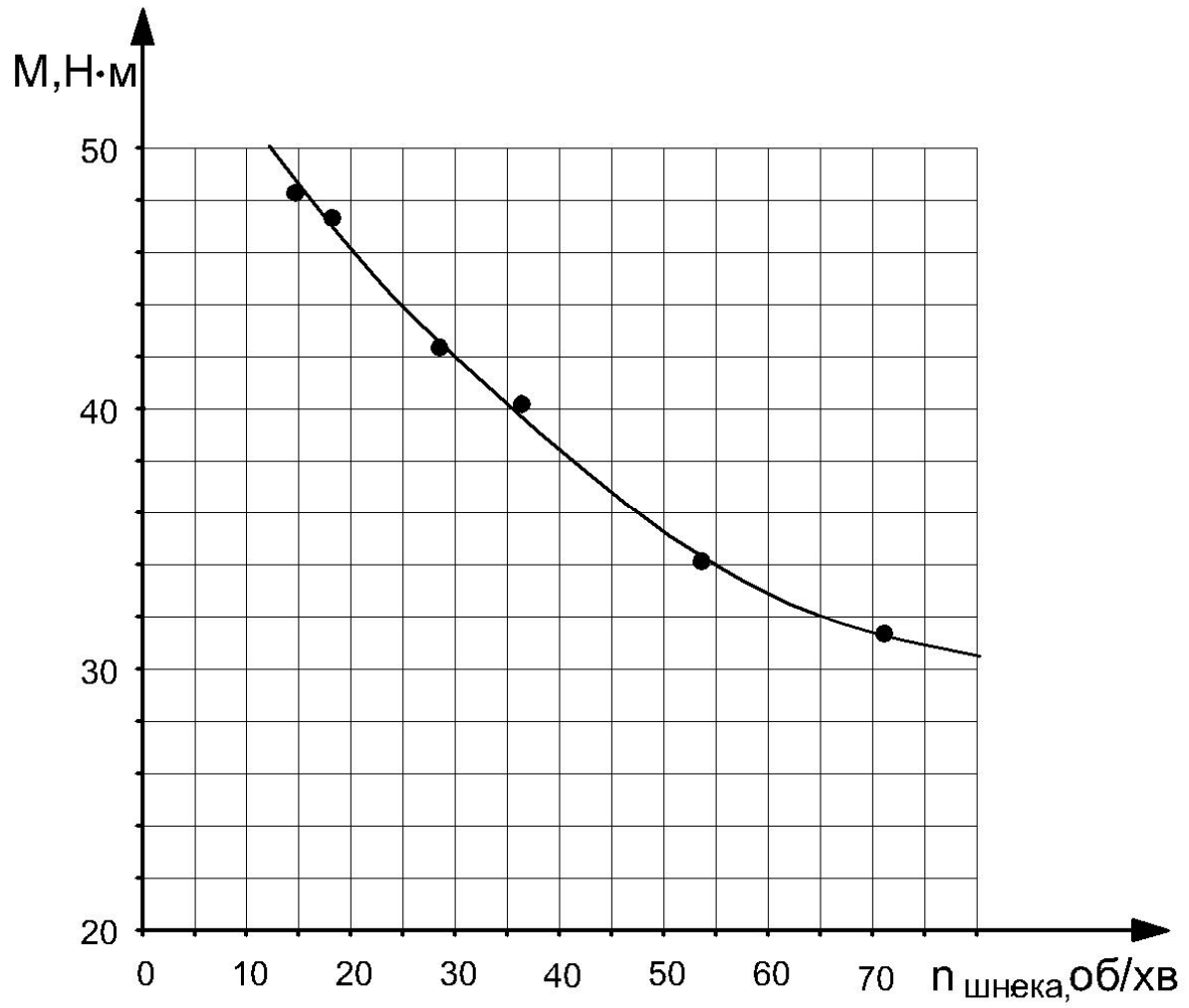


Рисунок 3.9 - Момент на шнеці що крутить

4 Дослідження розподілу компонентів в планетарно-шнекових змішувачах

Ефективність роботи змішувача оцінюється за допомогою вивчення розподілу компонентів в його корпусі. Для чого відбираються проби з різних точок. Якість розподілу характеризують коефіцієнтом неоднорідності V_c .

4.1 Теорія змішування

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

У наведених нижче дослідах в змішувач завантажували сухий пісок і чавунну тирсу. Тирсу завантажували на поверхню піску (рис.4.4). У процесі змішування відбувався розподіл тирси в піску.

Вивчення розподілу компонентів вироблялося шляхом визначення змісту ключового компонента в пробах що відбиралися по схемі наведеної на рисунку 4.1, через деякий час змішування.

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

Маса проб становила приблизно 10-20 грамів.

Відібрані проби рис.4.6. поділялися на компоненти за допомогою магніту. Маса тирси і піску визначалася шляхом зважування на лабораторних вагах ТурWA-21 (Zakłady Mechaniki Precyzyjnej, Gdansk, Polska, 1971) з точністю до 50 мг.

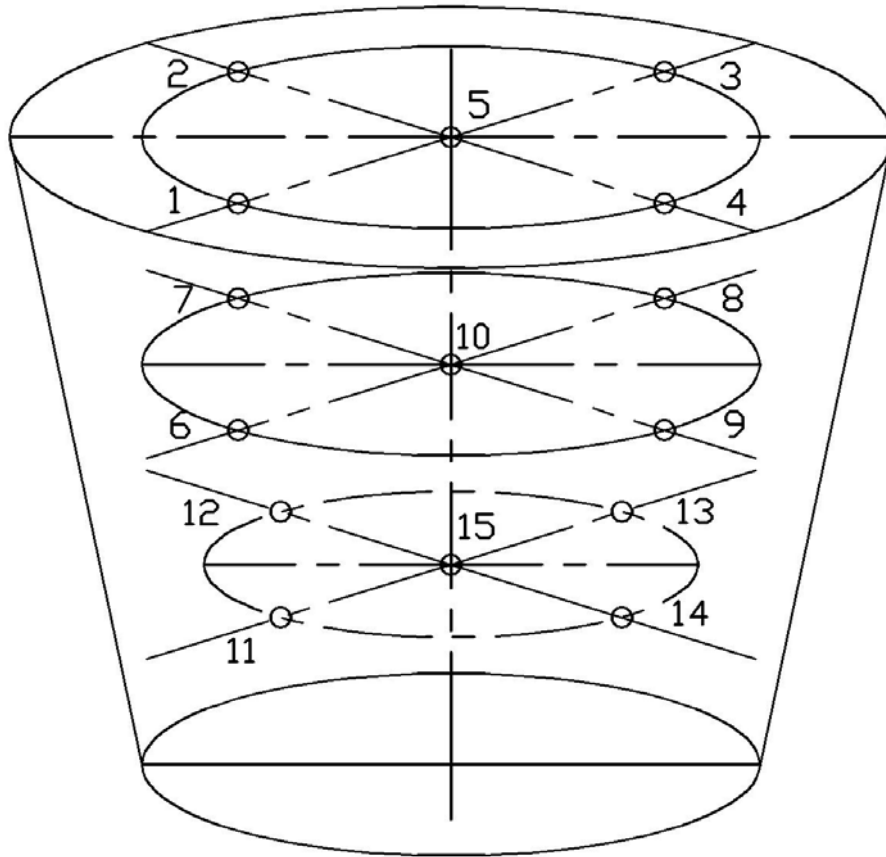


Рисунок. 4.1 - Схема відбору проб з корпусу змішувача

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

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). Та проводилось зрівняння групових середніх сіх трьох груп за допомогою критерію Стюдента.

Також проводилось зрівняння групових середніх по п'яти групам методом дисперсійного аналізу. Відповідні проби розташовані одна над

другою (1, 6, 11; 2, 7,12; 3, 8, 13; 4, 9, 14; 1, 5, 10) (рис. 4.1) і вироблялося порівняння групових середніх концентрацій

Виправлена вибіркова дисперсія S_u^2 є оцінкою за кількома пробами генеральної дисперсії S^2 . Генеральна дисперсія - це величина, яка була б отримана при аналізі всього обсягу сипучого матеріалу, після поділу його на проби, при цьому трудомісткість аналізу проб була б величезною.

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (4.1)$$

де: x_i - масова частка ключового компонента в і-ой пробі, %;

\bar{x} - середня арифметична концентрація ключового компонента в вибірці, %.

n - кількість проб у вибірці.

Коефіцієнт неоднорідності, який характеризує однорідність розподілу компонентів, визначається по формулі

$$V_c = \frac{100\sqrt{S_u^2}}{\bar{x}}, \quad (4.2)$$

Зазвичай при дослідженні однорідності розподілу сипучих компонентів не враховується, що S^2 , а, отже S_u^2 , є сумою декількох дисперсій [8], [1]

$$S_u^2 = S_s^2 + S_a^2 + S_R^2 \quad (4.3)$$

де: S_s^2 - дисперсія, викликана недосконалим розподілом ключового компонента в змішувачі (наявністю сегрегації або континумів);

S_a^2 - дисперсія аналізу, передбачена похибкою визначення змісту ключового компонента в пробах;

S_R^2 - дисперсія при рандомальному (ідеальному випадковому) розподілі часток компонентів у змішувачі.

Дисперсію рандомального розподілу S_R^2 для двокомпонентної суміші можна розрахувати за формулою Штанге [3], [4]

$$S_R^2 = \frac{c_p \cdot c_q}{G} \cdot \left[c_p \cdot \bar{\gamma}_q \cdot (1 - V_g^2) + c_q \cdot \bar{\gamma}_p \cdot (1 - V_p^2) \right], \quad (4.4)$$

де: G - маса проби, г;

c_p, c_q - масові частки ключового і основного компонента в суміші;

γ_p, γ_q середні маси частинок ключового і основного компонентів в суміші, г;

V_p, V_q - коефіцієнти варіації розподілу часток ключового і основного компонентів по масам.

Очевидно, що дисперсії аналізу і рандомального розподілу ніяк не характеризують ефективність роботи змішувача. Обидві ці величини можуть бути визначені теоретично.

S_a^2 може бути отримана за допомогою статистичної обробки залежних вибірок [5]. Залежними називаються вибірки, у яких проби взяті з одних і тих же точок корпусу змішувача. Теоретично, проби, взяті з одних і тих же точок повинні містити однакову частку ключового компонента. Практично, проби з рівною часткою ключового компонента можна отримати, якщо взяти пробу вдвічі більшої ваги, ніж потрібно для аналізу, добре перемішати вручну і розділити на дві.

$$S_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\delta x_i - \bar{\delta x}_i)^2}{n - 1}, \quad (4.5.)$$

де: δx_i - різниця між значеннями масової частки ключового компонента в відповідних пробах залежних вибірок;

$\bar{\delta x}_i$ - середня різниця масових часток ключового компонента в відповідних пробах залежних вибірок;

n - кількість пар залежних проб в кожній вибірці.

Зазвичай з кожної точки відбору проб береться за дві залежних проби. В цьому випадку:

$$\begin{aligned} \delta x_i &= x_{i1} - x_{i2} \\ \bar{\delta x} &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i1} - x_{i2})}{n}, \end{aligned} \quad (4.6)$$

де: x_{i1}, x_{i2} - масові частки ключового компонента в відповідних пробах першої і другої залежних вибірок.

При визначенні концентрацій ключового компонента в залежних вибірках необхідно, щоб лаборанту, який виконує аналіз, не було відомо, які саме проби відібрані з однакових точок змішувача, інакше (спостерігається психологічний ефект) проявляється тенденція до зменшення різниці концентрацій між ними. Можна, наприклад, змінити номери проб, з якої ні будь системі. Потім при підрахунку S_a^2 відновити колишній порядок.

На рис. 4.2 показана крива зміни дисперсії S_u^2 під час змішування.

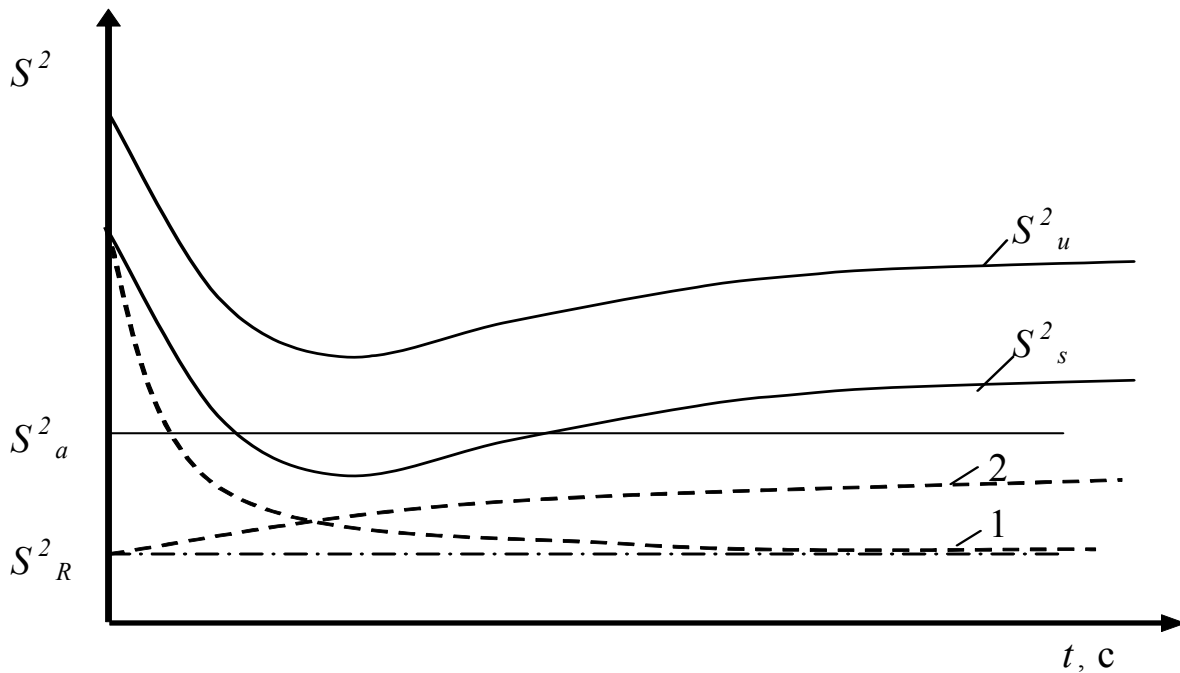


Рисунок 4.2 - Зміна дисперсії розподілу ключового компонента при змішуванні

Крива S_u^2 показує значення дисперсії, отримані шляхом статистичної обробки проб вибірки

Крива S_s^2 показує справжні значення дисперсії. Ці значення були б отримані при абсолютно точному визначенні змісту ключового компонента в пробах.

Процес розподілу компонентів, що характеризується зміною S_s^2 , є сумою двох одночасно протікаючих процесів 1 - розподілу компонентів в корпусі змішувача і 2 - сегрегації компонентів (Рис. 4.2).

При досить тривалому змішуванні могло б бути досягнуто ідеальне випадкове (рандомальний) розподіл компонентів - S_R^2 , але в більшості випадків воно не досягається, так як відбувається і сегрегація.

Сегрегація - складне і маловивчене явище. Можна лише відзначити, що вона характерна для незв'язних сипучих матеріалів. Основними факторами, що впливають на сегрегацію компонентів, різні автори називають різницю розмірів частинок, різниця щільності та інші. Процеси розподілу компонентів

і сегрегації залежать від конструкції змішувача і від способу його завантаження.

Слід мати на увазі, що в тому випадку, коли вимірювана дисперсія S_u^2 близька до $S_a^2 + S_R^2$, важко судити про те наскільки однорідна суміш в дійсності. На виробництві ця обставина часто не враховується, тому змішання триває значно довше, ніж потрібно для досягнення необхідної однорідності або бракується досить однорідна партія продукту. Дуже довге змішання іноді призводить до погіршення суміші через прояви сегрегації.

На підставі вище викладеного впливає, що коефіцієнт неоднорідності V_c (4.1) не містить інформації про те, чому компоненти розподілені неоднорідно, може бути змішання не доведена до кінця, а може бути, сталася сегрегація компонентів в будь-якому напрямку. Його застосування виправдане, якщо потрібна тільки порівняти ефективність процесів змішання для композицій однакового складу. В цьому випадку, для коректного порівняння, повинні відбиратися проби однієї маси, а аналіз змісту ключового компонента в пробах повинен проводитися за однаковою методикою. Корисно так само підрахувати теоретично однорідність суміші при рандомальному розподілі і визначити похибка аналізу, для того, щоб переконатися, що ці величини не мають істотного впливу на отримані результати.

Однак якщо потрібно вивчити розподіл компонентів в корпусі змішувача, визначити напрямок, в якому відбувається сегрегація, вказати заходи, щодо вдосконалення конструкції змішувача, то доцільно застосування методів математичної статистики. Хороші результати дає застосування методів дисперсійного аналізу і порівняння вибіркового середніх даних [8].

4.2 Приклад обробки експериментальних даних вибірки

В даному підрозділі приведено методику обробки результатів змішання піску і металевої тирси, шляхом статистичної обробки результатів що отримані в змішувачі ПШ-24 через 12 обертів водила (360 секунд змішування).

Відповідно до номерів проб (рис.4.1) 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	5,295	5,554	5,199	5,087	5,209
10	9	8	7	6	5,224	5,248	5,163	5,481	5,164
11	12	13	14	15	5,552	5,506	5,370	5,198	5,430

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

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.7)$$

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

n – число проб у вибірці.

$$\bar{x}_i = \frac{75,8}{15} = 5,312 \quad \%$$

Сума квадратів різниць

$$S^2(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.8)$$

$$S^2(x) = 0,343$$

Виправлена вибіркочна дисперсія

$$D(x) = \frac{S^2(x)}{n-1} \quad (4.9)$$

$$D(x) = \frac{0,343}{14} = 0,025$$

Коефіцієнт неоднорідності суміші

$$Vc(x) = \frac{100 \cdot \sqrt{D(x)}}{\bar{x}} \quad (4.10)$$

$$Vc(x) = \frac{100 \cdot 0,15}{5,312} = 2,947\%.$$

Виробляємо порівняння двох вибірових середніх верхнього і нижнього шарів \bar{x}_e и \bar{x}_n [8, с.297-303]. Число проб в групах $n_B = n_H = 5$.

$$\bar{x}_e = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{ei}}{5}; \quad (4.11)$$

$$\bar{x}_e = \frac{26,4}{5} = 5,269 \%$$

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{ni}}{5}. \quad (4.12)$$

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{ni}}{5} = 5,441 \%$$

Визначимо виправлені вибірові дисперсії верхньої і нижньої груп

$$D_e = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} (x_{ei} - \bar{x}_e)^2}{n_e - 1}; \quad (4.13)$$

$$D_{\varepsilon} = \frac{0,12}{4} = 0,0309$$

$$D_n = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} (x_{ni} - \bar{x}_n)^2}{n_n - 1}; \quad (4.14)$$

$$D_n = \frac{0,077}{4} = 0,0191$$

де: n_{ε} и n_n кількість проб у верхній і нижній вибірках.

Для коректного порівняння \bar{x}_{ε} і \bar{x}_n необхідно провести перевірку однорідності дисперсій D_{ε} і D_n . Підраховуємо відношення більшої з порівнюваних дисперсій до меншої (критерій Фішера-Снедекора).

$$F = \frac{D_{\text{большая}}}{D_{\text{меньшая}}} \quad (4.15)$$

$$F = \frac{0,0309}{0,0191} = 1,63$$

Критичне значення критерію $F_{кр}$ визначаємо по [8, додаток 7].

При $\alpha = 0,01$ (α - рівень значності [8, с. 35-36, 282]); число ступенів свободи більшої дисперсії $k_1 = n_{\varepsilon} - 1 = 4$, 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 $H_0: \bar{x}_{\varepsilon} = \bar{x}_n$.

Підраховуємо значення критерію Стюдента

$$Z = \frac{|\bar{x}_{\varepsilon} - \bar{x}_n|}{\sqrt{\frac{D_H}{n_H} + \frac{D_B}{n_B}}} \quad (4.16)$$

$$Z = \frac{|5,269 - 5,441|}{\sqrt{\frac{0,0309}{5} + \frac{0,0191}{5}}} = 1,424$$

Конкуруюча гіпотеза $H_1: \bar{X}_B \neq \bar{X}_H$, 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, $\bar{x}_B = \bar{x}_H$.

Виробляємо порівняння середніх для п'яти груп, розташованих по вертикали корпусу методом дисперсійного аналізу. [8, 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}).

1J (5,295; 5,224; 5,552); 2J (5,554; 5,248; 5,506); 3J (5,199; 5,163; 5,370);

4J (5,087; 5,481; 5,198); 5J (5,209; 5,164; 5,403).

Підраховуємо середні значення концентрацій ключового компонента для груп.

$$\bar{x}_{kJ} = \frac{\sum_{i=1}^3 x_{ikJ}}{3}, \quad (4.17)$$

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

$\bar{x}_{1J} = 5,357$; $\bar{x}_{2J} = 5,436$; $\bar{x}_{3J} = 5,244$; $\bar{x}_{4J} = 5,255$; $\bar{x}_{5J} = 5,268$.

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

$$D_{kJ} = \frac{\sum_{i=1}^3 (x_{ikJ} - \bar{x}_{kJ})^2}{3-1}. \quad (4.18)$$

$$D_{1J} = 0,029 \quad D_{2J} = 0,027; \quad D_{3J} = 0,024; \quad D_{4J} = 0,041; \quad D_{5J} = 0,020.$$

Проведемо перевірку однорідності дисперсій за критерієм Кочрена

$$G = \frac{D_{J\max}}{\sum_{k=1}^5 D_{kJ}} = \frac{0,041}{0,13} = 0,21. \quad (4.19)$$

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

$$G_{кр} = 0,7885;$$

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

Обчислюємо факторну дисперсію [8, с.351-355]

$$D_{\phi} = \frac{i \cdot \sum_{k=1}^5 (\bar{x}_{kJ} - \bar{x})^2}{J-1} = 0,041, \quad (4.20)$$

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

Залишкова дисперсія

$$D_o = \frac{\sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^3 (x_{ikJ} - \bar{x}_{kJ})^2}{(k-1) \cdot i} = 0,021; \quad (4.21)$$

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

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

Підрахуємо критерій Фішера-Снедекора

$$F = \frac{D_{\phi}}{D_o} = \frac{0,041}{0,021} = 1,87$$

Критичне значення критерію Фішера-Снедекора [8, додаток 7] (при $\alpha=0,01$; число ступенів свободи чисельника $k_1=4$; а знаменника $k_2=10$)

$$F_{кр} = 5,99$$

$F < F_{кр}$ - групові середні відрізняються незначно.

4.3 Результати вивчення розподілу компонентів

Результати визначення розподілу компонентів приведені в додатках (таблиці А1-А3) та на рис. 4.3. Однорідний розподіл досягається приблизно за 6 хвилин. Найбільш повільне розподілення спостерігається в радіальному напрямку.

На рисунках 4.4; 4.5. показана поверхня матеріалу перед початком змішування та через 12 обертів водила.

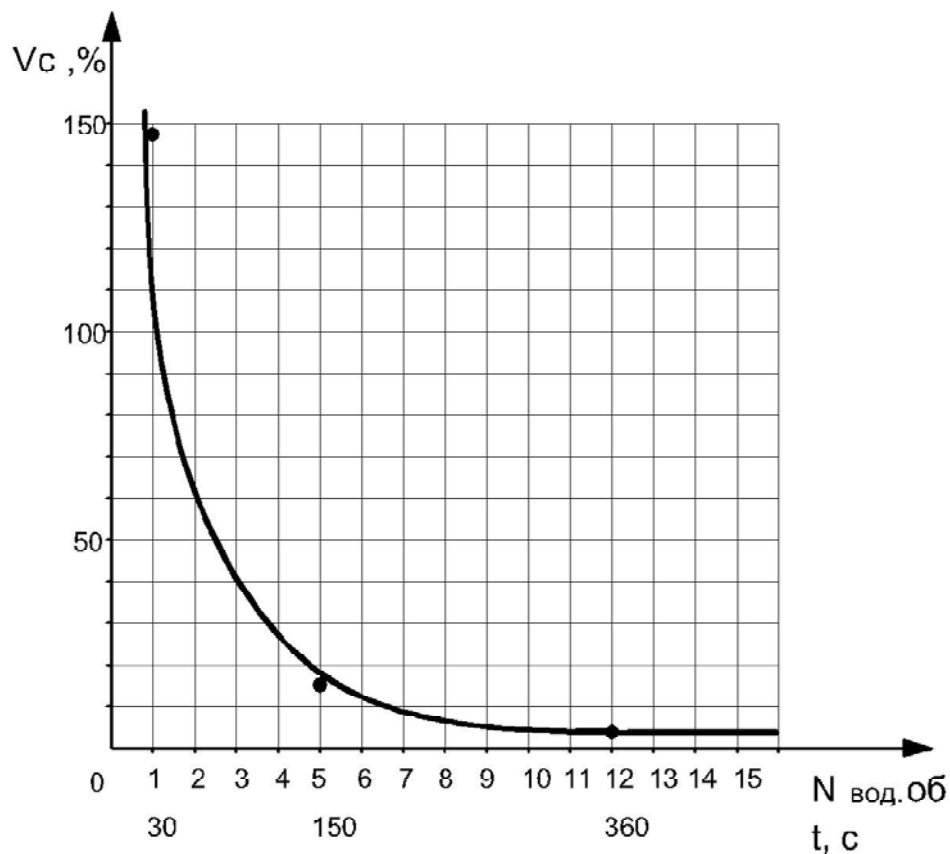


Рисунок 4.3 - Зниження коефіцієнта неоднорідності при змішуванні



Рисунок 4.4 - Поверхня матеріалу перед початком змішування.



Рисунок 4.5 - Поверхня матеріалу після 12 обертів водила.

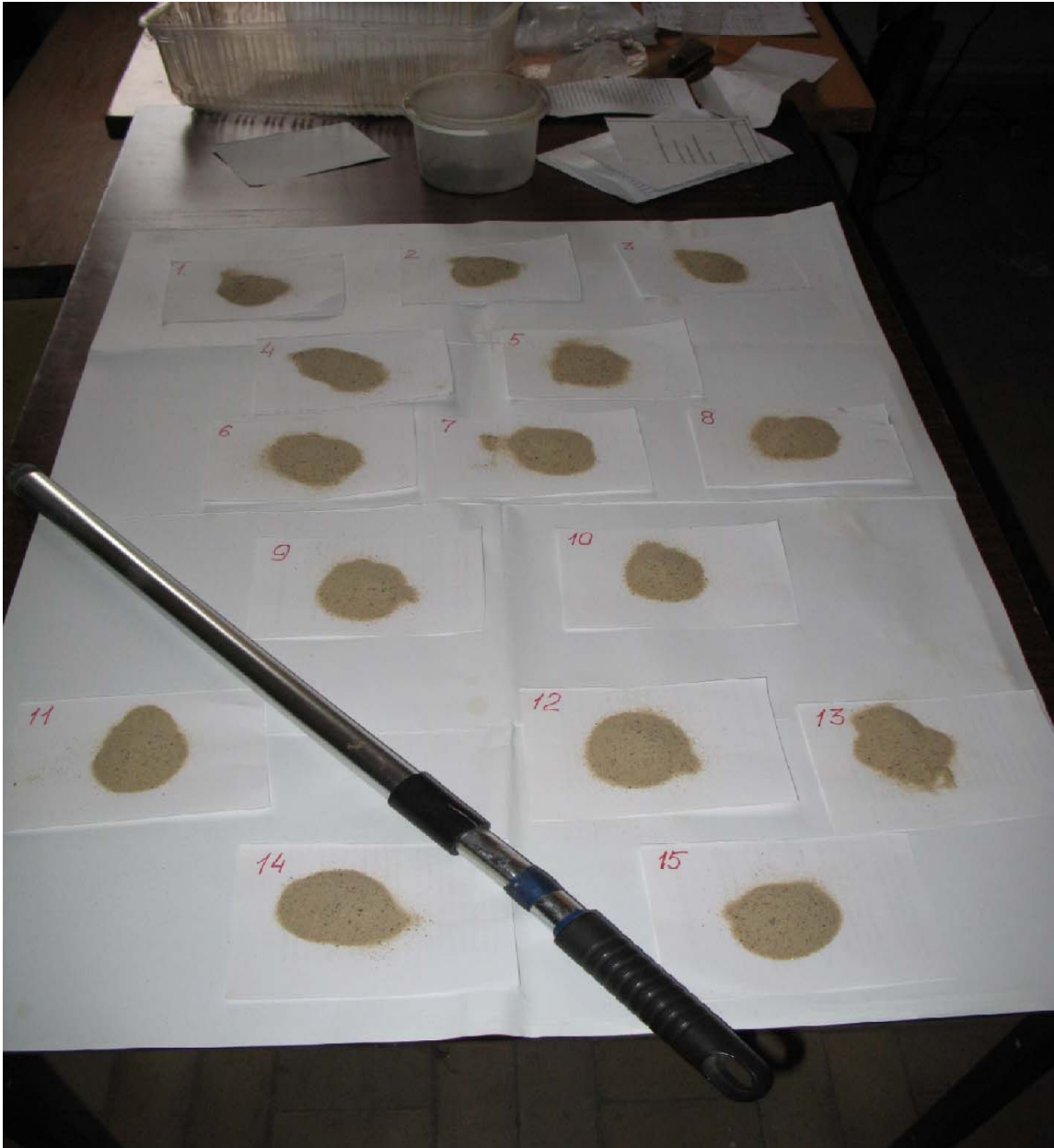


Рисунок 4.6 - Відібрані проби для аналізу

5 Пропозиції щодо розробки типорозмірного ряду планетарно-шнекових змішувачів

Скористаємось досвідом фірм, які довгий термін займаються виробництвом цього типу змішувачів. Вони добре вивчили потрібність в них. Наприклад фірма SHUANGLONG GROUP (Китай) [17] випускає наступну номенклатуру планетарно-шнекових змішувачів

Таблиця 5.1 - Рекомендована номенклатура планетарно-шнекових змішувачів

Модель	Загальний об'єм	Робочий об'єм	Потужність
Загальний привід від одного двигуна на шнек та водило			
DSH-0.1	100L	40-60L	1.5KW
DSH-0.3	300L	120-180L	2.2KW
DSH-0.5	500L	200L-300L	3KW
DSH-1	1000L	400L-600L	4KW
DSH-1.5	1500L	600L-900L	5.5KW
DSH-2	2000L	800L-1200L	5.5KW
DSH-3	3000L	1200L-1800L	7.5KW
DSH-4	4000L	1600L-2400L	11KW
DSH-5	5000L	2000L-3000L	15KW
DSH-6	6000L	2400L-3600L	15KW
DSH-8	8000L	3200L-4800L	18.5KW
DSH-10	10000L	4000L-6000L	22KW
Окремі приводи на шнек та водило			
DSH-10	10000L	4000L-6000L	22KW; 4KW
DSH-12	12000L	4800L-7200L	30KW; 4KW
DSH-15	15000L	6000L-9000L	22KW; 4KW
DSH-20	20000L	8000L-12000L	37KW; 5.5KW
DSH-25	25000L	10000L-15000L	37KW; 5.5KW
DSH-30	30000L	12000L-18000L	45KW; 7.5KW

Таблиця 5.2 - Рекомендовані виконання змішувачів

1	З загальним приводом водила та шнека
2	З окремими приводами водила та шнека
3	Корозійностійке (12X18H10T)
4	Не корозійностійке (Ст 3)
5	Вибухозахищене
6	Не вибухозахищене
7	Приводи з регульованою частотою обертання шнека (sem-eurodrive.ua (produkt))
8	Приводи з нерегульованою частотою обертання шнека (elektronpo.ru/production))
9	З сорочкою
10	Без сорочки
11	Розвантаження через клапанний затвор
12	Розвантаження через шиберний затвор

Приклад позначення планетарно-шнекового змішувача:

номінальний об'єм -12 м³; окремі приводи на шнек та водило;
 корозійностійке виконання (12X18H10T); вибухозахищене; дії; з приводи з
 нерегульованою частотою обертання шнека; без сорочки; Розвантаження
 через клапанний затвор

DSH-12/2/3/5/8/10/11

6 Економічна оцінка ефективності випуску планетарно-шнекових змішувачів

Зробимо очікуваний економічний ефект вів реалізації змішувача DSH-12/2/3/5/8/10/11.

Масу змішувача приймаємо 4950 кг, в тому числі зі сталі 12Х18Н10Т 4750 кг.

Дані для розрахунку приведені нижче в табл.6.1

Собівартість складається з цін на матеріалі, комплектуючи, енерговитрати, заробітна платня, невиробничі витрати.

К невиробничім витратам можливо віднести витрати на транспортні розходи, оформлення документації, командировки та інше.

Оптова ціна складає 1039437 Грн.

Виробнича собівартість 800799 Грн.

Прогнозуємо прибили приблизно 200000 Грн.

Таблиця 6.1 - Калькуляція собівартості змішувача DSH-12/2/3/5/8/10/11

№ п/п	Стаття витрат	ЕИ	Вартість Грн
1	Матеріали основні, в тому числі покупні вироби	прямі витрати	
	Лист 12X18Н10Т		418000
	Лист Ст3		4620
	Електроди для 12X18Н10Т		29962
	Електроди для Ст3		1498
	Мотор-редуктор МПО2-15ВК-24,6-11		60000
	Мотор-редуктор МПО1М-10-В-5,74-3/250-АІР100S-У3		19125
	Електродвигун 4А132М4	3112	
	Електродвигун 4А100АS4	3112	
	Система управління (шаф, пускачі і т.д.)		6224
	Всього		539429
2	Транспортне-заготівельні витрати	маса апарата кг х на 1 грн	5635
3	Пальне, енергія (технологічні)	маса апарата х на 1 грн	5635
4	Основна заробітна платня	вартість нормо-години	56664
5	Додаткова заробітна платня	20 % от п. 4	11333
6	Відрахування в фонди	34,2 % от (п. 4 + п. 5)	23255
7	Витрати на утримання обладнання і знос інструмента	40 % от (п. 4 + п. 5)	27199
8	Цехові витрати	30 % от (п. 4 + п. 5)	20399
9	Загальнозаводські витрати	10 % от (п. 4 + п. 5)	6800
10	Виробнича собівартість	п. 1 + п. 2 + п. 3 + п. 4 + п. 5 + п. 6 + п. 7 + п. 8 + п. 9	696347
11	Невиробничі витрати	15 % от п. 10	104452,07
12	Всього виробнича собівартість	п. 10 + п. 11	800799
13	Планові накопичення	10 % от п. 12	80080
14	Оптова ціна	п. 12 + п. 13 + НДС 18 %	1039437

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 пожеже гасіння (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 пожежогасіння.

Заземлюючі контакти розеток мають бути надійно з контуром захисного заземлення.

Перед початком роботи переконайтеся 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 зняттю 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 захищувати 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

Енергетичні витрати на змішування залежать від коефіцієнта завантаження корпусу змішувача, частоти обертання шнека, частоти обертання водила, розмірів шнеку, кута підйому витка шнека, фізико-механічних характеристик сипких матеріалів.

Приведені рівняння для розрахунку енергетичних витрат на змішування та осьової сили, що діє на шнек.

Рекомендовано розробити типорозмірний ряд планетарно-шнекових змішувачів.

Оцінений прибуток від реалізації змішувача з номінальним об'ємом корпусу 12 м^3 (робочий до 7 м^3) складає 200000 грн.

Економічну ефективність виробництва змішувачів та підвищення надійності можливо отримати завдяки зниженню металоємності, застосування найбільш ефективних конструкцій, збільшення об'єму випуску, уніфікації та стандартизації.

Наприклад, ефективність змішування в планетарно-шнекових змішувачах може бути підвищена, застосуванням другого шнеку, або додаткових змішувальних елементів що встановлені на водило.

Більшість вітчизняних підприємств в наступний час займаються випуском одиничних машин, або невеликих серій, що не є економічно доцільним. Таким чином зменшують можливість реалізації їх продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

Перелік джерел посилання

1. Модестов В. Б. Смесители сыпучих и пастообразных материалов /Монография. — Луганськ, СПД Резніков В.С., 2011. — 352 с.
2. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М.: Высш.шк., 1973, 216 с.
3. Смесители для сыпучих и пастообразных материалов. Каталог. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. 1986. 77 с.
4. РТМ 26-01-129 - 80 «Машины для переработки сыпучих материалов. Метод выбора оптимального типа питателей, смесителей и измельчителей».
5. Модестов В. Б. Определение затрат энергии на перемешивание в планетарно-шнековых смесителях. Ж. «Химическое и нефтегазовое машиностроение», №3, 2002.
6. Модестов В. Б. Определение мощности смесителя, необходимой при смешивании сыпучих материалов. Ж. «Химическое и нефтегазовое машиностроение», №3, 2003.
7. Борщев В. Я., Гусев Ю.И., Промтов М. А., Тимонин А. С. Оборудование для переработки сыпучих материалов.
8. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие для вузов. 8-е изд., стер. -М.: Высш. шк., 2002, 479 с.: ил.
9. Куприянов Н. А., Кирилук Д.Я., Модестов В. Б. Смеситель для сыпучих материалов. А.С. № 1611430, В01F 7/30, 8.08.90.
Смеситель для сыпучих материалов. А.С. № 1611430, В01F 7/30, 8.08.90.
10. «Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості», затверджені наказом Мінпромполітики України від 09.07.2007 р № 373
11. 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 ».

12. Модестов В. Б. Разработка методики расчёта плужных смесителей для сыпучих материалов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МИХМ, 1984.

13. 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.

14. 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.

15. Stange K. Die Mischgute einer Zufall Mischung als Grundlage zur Beurteilung von Mischversuchen. Chemie-Ingenieur-Technik, 26. 1954, s. 331-337.

16. Mixers of bulk materials / URL / <http://www.sowergroup.ru/mixer/horizontal-mixers/> (дата звернення - 17.12.2018).

17. Mixers of bulk materials / URL / <http://www.slgroup.cn/index.html>. (дата звернення - 17.12.2018).

18. Mixers of bulk materials / URL / <http://himmiks.com.ua/katalog/smesiteli/smesiteli-dlya-sypuchikh-materialov> / (дата звернення - 29.12.2018).

19. Mixers of bulk materials / URL / <http://elemash-m.ru/production/smeshivanie> / (дата звернення - 22.12.2018).

20. Mixers of bulk materials / URL / <http://www.1985shengli.com/wzl-double-shaft-mixer-gallery/116.html> / (дата звернення - 18.12.2018).

21. Mixers of bulk materials / URL / http://www.tdredoctober.com/catalog/jemalirovannoe_oborudovanie/smesiteli-tipov-zl-i-zsh.html / (дата звернення - 19.12.2018).

22. Mixers of bulk materials / URL / <http://euromash.kiev.u>. Mixers of bulk materials / URL / [/a/ru/home_ru.php](http://a/ru/home_ru.php) / (дата звернення - 21.12.2018).
23. Mixers of bulk materials / URL / [.http://molpromline.ru/katalog/lentochniy-smesitel-dlya-proizvodstva-udobreniy/](http://molpromline.ru/katalog/lentochniy-smesitel-dlya-proizvodstva-udobreniy/) (дата звернення - 21.12.2018).
24. Mixers of bulk materials / URL / <http://uralmash.net/> (дата звернення -18.12.2018).

Додаток А

Результати змішування чавунної тирси та піску

Результати змішування чавунної тирси та піску наведені в таблицях А.1, А.2, А.3.

Таблиця А.1 - Зміст ключового компонента в пробах (через 1 оберт водила)

№ проби	Маса ключового компонента, Г	Маса основного компонента, Г	Зміст ключового компонента, %
1	2,960	12,500	19,146
2	0	18,700	0,000
3	0	9,000	0,000
4	0	13,200	0,000
5	0,120	15,995	0,745
6	0,800	17,000	4,494
7	0,070	16,900	0,412
8	0,100	14,994	0,663
9	2,580	16,000	13,886
10	1,292	15,900	7,515
11	0,495	14,700	3,258
12	0,110	17,400	0,628
13	0,200	15,894	1,243
14	0,210	18,500	1,122
15	0,800	17,696	4,325

$X_{cp}=3,8$

$V_c=148$

Середні по вертикалі розрізняються незначно

Середні по окружності розрізняються значно

Таблиця А.2 - Зміст ключового компонента в пробах (через 5обертів
води́ла)

№ проби	Маса ключового компонента, Г	Маса основного компонента, Г	Зміст ключового компонента, %
1	1,193	16,618	6,698
2	0,992	16,900	5,544
3	0,507	12,907	3,780
4	0,803	13,296	5,695
5	1,030	16,895	5,746
6	1,136	16,900	6,299
7	1,098	14,708	6,947
8	0,700	15,003	4,458
9	1,094	15,190	6,718
10	0,901	15,910	5,360
11	0,902	16,700	5,124
12	0,897	14,903	5,677
13	0,701	13,000	5,116
14	1,001	17,400	5,440
15	1,092	19,393	5,331

$X_{cp}=5,596$

$V_c=15,128$

Таблиця А.3 - Зміст ключового компонента в пробах (через 12 обертів
води́ла)

№ проби	Маса ключового компонента, Г	Маса основного компонента, Г	Зміст ключового компонента, %
1	0,889	15,900	5,295
2	0,935	15,900	5,554
3	0,861	15,700	5,199
4	0,611	11,400	5,087
5	0,810	14,740	5,209
6	1,039	18,850	5,224
7	0,931	16,810	5,248
8	1,029	18,900	5,163
9	0,870	15,002	5,481
10	0,871	15,997	5,164
11	1,014	17,250	5,552
12	1,120	19,220	5,506
13	0,770	13,570	5,370
14	1,090	19,880	5,198
15	0,890	15,500	5,430

$X_{\text{ср}}=5,312$

$V_{\text{с}}=2,947$

Середні по вертикалі розрізняються незначно

Середні по окружності розрізняються незначно