

Реферат

Магістерська робота за темою «Дослідження процесу змішування в вертикальному змішувачі з додатковим розподільним елементом»: 85с., 16 табл., 48 рис., 9 дод., 13 джерел.

ЗМІШУВАЧ, ПЛАНЕТАРНО-ШНЕКОВИЙ, СИПКІ МАТЕРІАЛИ, ПРОЦЕС ЗМІШУВАННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ, ОГЛЯД РИНКУ.

Об'єкт досліджень – процесу змішування в вертикальному змішувачі ПШ-24 з додатковим розподільним елементом.

Мета роботи – дослідження процесу змішування в планетарно-шнековому змішувачі з додатковим розподільним елементом.

Методи дослідження – дослідження розподілу ключового компоненту(чавунної тирси) в сухому піску.Проби відбиралися з корпусу, за визначеною схемою. В кожній пробі визначали концентрацію ключового компоненту. Результати оброблялися за допомогою методів математичної статистики(порівняння середніх та дисперсійний аналіз).Було визначено направлення найбільш повільного розподілу.

Приведено опис теоретичних робіт що до змішення сипких матеріалів. Описані найбільш розповсюджені в світі конструкції змішувачів сипких і пастоподібних матеріалів. Приведені результати наукових досліджень планетарно-шнекового змішувача з додатковим розподільним елементом, проведених в СНУ імені Володимира Даля. Порівняні ефективності конструкцій планетарно-шнекових змішувачів. Визначені енергетичні витрати в процесі змішування. Розроблені рекомендації до проектування змішувачів з вертикальним ротором.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки.....	4
Вступ.....	5
1 Аналітичний огляд.....	6
2 Пропозиції змішувачі на світовому ринку та ринку України.....	24
2.1 Пропозиції змішувачів на світовому ринку.....	24
2.2 Планетарно шнекові змішувачі на ринку України.....	42
3 Ціль та задачі дослідження.....	48
4 Дослідження процесу змішування в планетарно-шнекових змішувачах з додатковим розподільними елементами.....	49
4.1 Теорія змішування.....	49
4.1 Приклад обробітки експериментальних даних вибірки.....	53
4.3 Результати експериментів по змішуванню сухого піску Северодонецького кар'єру з металевою тирсою.....	57
5 ПШ-24.....	64
5.1 Енергетичні витрати ПШ-24.....	64
5.2 Змішувач ПШ-24.....	66
6 Техніка безпеки при роботі в лабораторії.....	72
6.1 Вимоги безпеки перед початком роботи.....	72
6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт.....	73
6.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	75
6.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	75
Висновки та рекомендації.....	77
Перелік джерел посилання.....	78
Додатки.....	80

Скорочення та умовні позначки

S_u – виправлене вибіркове середньоквадратичне відхилення концентрації ключового компонента в пробах вибірки;

S_u^2 - типова крива зміни вибіркової змряної дисперсії

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

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

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

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

n_v и n_n кількість проб у верхній і нижній вибірках;

i - кількість проб в кожній групі.

x_i - масова частка ключового компонента в i -ой пробі;

n - кількість проб у вибірці.

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

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

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

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

Вступ

Темою дипломної роботи є дослідження процесу змішування в планетарно шнекових змішувачах. У техніці використовуються різноманітні конструкції і принципи дії : механічні, пневматичні, вібраційні та ін., проте широке поширення отримали не усі з них. Перевагу мають надійні прості конструкції які підтвердили свою надійність часом.

Метою цієї роботи є узагальнення досвіду попередніх років, отриманих в процесі створення змішувачів і вивчення їх роботи на виробництві. Одним із методів підвищення ефективності процесу змішування є удосконалення конструкції змішувача. А саме застосування додаткових змішувальних елементів. Тому були проведені експериментальні роботи з дослідження впливу таких вузлів на процес змішування.

Перехід на ринкові стосунки припускає підвищення економічної ефективності виробництв. Відомим фактом є те, що серійне виробництво продукції вигідніше, ніж одиничне, тому в цій роботі пропонується до розробки розмірний ряд планетарно-шнекових змішувачів з конічним корпусом. Ряд включає себе конструкції періодичної дії.

Випуск вітчизняного устаткування окрім економічних вигод дає значний соціальний ефект: сприяє підвищенню кваліфікації фахівців працюючих в області хімічного машинобудування та збільшує число робочих місць.

1 Аналітичний огляд

Існує безліч конструкцій змішувачів різного принципу дії, призначених для різних технологічних процесів. Однак широке поширення мають далеко не всі апарати. Найбільш поширеними є конструкції, які довели свою надійність часом, тому більш сучасним, які постійно з'являються, важко з ними конкурувати. Немає так само однієї універсальної конструкції, яка замінила б усі інші.

До найбільш поширених конструкцій змішувачів відносяться:

- Барабанні гранулятори;
- Барабанні;
- Стрічкові
- Плужні;
- Планетарно-шнекові;
- Пневматичний сопловий змішувач;
- Планетарно - лопатеві змішувачі;
- Зубчасто-дисковий змішувач;
- Змішувач СНД-1500.
- Відцентрові;
- з Z-подібними лопатями;
- з Z-подібними лопатями і розвантажувальним шнеком;
- Волчковий змішувач;

Опис їх конструкцій наведено нижче.

Вибір конструкції залежить від процесу, в яких вони застосовуються, а саме:

- необхідна вивантаження всього змісу одночасно, або частинами, або безперервним потоком;
- припустимо подрібнення продукту в процесі змішування;
- чи налипає продукт на корпус і лопаті змішувача;
- великотоннажне виробництво або окремі невеликі партії;

- безперервний або періодичний процес;
- обсяг однієї партії матеріалу;
- потрібен нагрів або охолодження в процесі змішування чи ні;
- припустимо проведення замісу, якщо в корпусі є залишки від попереднього замісу або необхідно очистити корпус змішувача після кожного замісу чи ні;
- фізико-механічні характеристики матеріалів (сипучі незв'язні, сипучі зв'язні, пастоподібні з низькою в'язкістю, пастоподібні з високою в'язкістю.);
- відбуваються одночасно зі змішанням інші процеси, наприклад, хімічна реакція, сушка, гранулювання, подрібнення агрегатів і т.д.

Відділ змішувального обладнання С.ф.НДІХІММАШ розробив типорозмірні ряди вищезазначених конструкцій змішувачів.

Були спроби формалізувати процес вибору змішувачів. Зокрема, був розроблений РД РТМ 26-01-129 - 80 «Машины для переработки сыпучих материалов. Метод выбора оптимального типа питателей, смесителей и измельчителей». Передбачалося, що на підставі визначення фізико-механічних характеристик сипучих матеріалів можна зробити вибір оптимальної конструкції змішувача. На жаль ця ідея не виправдала себе.

Практично, вибір машин для конкретних технологічних процесів проводився на підставі досвіду експлуатації змішувачів на діючих виробництвах. Про їх роботу відділ змішувачів мав інформацію на підставі узгодження опитувальних листів для замовлення змішувачів і обстеження їх роботи на діючих виробництвах. У тому випадку, якщо виробництво було новим і були сумніви в тому що машина придатна що до даного процесу, замовнику пропонувалося провести експериментальні роботи по перевірці придатності для проведення конкретного технологічного процесу на лабораторному устаткуванні відділу.

Подібним чином, наскільки відомо автору, діють провідні світові виробники змішувачів.

Розглянемо особливості конструкцій і технологічні процеси в яких застосовуються вищеназвані змішувачі.

1.1 Барабанні гранулятори широко застосовуються в різних технологічних процесах. Вони можуть бути з гладким внутрішнім пристроєм або барабаном. (Рисунок 1.1)

Оригінальна конструкція була запропонована в Японській технологічній лінії для випуску гранульованих пральних порошоків.

Вологий порошок схильний до налипання на стінку. При проведенні грануляції до обертаючого корпусу безперервно подаються сипучі компоненти прального порошку й форсункою розпилюється на рухливу поверхню сипучого матеріалу рідкий компонент – сполучна і віддушка.

Внутрішня стінка змішувача-гранулятора була футерована натягнутою синтетичною тканиною. Тканина при обертанні барабана постійно деформувалася, то притискала до нижньої частини вагою порошку до корпусу, то відходила від корпусу до верхньої частини, запобігаючи налипанню на стінку.

Ще одним оригінальним елементом даної конструкції були гладкі приводні ролики, на яких спирався бандажами барабан. Приводного зубчастого вінця, але зазвичай у вітчизняних барабанних машинах, вони не застосовувались.

Схожа конструкція барабанного гранулятора була спроектована С.ф. НДІХІММАШ

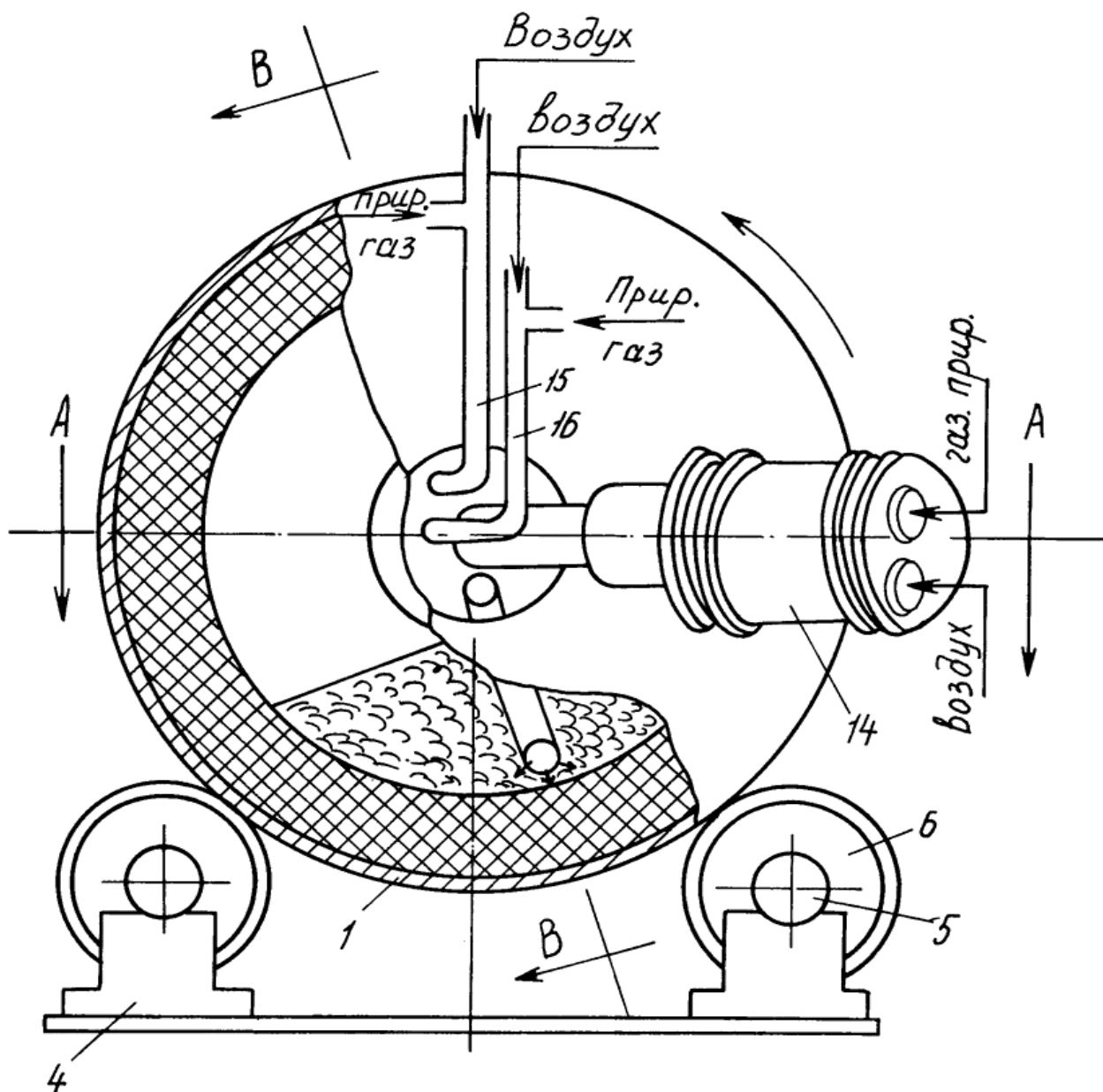


Рисунок 1.1 - Барабанный гранулятор

1.2 Барабанні

Типова конструкція - корпус, що обертається навколо горизонтальної осі яка приводиться до руху за допомогою електромотора через пасову передачу.

Принципові переваги конструкції: рух матеріалу відбувається під дією гравітаційних сил на поверхні сипучого матеріалу; можливо змішання з кускових матеріалів(будівельних розчинів зі щебенем); подрібнення

компонентів незначне; фізико-механічні характеристики змішуваних матеріалів незначно впливають на опір обертанню барабана. (Рисунок 1.2)

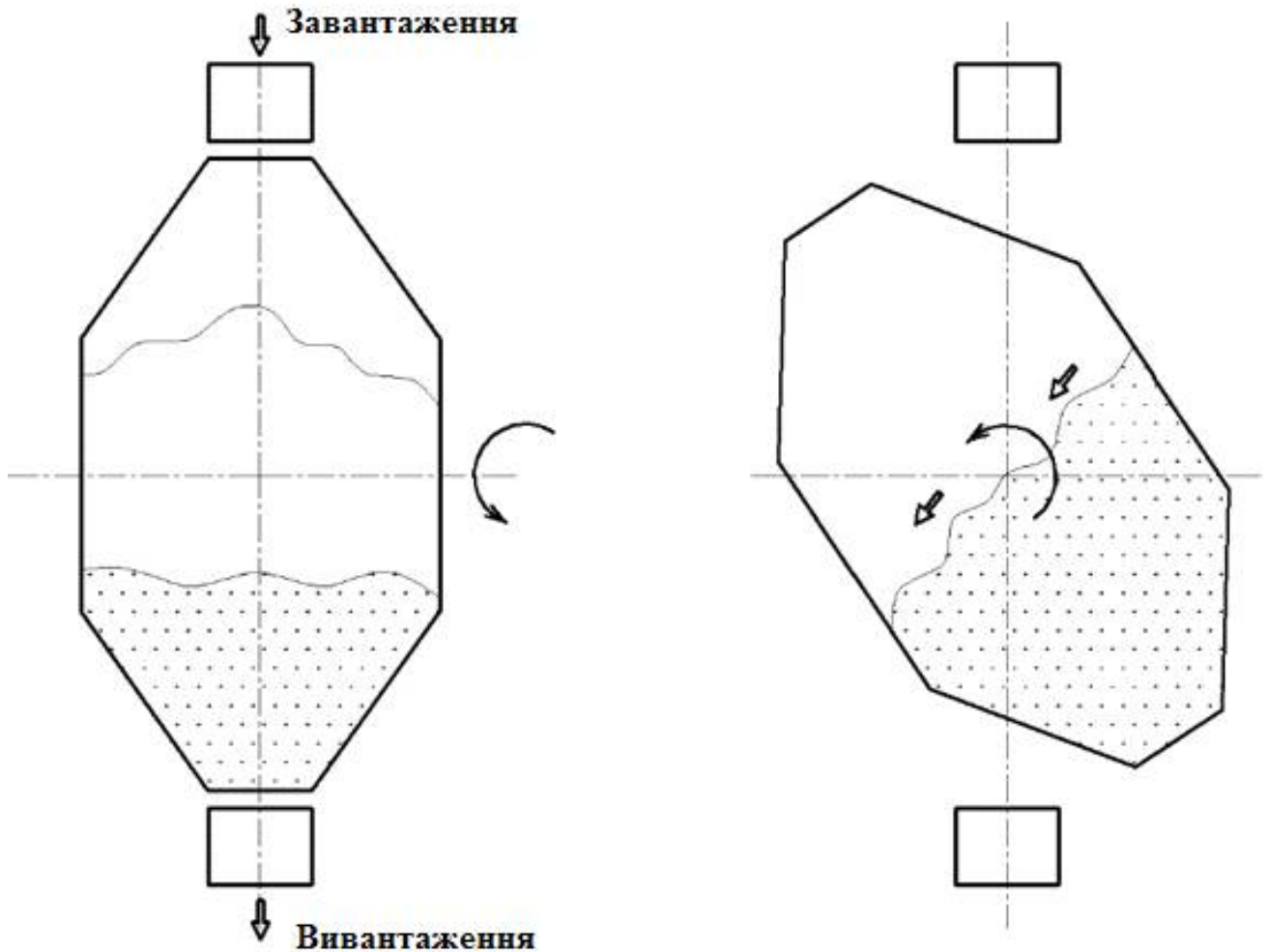


Рисунок 1.2 - Барабанні змішувачі

Принципові недоліки: порівняно низька інтенсивність змішування, ускладнення процесів завантаження і вивантаження. Інтенсивність змішування принципово обмежується деякою граничною частотою обертання корпусу, при якій відцентрові сили, що діють на матеріал, збільшуються настільки, що відбувається обертання сипучого матеріалу разом з корпусом.

Призначені для змішування сипучих матеріалів. Часто використовуються для проведення гранулювання.

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. На відміну від стрічкових змішувачів, частота обертання ротора на порядок вище (100-200 об / хв), питома потужність приводу ротора на порядок вище, а час приготування суміші на порядок нижче.

Призначені для змішування добре сипучих матеріалів, а так само незначно зв'язкових не надто схильних до налипання на поверхні. Можливо і приготування паст обмеженою в'язкості. На думку автора, даний тип змішувача можливо легко уніфікувати з стрічковими (Рисунок 1.3).

У деяких варіантах плужних змішувачів корпус може обертатися в напрямку, протилежному напрямку обертання валу. Рух матеріалу відбувається під дією ротора що обертається; як на поверхні сипучого матеріалу розкиданням по поверхні, так і масі матеріалу; подрібнення компонентів значне; фізико-механічні характеристики змішуються матеріалів впливають на опір обертанню ротора. [1].

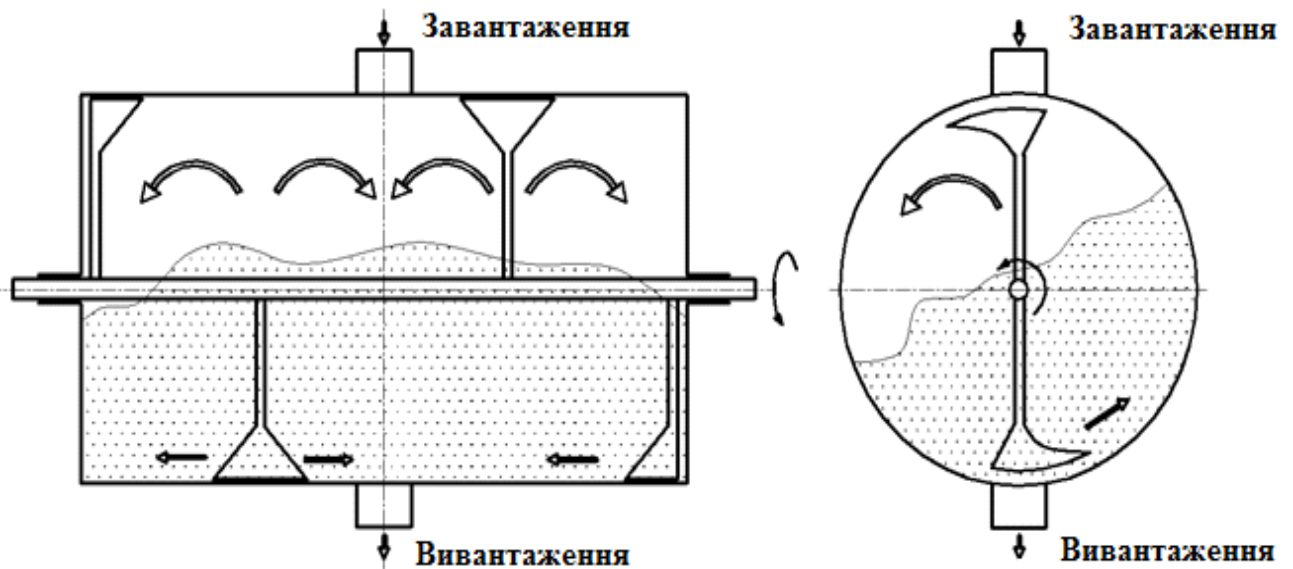


Рисунок 1.3 - Плужні змішувачі

1.4 Планетарно-шнекові

Типова конструкція - 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 (Рисунок 1.4).

Ці змішувачі 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 являється зручною при компонованні технологічної лінії.

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

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

У циркуляційних змішувачах відбувається замкнута циркуляція матеріалу по внутр. Обсягом. У планетарно-шнекових змішувачах циркуляція змішаного матеріалу здійснюється шнеком, що обертається навколо власної осі і осі апарату робочий об'єм 1-20 м.

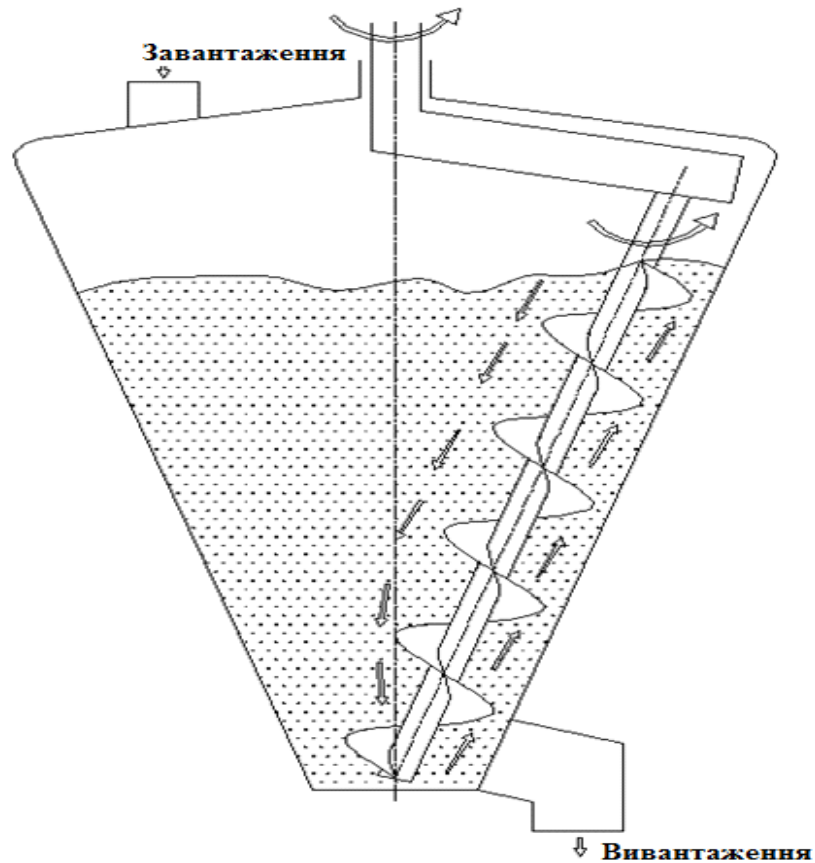


Рисунок 1.4 - Планетарно-шнековий змішувач

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 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 активне змішування матеріалу, він 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 (Рисунок 1.5).

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 [2].

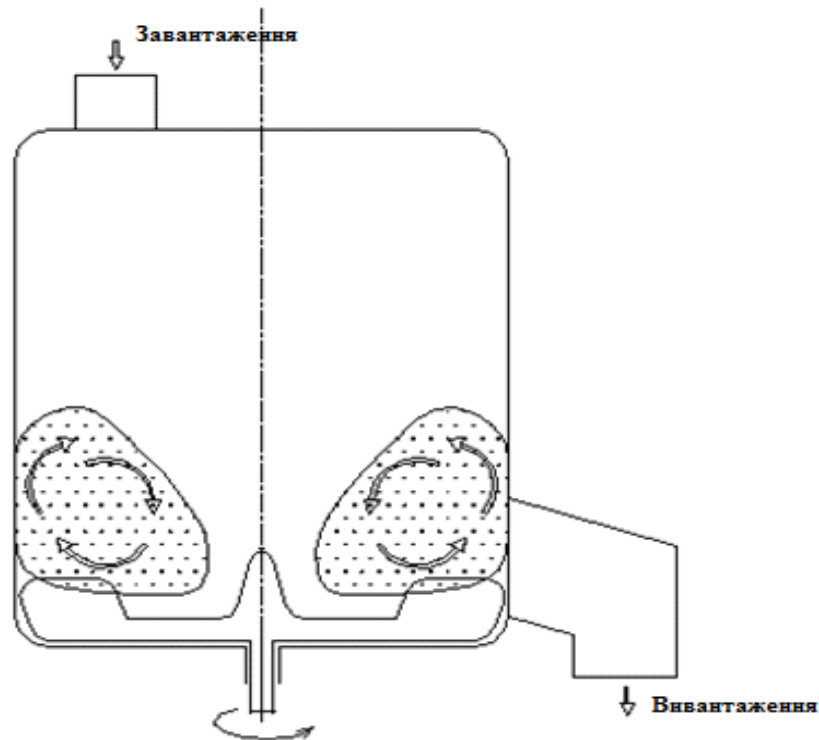


Рисунок 1.5 - Відцентрові змішувачі

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

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

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

1.6 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 дуже різні (Рисунок 1.6). В НДІХІММАШ віддавали перевагу Z-образним роторам, тому за цим типом змішувачів і закріпилася така назва [1].

Ротори мають різні частоти обертання.

Ці змішувачі здатні виробляти змішання як сипучих матеріалів, так і паст, 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 ротор та корпус. Конструкція роторів і різна їх частота обертання сприяє 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.

Встановлена потужність приводу залежить від властивостей одержуваного продукту. 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 при обертових роторах і випадання 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.

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

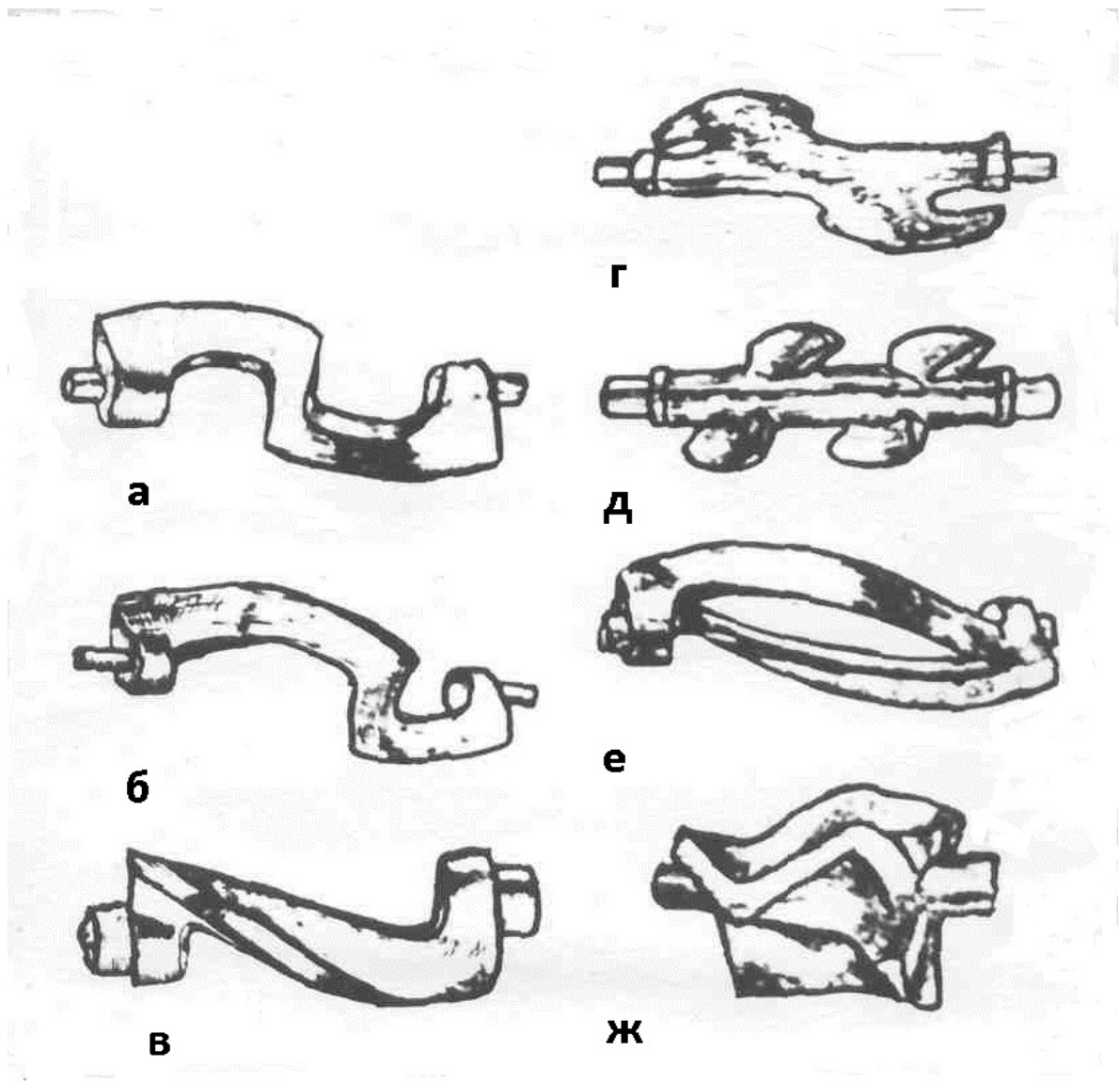


Рисунок 1.7 - Лопаті двовальних змішувачів для паст (а - Z- образні лопаті)

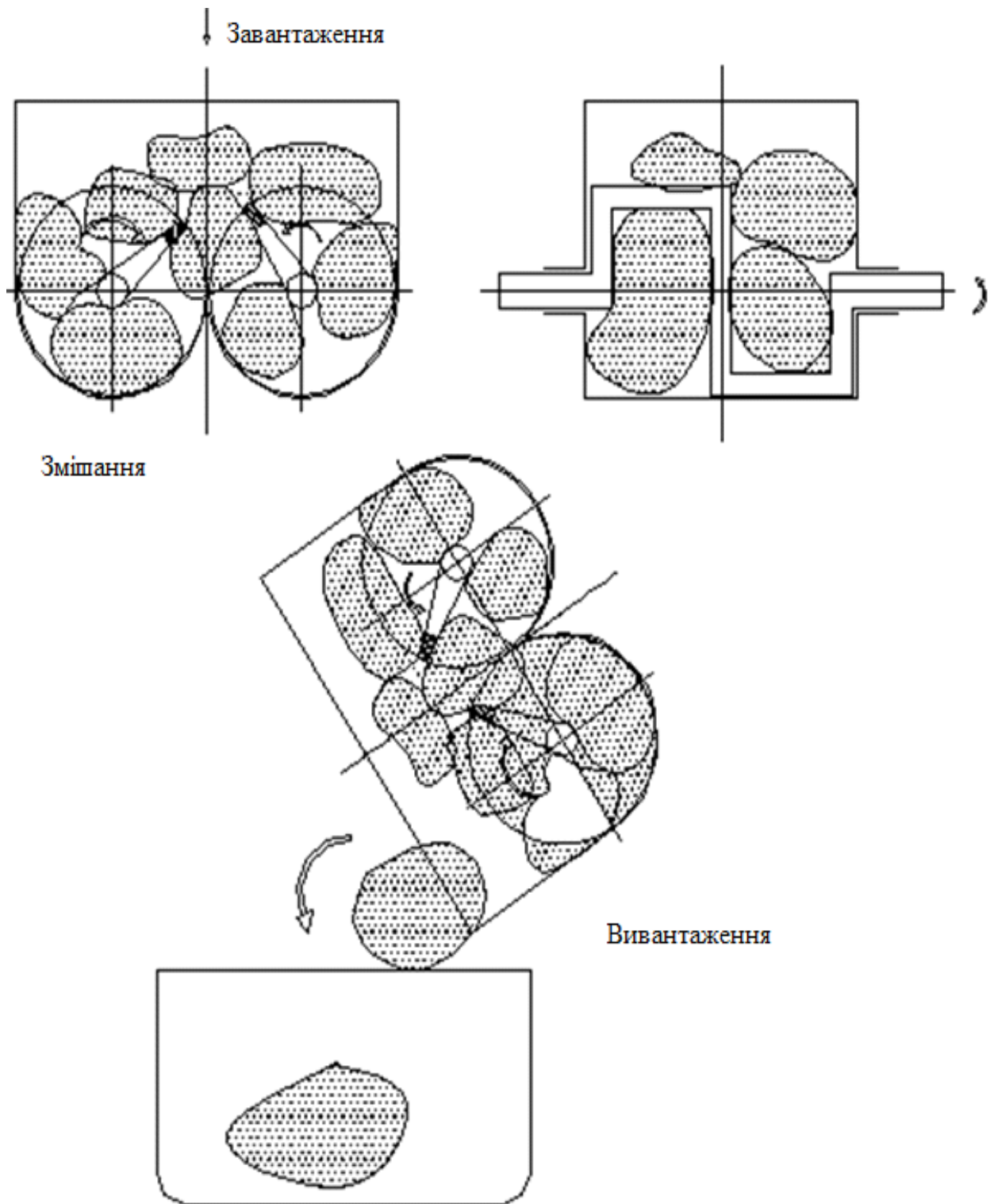


Рисунок 1.8 - Змішувачі з Z-подібними лопатями

1.7 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 (Рисунок 1.8).

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

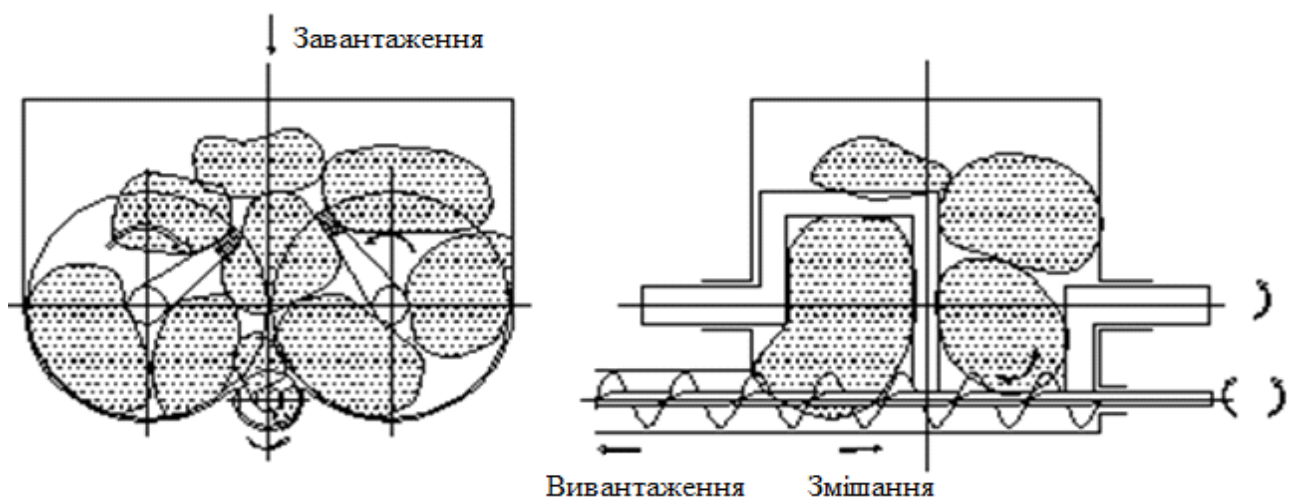


Рисунок 1.8 – Змішувачі з Z - подібними лопатями і розвантажувальним шнеком

Корпус змішувача нерухомий, тому і завантаження його так само є більш легким. З іншого боку, ручна очистка корпусу і роторів, в разі такої необхідності, ускладнюється в порівнянні з попередньою конструкцією (із-за наведених вище даних).

1.8 Волчковий змішувач

Змішувач періодичної дії відцентровий волчковий ЦВ-630 призначений для змішування сипких і пастоподібних матеріалів насипною густиною не більше 1700 кг/м^3 (Рисунок 1.9), але зазначимо що динамічною в'язкість пастоподібних матеріалів повинна не перевищувати 50 - 200 Па·с.

Проект був виконаний в С.ф. НДІХІММАШ. Змішувач складається з камери змішувача циліндричної форми, всередині якої розташовані ротор і очисні скребки. Камера змішувача встановлена на приводному редукторі. Ротор являє собою усічений конус, нижня частина якого з'єднана зі скребками серповидної форми. Для очищення поверхонь камери змішувача і конуса передбачені скребки, які отримують обертальний рух від потоку матеріалу, захоплюемого ротором.

Частота обертання очисних скребок регулюється стрічковим гальмом, розташованим на кришці камери змішувача що є дуже зручним.

Привід ротора - від електродвигуна і спеціального трьохшвидкісного редуктора.

Вихідні матеріали завантажують через штуцери, розташовані на кришці камери змішувача; вивантаження продукту - через розвантажувальний клапан, що приводиться в дію від пневмоциліндра.

Цей змішувач не отримав широкого розповсюдження і в подальшому було знято з виробництва.

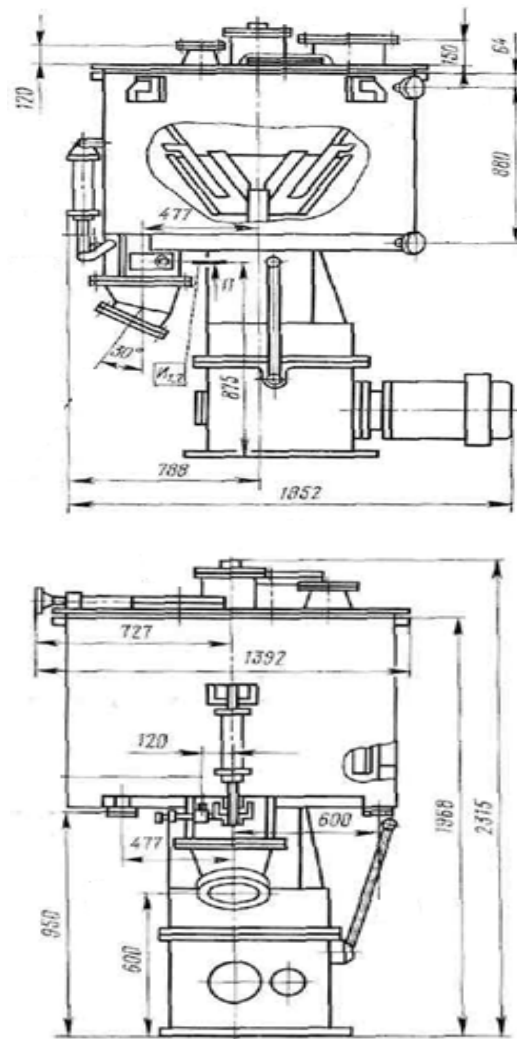


Рисунок 1.9 - Змішувач волочковий ЦВ-630

1.9 Пневматичний сопловий змішувач

Змішувач періодичної дії пневматичний сопловий ПС-100 ВБК-01 призначений для змішування і усереднення партій сипучих матеріалів насипною густиною не більше 1500 кг/м^3 , особливо термочутливих, а також що не допускають подрібнення або забруднення (Рисунок 1.10).

Змішувач складається з камери змішувача, що представляє собою вертикальну циліндричну посудину з конічним днищем, закритий зверху еліптичною кришкою. На кришці встановлено ротаційний пиловідокремлювачі,

що складається з двох паралельних дисків, між якими розташовані лопатки. Привід пиловідокремлювачі - від електродвигуна. У нижній частині конічного днища передбачені розвантажувальний клапан і сопла для підведення азоту (повітря).

Початкові матеріали завантажують через штуцери, розташовані на кришці. Стиснутий азот (повітря) для перемішування подається імпульсами через сопла. Вивантаження продукту - через розвантажувальний клапан, що приводиться в дію.

Пневмозмішувач з нержавіючої сталі з полірованою поверхнею використовуються в харчовій, фармацевтичній промисловості, полімерної. Завдяки вертикально розташованого конусу, інтенсивної аерації матеріалу і пневмоімпульса, отримана суміш вивантажується без залишку і сегрегації, що дозволяє використовувати змішувачі при високих вимогах до мінімального залишку.

Пневматичні змішувачі можуть бути встановлені на конус пневмокамерного насоса. Комбінований пристрій дозволяє змішувати різні компоненти і транспортує отриману суміш в режимі «щільної фази», з мінімальною сегрегацією.

Ці змішувачі не набули широкого поширення, оскільки їх застосування виправдане в рідкісних випадках, коли є специфічні технологічні вимоги.

Для виробництв будівельної індустрії характерні великотоннажні виробництва, часто застосовуються безперервні процеси, очищення змішувачів після попереднього процесу зазвичай не являється необхідним.

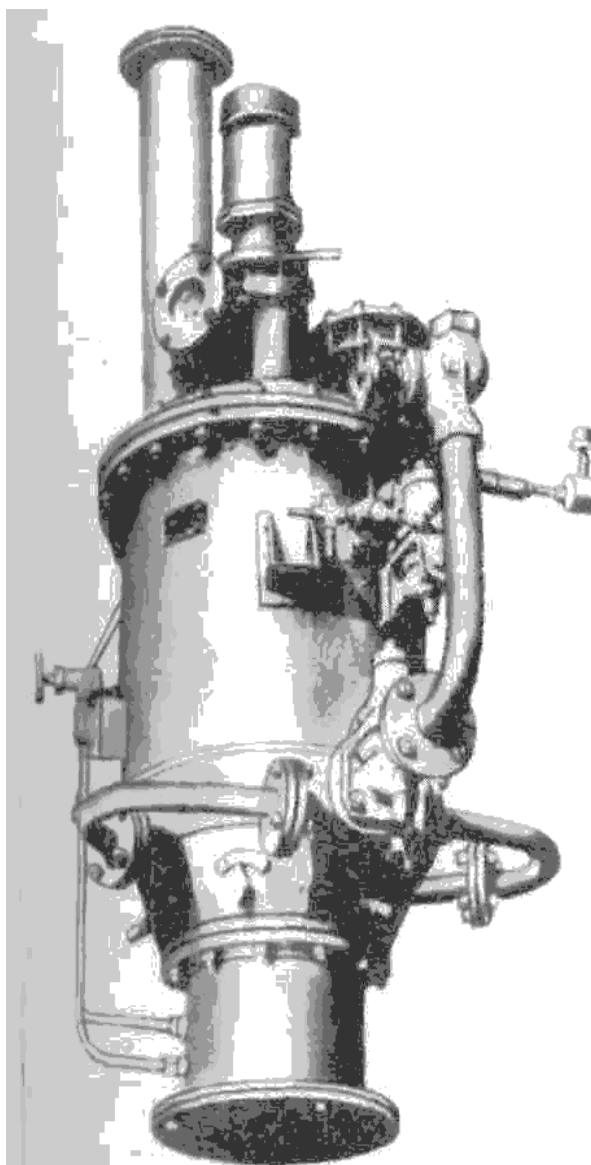


Рисунок 1.10 - Змішувач ПС-100

1.10 Змішувач СНД-1500

Призначений для приготування паст свинцево-кислотних акумуляторів, може бути використаний також для приготування інших пастоподібних сумішей динамічною в'язкістю от 200 до 10^5 Па·с.

Змішувач складається з камери змішувача з сорочкою. Усередині камери змішувача розміщені два ротори, що представляють собою вали з закріпленими на них лопатками (Рисунок 1.12).

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. камері змішувача - корозійна

Середовище не вибухонебезпечне; середовище в сорочці - вода.

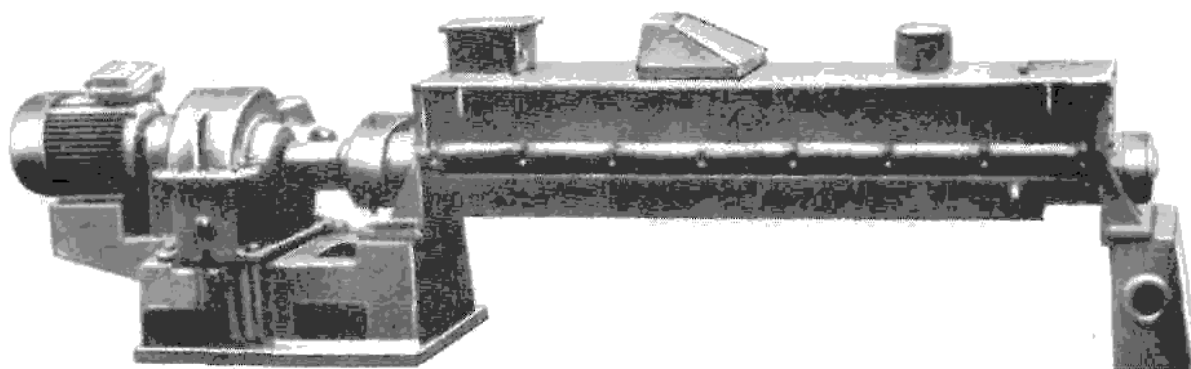


Рисунок 1.12 - Змішувач СНД-1500 (загальний вигляд)

Цей змішувач був розроблений для приготування обмазувальних мас електродів для кислотних акумуляторів. Змішувачі призначалися для приготування маси складається з оксидів свинцю з сірчаною кислотою. На виробництві вони виготовлялися з вуглецевої сталі, оскільки не дозволялося застосування інших матеріалів. Заміна змішувачі виробляли кожні 2-3 місяці через наскрізної корозії корпус. На акумуляторному заводі був навіть спеціальний ділянку, на якому вони виготовлялися.

За змішувача СНД-1500 в процесі приготування обмазувальних мас були зауваження - недостатня однорідність і пластичність суміші, недостатній крутний момент приводу та інші.

Мабуть, в даному виробництві доцільно застосування змішувачів періодичної дії типу ЗШ, оскільки тут потрібне точне дотримання співвідношення компонентів, висока однорідність і пластичність обмазувальної маси. Однак необхідний підбір корозійностійких матеріалів для виготовлення корпусу, роторів і шнека для нормативного строку обслуговування. Повне очищення корпусу і робочі органи змішувача після кожного замісу не являється необхідним.

Для виробництв будівельної індустрії характерні великотоннажні виробництва, часто застосовуються безперервні процеси, очищення змішувачів після попереднього процесу зазвичай не являється необхідним.

У харчовій промисловості висуваються високі вимоги до чистоти одержуваних продуктів, змішувачі після кожного замісу потрібно ретельно очищати і дезінфікувати, тому вони зазвичай працюють в періодичному режимі і проектуються з можливістю хорошого доступу до корпусу і робочим органам, хоча це призводить до ускладнення і подорожчання конструкції. Часто вони проектуються з підйомним механізмом, що дозволяє висувати робочі органи з корпусу, наприклад вгору (планетарно-лопатеві і зубчато-дискові змішувачі [9, с.216-225]).

У хімічній промисловості змішувачі з висувними робочими органами використовують рідко.

2 Пропозиції змішувачі на світовому ринку та ринку України

2.1 Пропозиції змішувачів на світовому ринку

В якості прикладу розглянемо пропозиції відомої фірми SHUANGLONG GROUP (Китай).[12]



Рисунок 2.1.1 - Стрічковий змішувач

Вступ:

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 циклу через збільшення ефективності змішування. Ми можемо налаштувати також й дизайн.

Ribbon Mixer для задоволення ваших вимог до змішування. Змішувачі ємності можуть бути стандартними U-образними або циліндричними в залежності від вимог внутрішнього тиску або вакууму.



Рисунок 2.1.2 - Ribbon Mixer

Принцип дії:

Стрічковий змішувач складається з частин трансмісії, мішалок з подвійною стрічкою і U-образного циліндра. У напрямку обертання зовнішня стрічка штовхає матеріали з обох кінців на середину, в той час як внутрішня стрічка штовхає матеріали з середини на обидва кінці. Стрічковий вітер з різним кутом нахилляє матеріали, поточні в різних напрямках. Завдяки безперервній конвективної циркуляції матеріали піддаються стрижці і ретельно перемішуються.

Стандарті функції:

- Обсяг: 100-20000L
- Нержавіюча сталь або вуглецева сталь
- Стрічка мешалка для центрального розряду
- Призначений для нормальної температури і нормального атмосферного тиску
- Насадка для подачі
- Пилосос

Додаткові особливості:

- Вуглецева сталь, нержавіюча сталь 304, нержавіюча сталь 316L
- Безперервна стрічкова мішалка, переривчаста стрічка для матеріалів з більш високою щільністю
- Внутрішній тиск
- Конструкція санітарного типу
- Заслінка, заслінка, засувка, кульовий кран
- Кінська сила для матеріалів з більш високою щільністю
- Вибухозахищені двигуни
- Доступні такі пристрої, як частотно-регульовані приводи, пускачі двигунів і операторські станції
- Распилительные насадки для введения рідини
- Сорочка для нагріву або охолодження

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики стрічкових змішувачів SHUANGLONG GROUP (Китай).

Модель	Загальний обсяг	Эффективный обсяг	Потужність
WLDH-0,1	100L	40-60L	3кВт
WLDH-0,3	300L	120-180L	4KW
WLDH-0,5	500L	200L-300L	7.5KW
WLDH-1	1000L	400L-600L	11кВт
WLDH-1,5	1500L	600L-900L	11кВт
WLDH-2	2000L	800L-1200L	15KW
WLDH-3	3000L	1200L-1800L	18.5KW
WLDH-4	4000L	1600L-2400L	22KW
WLDH-5	5000L	2000L-3000L	22KW
WLDH-6	6000L	2400L-3600L	30KW
WLDH-8	8000L	3200L-4800L	37KW
WLDH-10	10000L	4000L-6000L	45KW
WLDH-12	12000L	4800L-7200L	45KW
WLDH-15	15000L	6000L-9000L	55KW
WLDH-20	20000L	8000L-12000L	90KW



Рисунок 2.1.3 - Конічний стрічковий змішувач

Вступ:

Конічний стрічковий змішувач складається з трансмісійного пристрою, конічного циліндра, зовнішнього стрічкового змішувача, внутрішнього змішувача заднього гвинта і випускного клапана. Це нова конструкція для вузького матеріалу. Матеріал крутиться і піднімається під дією зовнішнього стрічкового змішувача.



Рисунок 2.1.4-Конічний стрічковий змішувач(внутрішній устрій)

Ударне зусилля, це обладнання підходить для змішування і реакції високолегованих рідин з в'язкістю менше 200 000 кПа, таких як фарба, матеріал для покриття і клей. Це особливо корисно для змішування НЕ-Ньютонських рідин, що містять багато твердих елементів.

Стандартные функции:

- Обсяг: 100-15000L
- Нержавіюча сталь або вуглецева сталь
- Стрічка і гвинт-мішалка для донного розряду
- Призначений для нормальної температури і нормального атмосферного тиску
- Насадка для подачі
- Пиросос
- Ручний або пневматичний дислокований клапан
- пакувальна друк
- Граничний вимикач безпеки на отворі для людини



Рисунок 2.1.5 - Конічний стрічковий змішувач(мішалка)

Додаткові особливості:

- Вуглецева сталь, нержавіюча сталь 304, нержавіюча сталь 316L

- Внутрішній тиск
- Конструкція санітарного типу
- дислокаційний клапан, заслінка, засувка, кульовий кран
- Кінська сила для матеріалів з більш високою щільністю
- Вибухозахищені двигуни
- Доступні такі пристрої, як частотно-регульовані приводи, пускачі двигунів і операторські станції
- Распилительные насадки для введення рідини
- Сорочка для нагріву або охолодження

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики вертикальних конічних змішувачів SHUANGLONG GROUP (Китай).

Модель	Загальний обсяг	Ефективний обсяг	Потужність
LDSH-0,1	100L	40-60L	2.2KW
LDSH-0,3	300L	120-180L	3кВт
LDSH-0,5	500L	200L-300L	4KW
LDSH-1	1000L	400L-600L	7.5KW
LDSH-1,5	1500L	600L-900L	11кВт
LDSH-2	2000L	800L-1200L	11кВт
LDSH-3	3000L	1200L-1800L	15 кВт
LDSH-4	4000L	1600L-2400L	18,5 кВт
LDSH-5	5000L	2000L-3000L	22 кВт
LDSH-6	6000L	2400L-3600L	30 кВт
LDSH-8	8000L	3200L-4800L	37 кВт
LDSH-10	10000L	4000L-6000L	45 кВт
LDSH-1 2	1 2 000 л	4 8 00L- 72 00 L	45 кВт
LDSH-1 5	1 5 000 л	60 00L- 90 00 L	55 кВт



Рисунок 2.1.6 -Змішувач V (V-подібний змішувач)

Вступ:

Змішувач «V» є ефективною і універсальною змішувати машину для рівномірного змішування і мастила сухих порошоків. Приблизно дві третини обсягу змішувача заповнюються для забезпечення правильного змішування. Змішувач «V» дає кращий результат для порошоків завдяки відповідній середній швидкості і формі «V».

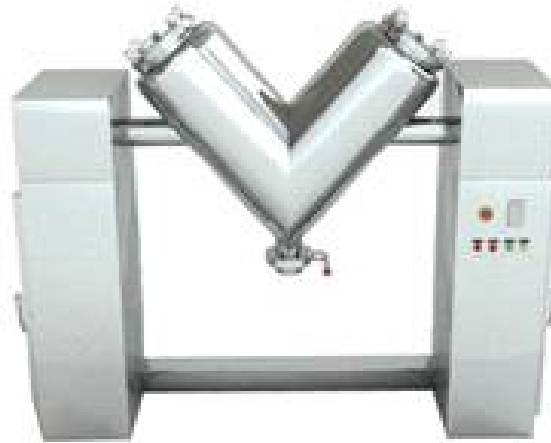


Рисунок 2.1.7 –З мішувач V-подібний

Принцип дії:

- У змішувачі «V» порошки надходять з усіх боків через «V» форми контейнера продукту. Підходить в основному для матеріалів типу порошок і гранули. Цей тип матеріалу отримує достатню безперервний рух. Через форми «V» контейнера вони мають тільки середні руху і забезпечуватимуть гарну якість змішування / мастила гранул.
- Підходить для сухого змішування продуктів у вигляді порошку.
- Форма «V» забезпечує достатню безперервний потік гранул, призводить до хорошій якості.
- Для забезпечення безпечної роботи пристрою потрібна максимальна обережність.
- Ручне обертальний пристрій з ручним колесом
- Зменшення розміру часток мінімізується через відсутність будь-яких рухомих лопатей. Форма корпусу блендера призводить до майже повної розрядки матеріалу продукту, що явно додає перевага перед горизонтальним блендером.
- Змішувач V хороший для змішування сухих порошоків і гранульованих продуктів

Стандартні функції:

- Обсяг: 100-6000L
- Нержавіюча сталь
- Немає мішалки усередині змішувача
- Призначений для нормальної температури і нормального атмосферного

тиску

- Насадка для подачі
- Ручний дросельний клапан

Додаткові особливості:

- Нержавіюча сталь 304, нержавіюча сталь 316L
- Конструкція санітарного типу
- Засувка, засувка
- Кінська сила для матеріалів з більш високою щільністю
- Вибухозахищені двигуни
- Доступні такі пристрої, як частотно-регульовані приводи, пускачі

двигунів і операторські станції

- Внутрішні пристосування, такі як кускові вимикачі і диспенсери для рідини, розширюють застосування цього змішувача

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики V- подібних змішувачів SHUANGLONG GROUP (Китай).

модель	Загальний обсяг	Ефективний обсяг (MAX)	Потужність
SVP-0.05	50L	20L	0.75KW
SVP-0.1	100L	40L	1.1KW
SVP-0.2	200L	80L	1.1KW
SVP-0.3	300L	120L	1.1KW
SVP-0.5	500L	200L	2.2KW
SVP-1	1000L	400L	4KW
SVP-1.5	1500L	680L	5.5KW
SVP-2.5	2500L	1200L	11KW
SVP-4	4000L	1800L	15KW
SVP-6	6000L	2500L	18.5KW



Рисунок 2.1.8 - Плужний змішувач

Вступ:

Змішувач для плуга - це високошвидкісний змішувач з високою однорідністю. Під час процесу змішування сировину переміщається навколо барабана в радіальному, поперечному і поздовжньому русі високошвидкісними ножицями для плуга і измельчителями.



Рисунок 2.1.9 - Плужний змішувач(подібна конструкція)

Крім того, час змішування є коротким, особливо для вільно текучих порошків або гранул. Також можна застосувати рідка добавка і нагрів або охолодження.

Принцип дії:

У першому випадку змішувальний вал і інструменти встановлені горизонтально, що забезпечує при відповідному переміщенні продукт, що досягає від шару сипучого продукту до механічно згенерованого псевдозрідженим шаром. У другому випадку змішувальний вал встановлений у вертикальному напрямку, завдяки чому при відповідному русі створюється так званий вихор. Установка швидко обертаються головок подрібнювача дозволяє змішувати продукти, які прагнуть до утворення грудок. Через інструментів для змішування матеріал, який підлягає змішуванню, спеціально подається в область активності головки подрібнювача. Крім звичайних інструментів для змішування плити є велика різноманітність модифікованих перемішують інструментів, що полегшує оптимальну адаптацію змішувальних інструментів до окремого матеріалу

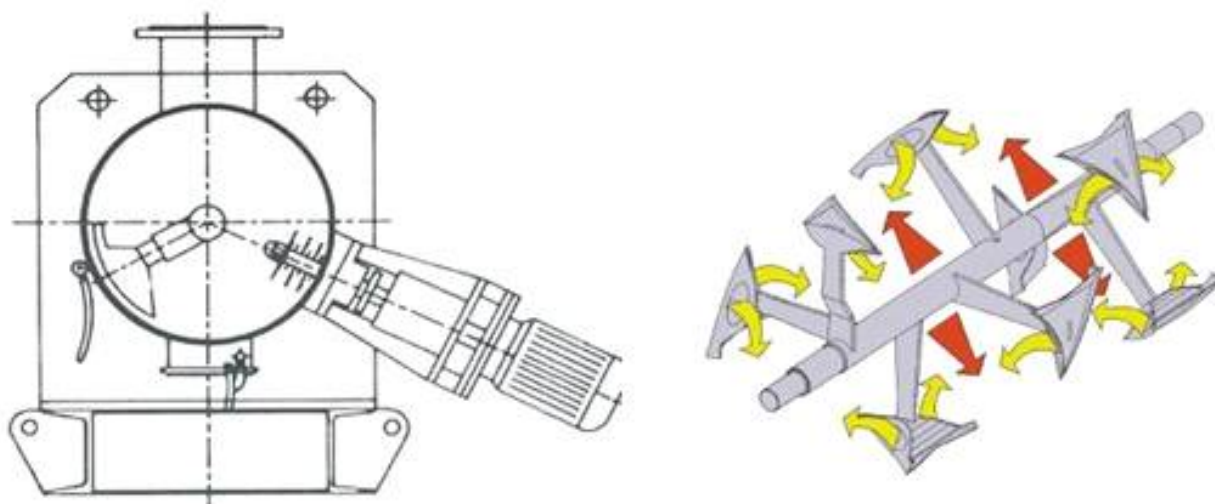


Рисунок 2.1.10 - Плузний змішувач(принцип дії)



Рисунок 2.1.11 - Конічний гвинтовий змішувач (планетарно-шнекові)

Вступ:

Це у всьому світі визнається промисловим стандартним конічним змішувачем і використовується в найрізноманітніших застосуваннях в промисловості, таких як фармацевтичні, харчові, акумуляторні матеріали, барвники і пігменти, хімічна промисловість, добрива, рідкоземельні елементи, титановий порошок і т. Д. широко використовується для змішування порошкового порошку, силової рідини, особливо для тонкодисперсних порошоків, волокон або чіп-образних матеріалів.



Рисунок 2.1.12 - Конічний гвинтовий змішувач в розрізі

Принцип дії:

Конічний змішувач виконаний на основі принципу обертання і обертання, транспортуючи матеріал разом з віссю за допомогою обертання. Одночасно матеріал піднімається вгору і вниз, циклічно переміщаючись по поверхні стінки конуса, з центральним обертанням. Парне перемішування може бути виконано в найкоротші терміни.



Рисунок 2.1.13 - Одношнековий змішувач

Подвійний гвинтовий змішувач

- Обсяг: 100-30000L
- Нержавіюча сталь або вуглецева сталь
- Гвинт-мішалка для центрального розряду
- Призначений для нормальної температури і нормального атмосферного тиску

тиску

- Насадка для подачі
- Пілосос

Додаткові особливості:

- Вуглецева сталь, нержавіюча сталь 304, нержавіюча сталь 316L
- Внутрішній тиск
- Конструкція санітарного типу
- дислокаційний клапан, заслінка, засувка, кульовий кран
- Кінська сила для матеріалів з більш високою щільністю
- Вибухозахищені двигуни
- Доступні такі пристрої, як частотно-регульовані приводи, пускачі

двигунів і операторські станції

- Распилительные насадки для введения рідини
- Сорочка

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики планетарно-шнекових змішувачів SHUANGLONG GROUP (Китай).

Модель	Загальний обсяг	Робочий	Потужність
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
Two Motors			
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



Рисунок 2.1.14 - Змішувач з двома валами (двовальний змішувач)

Вступ:

Double Shafts Paddle Mixer - це новий тип змішувача з високою гомогенністю, який робить матеріал невагомим при змішуванні. Він широко використовується у важкій насипній щільності, матеріалі з високою в'язкістю, такому як сухий розчин, метал, каучук, гірничодобувна промисловість,

пластмаса, хімічна промисловість, металургійна промисловість і відповідає найвищій однорідності.



Рисунок 2.1.15 - Змішувач з двома валами (двовальний змішувач)

Принцип дії:

Дві осі внутрішнього простору змішування обертаються з різних сторін, а лопаті, прикріплені до осей, утворюють зону з псевдозрідженим шаром шляхом дифузії змішаних матеріалів в різні напрямки відповідно до стабільною швидкістю вершини.

В цей час переміщення матеріалів концентрується на верхній центральній частині від дна змішувача, і тому ефективний обсяг змішувача кімнати збільшується, а в міру збільшення ефективного обсягу відбувається стік і тертя між матеріалами. Крім того, як контактна секції між матеріалами і змішувальної камерою немає пошкоджень з -за зіткнення і тертя, а з іншого боку, сам міксер не викликає внутрішнього тертя через матеріалу, тому він зберігає форму частинки і він не натискає на обертовий об'єкт або вентиляційний ве отвір і т. д., він запобігає витоку матеріалів на частини ущільнення і продовжує перемішування. Таким чином, змішувач з нульовою гравітацією створив нову концепцію змішування порошку, вирішуючи проблеми виверження і витоку і т. Д., А також точність перемішування.

Стандартні функції:

- Обсяг: 100-18000L
- Нержавіюча сталь або вуглецева сталь
- Стрічка мешалка для центрального розряду
- Призначений для нормальної температури і нормального атмосферного тиску

тиску

- Пиросос

Додаткові особливості:

- Вуглецева сталь, нержавіюча сталь 304, нержавіюча сталь 316L
- Вибухозахищені двигуни
- Доступні такі пристрої, як частотно-регульовані приводи, пускачі двигунів і операторські станції
- Распилительные насадки для введения рідини
- Високошвидкісний подрібнювач

Таблица 2.6 - Технічні характеристики змішувачів з двома валами SHUANGLONG GROUP (Китай).

Модель	Загальний обсяг	Ефективний обсяг	Потужність
WZ-0,2	200L	80-120L	3кВт
WZ-0,3	300L	120-180L	4KW
WZ-0,5	500L	200L-300L	7.5KW
WZ-1	1000L	400L-600L	11кВт
WZ-1,5	1500L	600L-900L	15KW
WZ-2	2000L	800L-1200L	18.5KW
WZ-2,5	2500L	1000L-1500L	22KW
WZ-4	4000L	1600L-2400L	22 кВт
WZ-5	5000L	2000L-3000L	37 кВт
WZ-6	6000L	2400L-3600L	4 5KW
WZ-10	10000L	4000L-6000L	5 5 кВт
WZ-12	12000L	4800L-7200L	75 KW
WZ-15	15000L	6000L-9000L	90KW
WZ-18	18000L	7200L-10800L	110кВ



Рисунок 2.1.16 – Змішувач безперервної дії

Змішувач безперервної дії є першим, виготовленим S & L в Китаї. Завдяки комбінованому і спілкуванню з зарубіжними технологіями, безперервний змішувач став зрілим і популярним продуктом по всьому міру. Во вхідній області матеріал з безперервною подачею піднімається і транспортується першим мішалкою. Альтернативно стискають і розширюються робочі зони гомогенізують продукт змішування. На основі регульованого кута для змішувальних інструментів

Окружна швидкість, час перебування продукту в камері змішувача може варіюватися. Частий контакт продукту з інструментами змішувача призводить до агломерації порошоків. Подрібнювач можна встановити в змішувальному барабані в якості додаткового обладнання для диспергування агломератів і забезпечити контрольоване гранулювання під час процесу змішування.



Рисунок 2.1.17 – Змішувач безперервної дії

2.2 Планетарно шнекові змішувачі на ринку України

Тема моєї дипломної роботи є : "Планетарно-шнековий змішувач" тому я пропоную нижче більш детально ознайомитися з найбільш розповсюдженими змішувачами на ринках України.

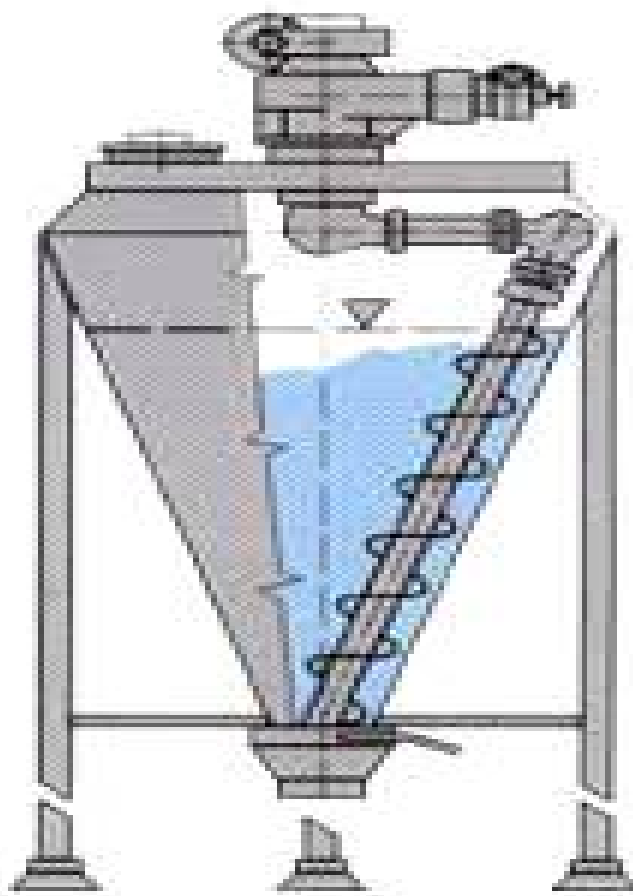


Рисунок 2.18 –З мішувач планетарно-шнековий HV 300

Змішувач планетарно-шнековий HV 300 застосовується для швидкого змішування декількох сипучих компонентів. Також можлива ін'єкція певної кількості рідини в сипучу суміш для грануляції продукту.

Область застосування : змішувач застосовується на підприємствах харчової, комбікормової фармацевтичної і хімічної промисловості

Система змішування гарантує високу ступінь гомогенізації суміші навіть у разі неповного використання всього обсягу змішувача.

Область призначення : призначені для - приготування сумішей пудингів, борошняних, крохмальних сумішей, розчинних напоїв і супів, кави, чаю, какао, прянощів, вітамінів, підготовки сумішей для виробництва ліків і медикаментів ,приготування кормових сумішей для сільського хазяйства.

Також за проханням покупця: можуть бути оснащені парової або водяний сорочкою для підігріву або охолодження змішуються компонентів.

Ціна приблизно : 51 300 грн. (залежності від комплектуючих).

Компанія виробник: «Агромаш».

Взять з сайту : <https://prom.ua/Smesitel-sypuchih-produktov.html>[12)]

Змішувач вертикальний HV 600 призначені для швидкого і ретельного перемішування кількох сипучих компонентів. Також можлива ін'єкція певної кількості рідини в сипучу суміш для грануляції продукту.

Область застосування : змішувач застосовується на підприємствах харчової, комбікормової, фармацевтичної і хімічної промисловості.

Система змішування гарантує високу ступінь гомогенізації суміші навіть у разі неповного використання всього обсягу змішувача.

Область призначення : змішувач призначені для - приготування сумішей пудингів, борошняних, крохмальних сумішей, розчинних напоїв і супів, кави, чаю, какао, прянощів, вітамінів, підготовки сумішей для

виробництва ліків і медикаментів, приготування кормових сумішей для сільського господарства.

Також за проханням покупця : можуть бути оснащені парової або водяний сорочкою для підігріву або охолодження змішуються компонентів.



Рисунок 2.19 - Змішувач вертикальний HV 600

Ціна приблизно : 32 500 грн. (в залежності від комплектуючих).

Компанія виробник : «Техно-центр» [12]

Взяць з сайту : <https://prom.ua/Smesitel-sypuchih-produktov.html>

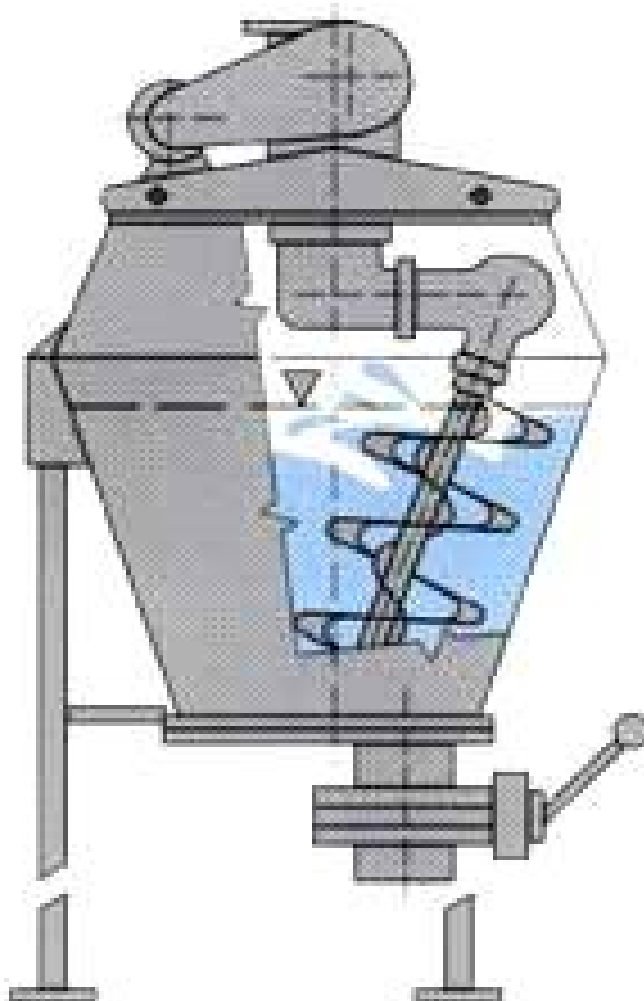


Рисунок 2.20 - Змішувач вертикальний з шнекової і стрічкової мішалкою
HVP 250

Змішувач вертикальний з шнекової і стрічкової мішалкою HVP 250 призначений для ретельного перемішування і готування пастоподібних мас.

Область застосування : змішувач застосовується на підприємствах харчової, фармацевтичної і хімічної промисловості.

Може змішувати як самі пастоподібні суміші, так і пастоподібні з сипучими, пастоподібні з рідкими, пастоподібні з сипучими та рідкими компонентами.

Також за проханням покупця : додатково може бути оснащений паровою або водяною сорочкою для підігріву або охолодження змішуються компонентів.

Ціна приблизно : 41 800 грн. (в залежності від комплектуючих).

Компанія виробник : «TORGPARK». [12]



Рисунок 2.21 - Змішувач вертикальний з шнекової і стрічкової мішалкою
HVP 250

Область застосування : змішувач застосовується на підприємствах харчової, фармацевтичної і хімічної промисловості.

Може змішувати як самі пастоподібні суміші, так і пастоподібні з сипучими, пастоподібні з рідкими, пастоподібні з сипучими та рідкими компонентами.

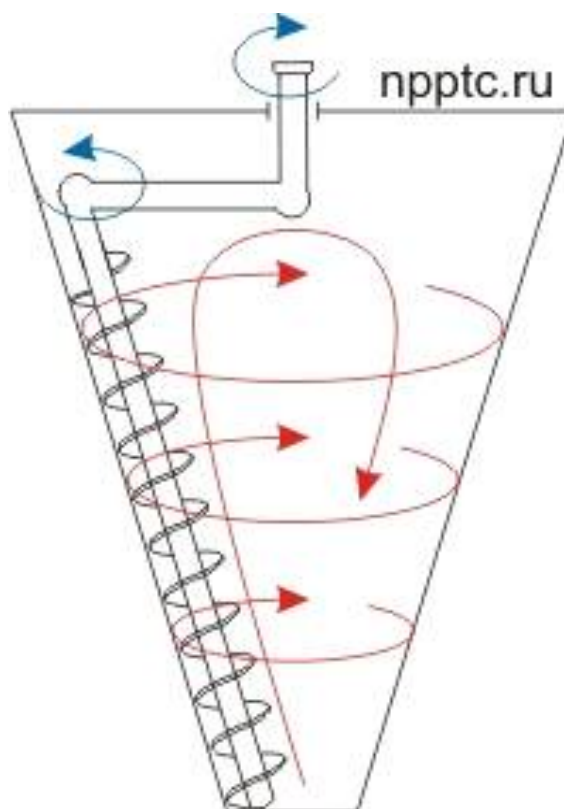


Рисунок 2.22 - Змішувач вертикальний з шнекової і стрічкової мішалкою
HVP 250

Область застосування : усереднення сипучих порошкових і зернистих матеріалів з різною питомою вагою, наприклад: мінеральних добрив, пігментів, феритових і тврдосплавних порошоків і цементів.

Виконання стикаються з оброблюваним матеріалом деталей:

Ст3 або нержавіюча сталь.

Область застосування : Змішувач СПШ-20 пропонується к застосуванню в лабораторіях і промислових підприємствах.

Ціна приблизно : 35 500 грн. (в залежності від комплектуючих).

Також за проханням покупця : додатково може бути оснащений Сорочка для подачі теплоносія; можливість підключення до системи вакуумування Замовника; Системи обігріву, охолодження робочої ємності; можливість подачі азоту, аргону в робочу камеру;

Компанія виробник : «Техно-Центр» [12]

3 Ціль та задачі дослідження

В умовах ринкових відносин необхідно переконатися в тому, що випуск продукції дасть економічний ефект для ринку збуту. Необхідно розробити раціональну номенклатуру типорозмірного ряду, застосовуючи при цьому принципи стандартизації і уніфікації, зробити висновок про доцільність організації серійного випуску даних виробів. Слід прагнути саме до серійного випуску виробів, оскільки загальновідомо, що собівартість поодиноких зразків обходиться на порядок дорожче.

Основною задачею досліджень при виконанні даної роботи було определение впливу доповнюючих розподільних елементів на процес змішування та на енергетичні витрати.

4 Дослідження процесу змішування в планетарно-шнекових змішувачах з додатковими розподільними елементами

Для порівняння ефективності змішування були спочатку проведені замеси в змівачи класичної конструкції – з одним шнеком. Потім на тіх же матеріалах вже з додатковими елементами.

4.1 Теорія змішування

Більшість дослідників оцінюють рівномірність розподілу компонентів в суміші коефіцієнтом неоднорідності

$$V_c = \frac{100 \cdot S_u}{\bar{x}} \quad (4.1.)$$

де: S_u – виправлене вибіркове середньоквадратичне відхилення концентрації ключового компонента в пробах вибірки;

\bar{x} - середнє арифметичне значення масової частки ключового компонента в пробах вибірки.

Виправлена вибіркова дисперсія S_u^2 є оцінкою за кількома пробами.

Дисперсію рандомального розподілу (ідеально випадковий розподіл) S_R^2 для двокомпонентної суміші можна розрахувати за формулою Штанге [7]

$$S_R^2 = \frac{c_p \cdot c_q}{G} \cdot [c_p \cdot \bar{\gamma}_q \cdot (1 - V_g^2) + c_q \cdot \bar{\gamma}_p \cdot (1 - V_p^2)] \quad (4.1.2.)$$

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.

На Рис. 4.1 показана типова крива зміни вибіркової змiряної дисперсії S_u^2 .
Вибіркова дисперсія є оцінкою генеральної дисперсії S^2 .

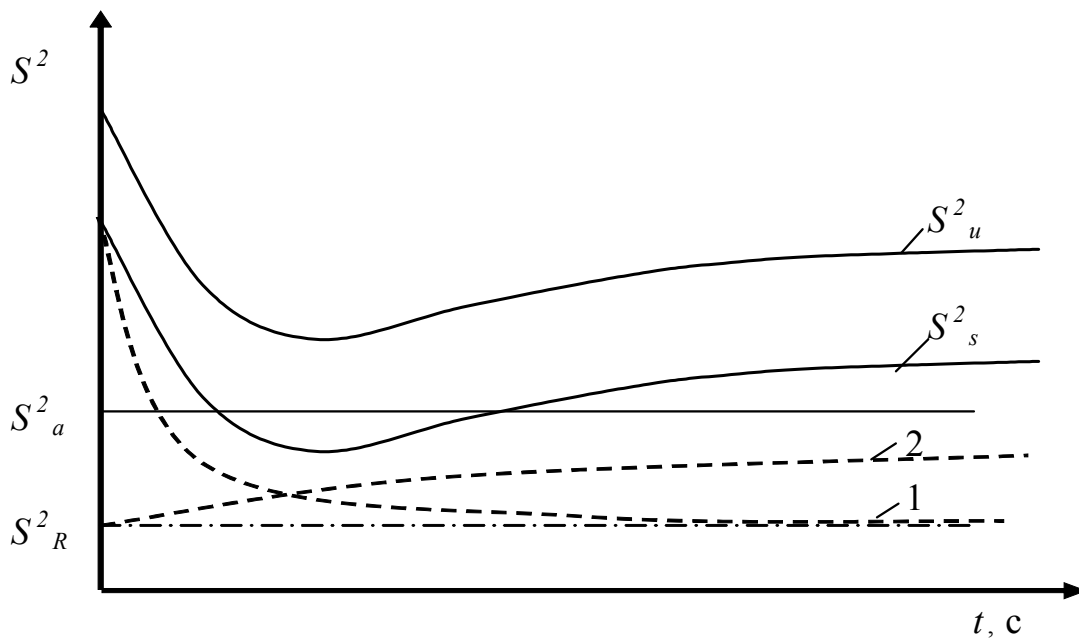


Рисунок 4.1 - Зміна дисперсії розподілу ключового компонента при змішуванні

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.

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4.3)$$

де: x_i - масова частка ключового компонента в i -ої пробі;

n - кількість проб у вибірці.

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

$$S_u^2 = S_s^2 + S_a^2 + S_R^2 \quad (4.4)$$

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

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

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

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 [1]. 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 дві залежних проби. В цьому випадку:

$$\delta x_i = x_{i1} - x_{i2}$$

$$\bar{\delta x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i1} - x_{i2})}{n}$$

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

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

При досить тривалому змішуванні могло б бути досягнуто ідеальне випадкове (рандомальне) розподілення 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 сипких 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.

На підставі вище викладеного впливає, що коефіцієнт неоднорідності V_c (4.1.) не містить інформації про те, чому компоненти розподілені неоднорідне, може бути змішання не доведена до кінця, а може бути, сталася сегрегація компонентів в будь-якому напрямку. 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 вибірових середніх [10].

Певну складність представляє змішання компонентів, коли один з них міститься в малій кількості (менше 1%). В такому випадку можливо залягання цього компонента в мертвих зонах, наприклад, в зазорі між корпусом і ротором або налипання у верхній частині корпусу. Щоб досягти надійного розподілу компонента, що міститься в малій кількості, готують концентрат. Тобто, спочатку готують суміш компонента, що міститься в малій кількості в співвідношенні до основного, наприклад 1:10, потім вже цей концентрат розмішується. Змішання компонентів із застосуванням концентрату може бути виконано, в необхідних випадках, в кілька стадій.

4.2 Приклад обробки експериментальних даних вибірки

Нижче приведено методику обробки результатів змішання піску і металевої тирси, отримані в змішувачі ПШ-24 через 12 обертів водила (360 секунд змішування).

Відповідно до номерів проб 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
1	9	8	7	6	5,224	5,248	5,163	5,481	5,164
1	1	1	1	1	5,552	5,506	5,370	5,198	5,430

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

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 5,312 \%,$$

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

n – число проб у вибірці.

Сума квадратів різниць

$$S^2(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 0,343$$

Виправлена вибіркова дисперсія

$$D(x) = \frac{S^2(x)}{n-1} = \frac{0,343}{14} = 0,025.$$

Коефіцієнт неоднорідності суміші

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

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

$$\bar{x}_e = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_{ei}}{5} = 5,269 \%;$$

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

Визначимо виправлені вибіркові дисперсії верхньої і нижньої груп

$$D_e = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} (x_{ei} - \bar{x}_e)^2}{n_e - 1} = 0,0309,$$

$$D_n = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} (x_{ni} - \bar{x}_n)^2}{n_n - 1} = 0,0191;$$

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

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

$$F = \frac{D_{\text{большая}}}{D_{\text{меньшая}}} = \frac{0,0309}{0,0191} = 1,63.$$

Критичне значення критерію $F_{кр}$ визначаємо по [8, додаток 7]. При рівні значності $\alpha=0,01$; число ступенів свободи більшої дисперсії $k_1=n_v-1=4$, 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 $H_0: \bar{x}_v = \bar{x}_n$.

Підраховуємо значення критерію Стьюдента

$$Z = \frac{|\bar{x}_v - \bar{x}_n|}{\sqrt{\frac{D_H}{n_H} + \frac{D_B}{n_B}}} = 1,424.$$

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

Знайдемо праву критичну точку, для чого спочатку підраховуємо 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, $\bar{x}_v = \bar{x}_n$.

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}).

Підраховуємо середні значення концентрацій ключового компонента для груп.

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

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.

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

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

Проведемо перевірку однорідності дисперсій за критерієм Кочрена

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

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]

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

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

Залишкова дисперсія

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

де: x_{ikJ} – концентрація ключового компонента в i -ої пробі kJ -ої групи;
 \bar{x}_{kJ} - середня концентрація ключового компонента в kJ -ої групі.

Підрахуємо критерій Фішера-Снедекора

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

Критичне значення критерію Фішера-Снедекора

$$F_{кр} = 5,99 \text{ [8, додаток 7]}$$

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

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

4.3 Результати експериментів по змішуванню сухого піску

Сєверодонецького кар'єру з металевою тирсою

Були проведені експерименти в ході котрих через визначений проміжок часу відбиралися проби по схемі зображеної на рис. 4.1

На рис. 4.3 та 4.4 показано поверхня матеріалу до змішення та через 12 обертів водила.

Результати змірення коефіцієнта неоднорідності приведено на рис.4.5.

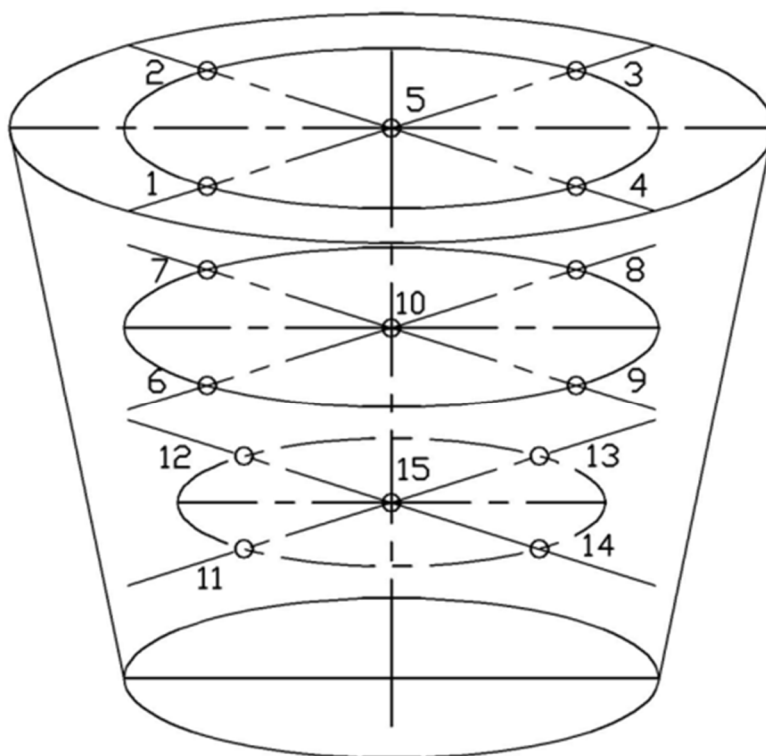


Рисунок 4.2-Схема відбору проб з корпуса змішувача



Рисунок 4.3 - Начальне завантаження чавунної тирси



Рисунок 4.4 - Розподіл компонентів через 12 обертів водила

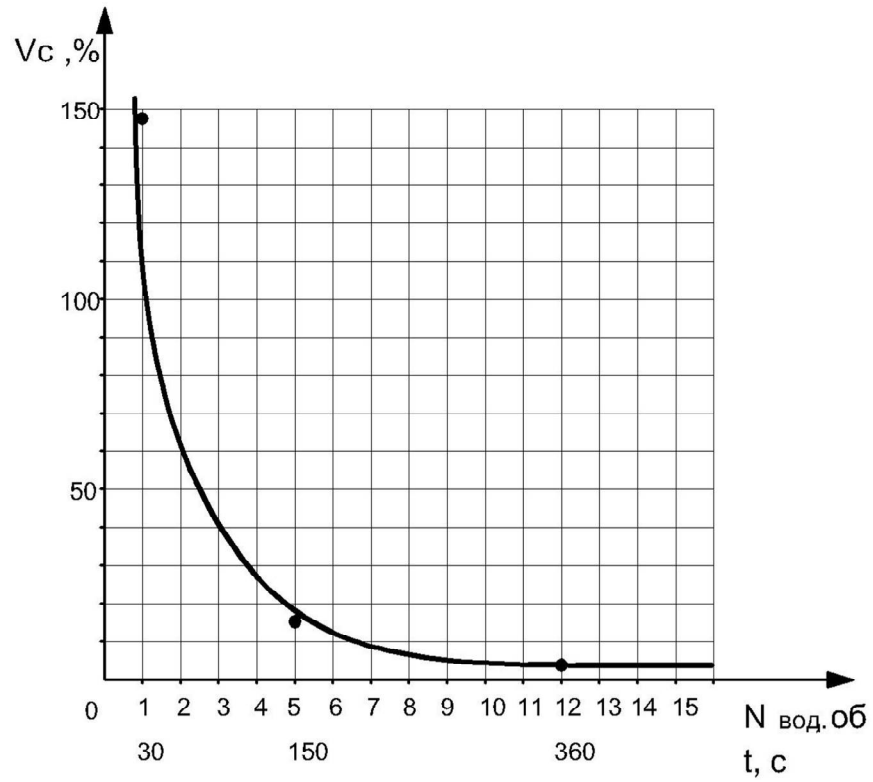


Рисунок 4.5 - Зміна V_c в залежності від часу змішування

Окрім аналізу складу ключового компонента в пробах проводилось також візуальне спостереження розподілу компонентів як при змішуванні піску та чавунної тирси (рис 4.2; 4.3), так і при змішуванні поліетиленових гранул з піском (рис 4.6; 4.7).

В другому випадку спостерігалася сегрегація компонентів.

Аналіз результатів приводить 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 ($V_c \approx 3,0\%$).



Рисунок 4.6 - Процес змішування без додаткового розподільного елемента (первинне завантаження).

На рисунку зображено завантажені гранули для змішування первинного матеріалу для проведення лабораторного дослідження без додаткового елемента.



Рисунок 4.7 - Змішування без додаткового розподільного елемента після 6 обертів водила

На цьому рисунку зображено рівень змішення після 6 обертів водила. Згідно рисунку можна "на глаз" побачити - що гранули збились в невелику купу в середині механізму. Це є проявлення сегрегації. Дана суміш має схильність до сегрегації. Після проведення лабораторних дослідів було встановлено що продовження обертання шнеку являється економічно не вигідним та не дає таких результатів як на початку дослідів. Було встановлено що оптимальним для даної конструкції є шість - сім обертів.

Після того були встановлені додаткові робочі елементи – лопасті на водили (див. рис. 4.8).



Рисунок 4.8 - Додатковий розподільний елемент



4.9 - Розподілення компонентів в змішувачі з додатковими розподільними елементами після 4 обертів водила

На рисунку 4.9 видно як додатковий розподільний елемент усунув проблему з гранулами які збивалися до купи в середній частини поверхні матеріалу. Тобто доповнюючі змішувальні елементи запобігають сегрегації компонентів.

5 ПШ-24

5.1 Енергетичні витрати ПШ-24

Визначення енергетичних витрат.

Результати експериментів по змішуванню сухого піску в змішувачі ПШ-24

Матеріали для досліджень:

Пісок Сєверодонецького кар'єру:

вологість - 0%.

насипна маса - 1600 кг / м³;

середній розмір частинок - 0,15 мм;

кут природного укосу - 34 °;

середньоквадратичне відхилення розмірів частинок -0,1 мм;

Чавунна тирса :

середній розмір частинок - 0,4 мм;

насипна маса - 3350 кг / м³;

середньоквадратичне відхилення розмірів частинок -0,15 мм;

вологість - 0%.

кут природного уклону- 42 °;

Результати вимірювання розходу енергії приведені в Додатках (табл.А1-А9), а також на рисунках 5.1.1-5.1.2.

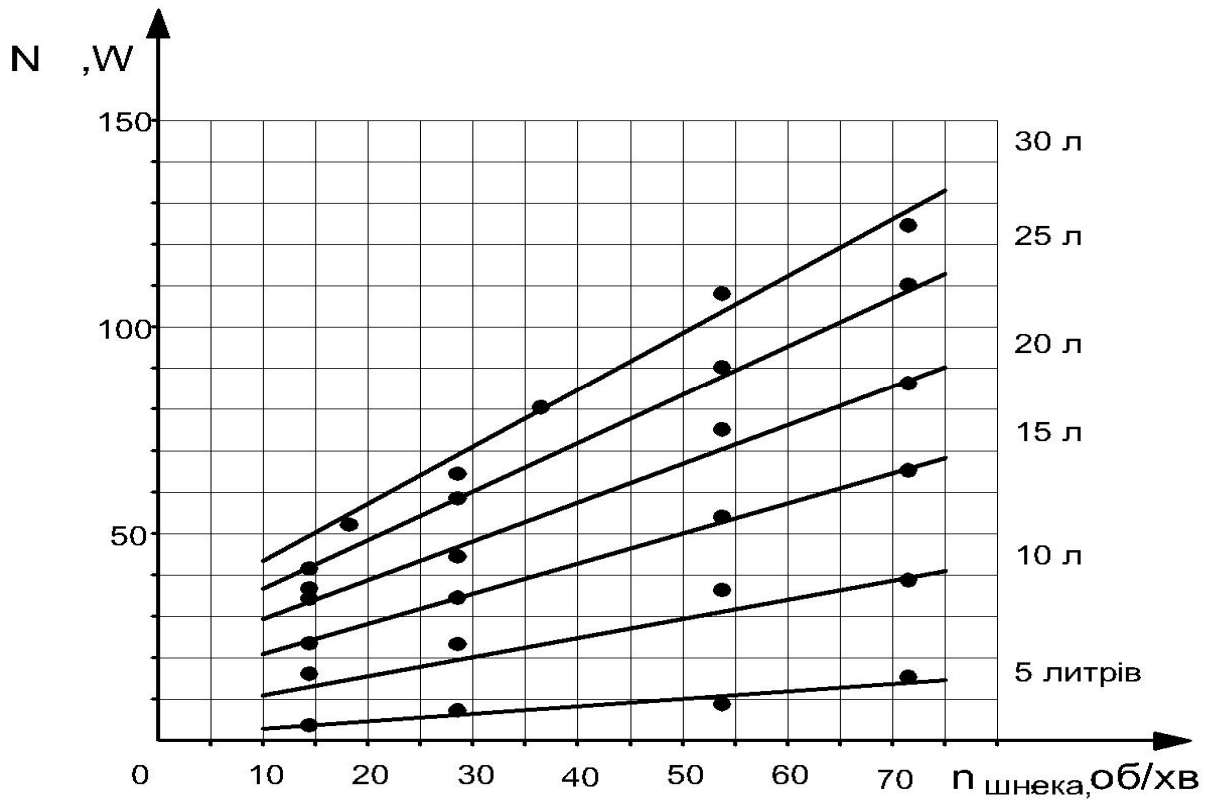


Рисунок 5.1 - Залежність енергетичних витрат на змішення від частоти обертання шнека при різних загрузках змішувача ПШ-24 піском

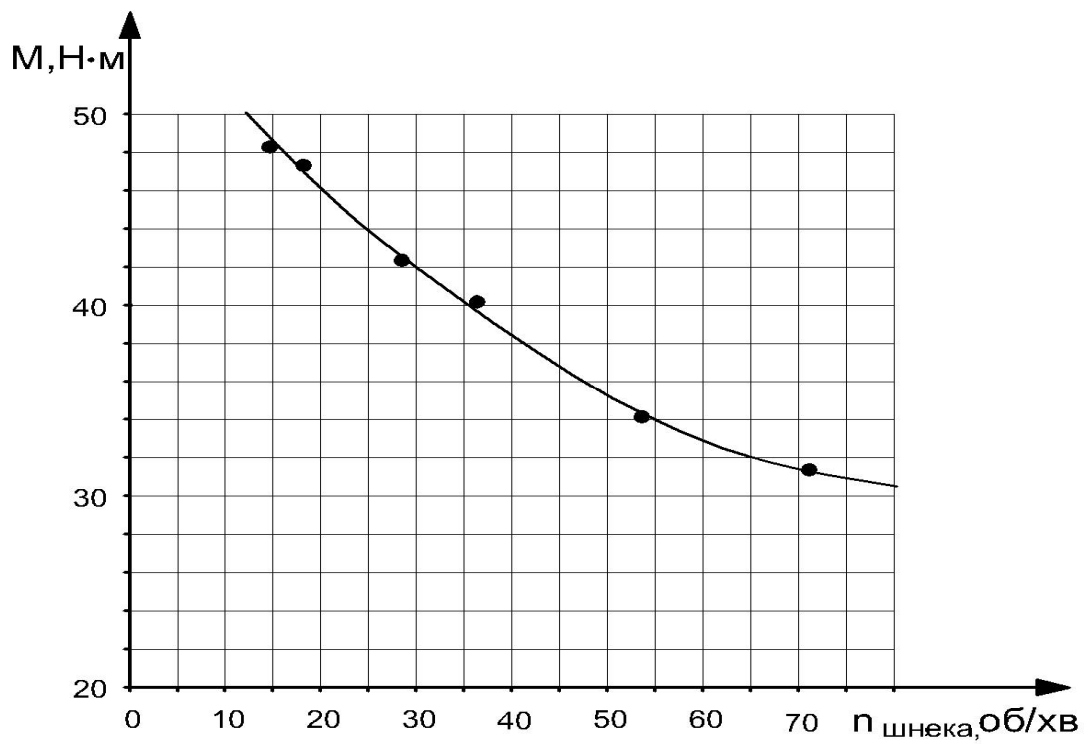


Рисунок 5.2 - Момент що крутить

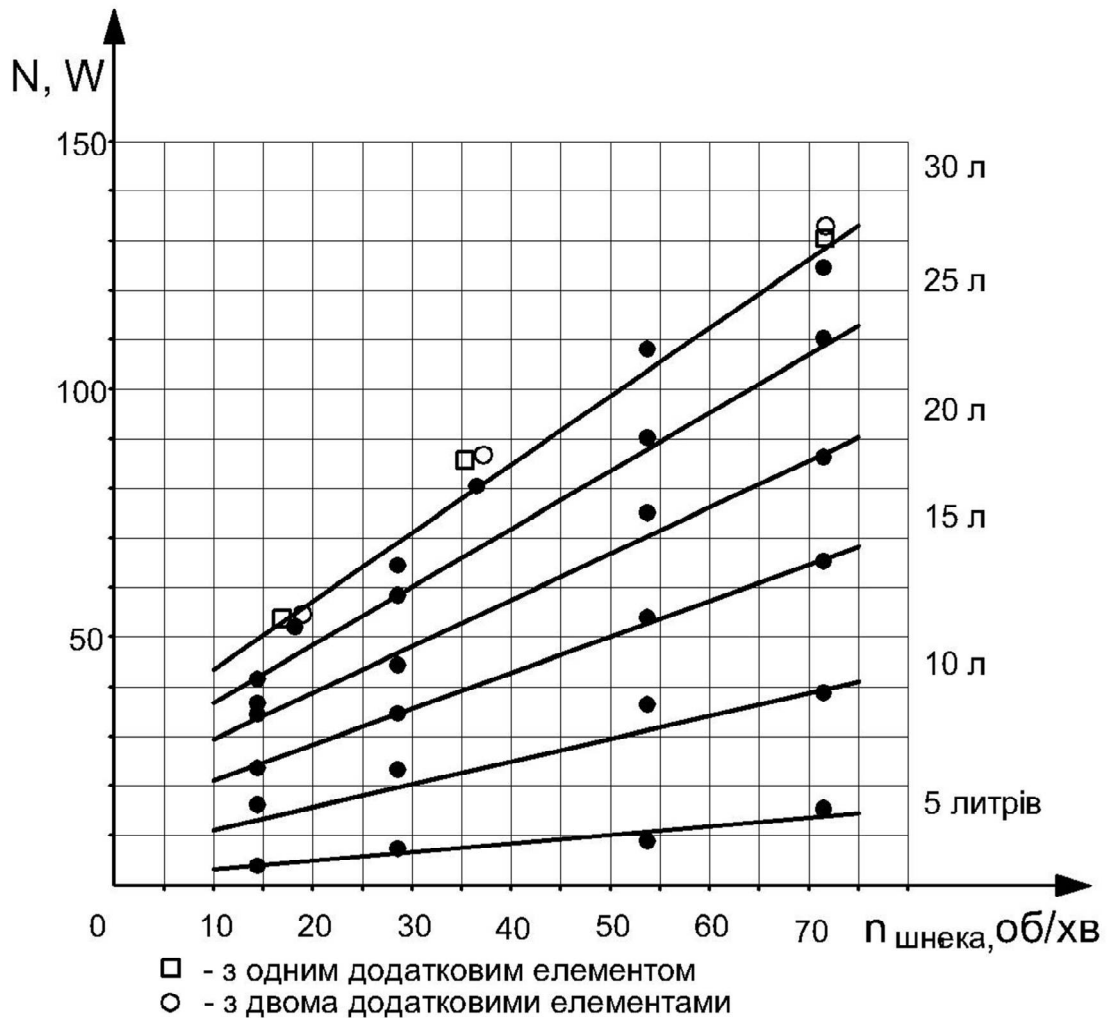


Рисунок 5.3 - Залежність енергетичних витрат на змішення з додатковими елементами від частоти обертання шнека при різних загрузках змішувача ПШ-24 піском

5.2 Змішувач ПШ-24

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



Рисунок 5.4 - Змішувач ПШ-24 (модернізований планетарно-шнековий змішувач фірми «Nauta» (Нідерланди).

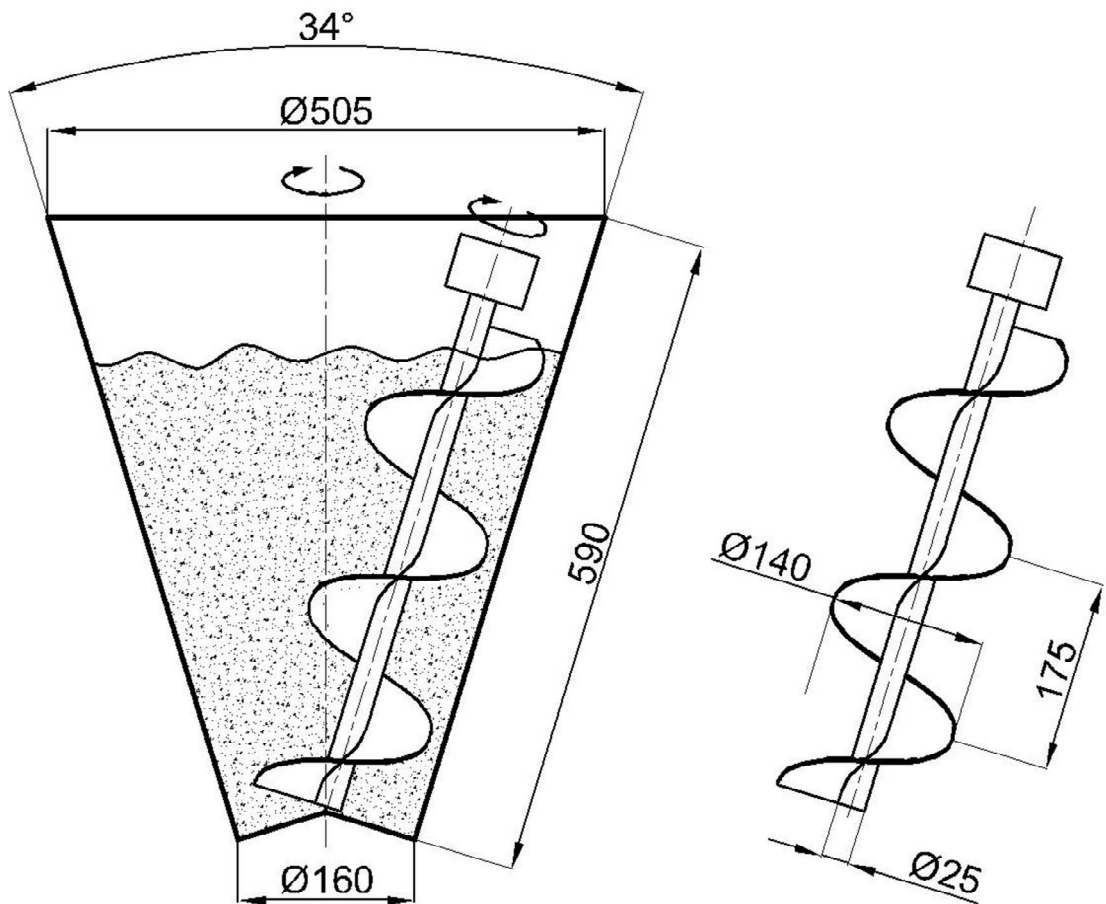


Рисунок 5.5 - Розміри корпусу та шнека змішувача ПШ-24

Технічні характеристики змішувача ПШ-24

Робочий об'єм, л до 30;

Привод:

Двигун постійного тока

Тип МИ-32

Возбудження незалежне

Напруга обмотки розбудження, В	220;
Струм обмотки розбудження, А	0,3;
Частота обертання ротора, об/хв.	0-2500;
Потужність , кВт	0,78;
Напруга на якірі, В	0-220;
Струм якіря, А	0-4,1;
Клино- ремінна передача	
Передаточне число, i	1,7

Редуктор оригінальний конструкції фірми «Nauta».

На шнек момент передається через черв'ячну передачу.

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

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

При проведенні експериментів практично змінювались:

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

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

Передаточне число на шнек , $i=8,24$;

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

Співвідношення частот обертання водила та шнека постійне, $i=20$;

Живлення двигуна МИ-32 здійснюється за допомогою блока (див. рис. 5.6).

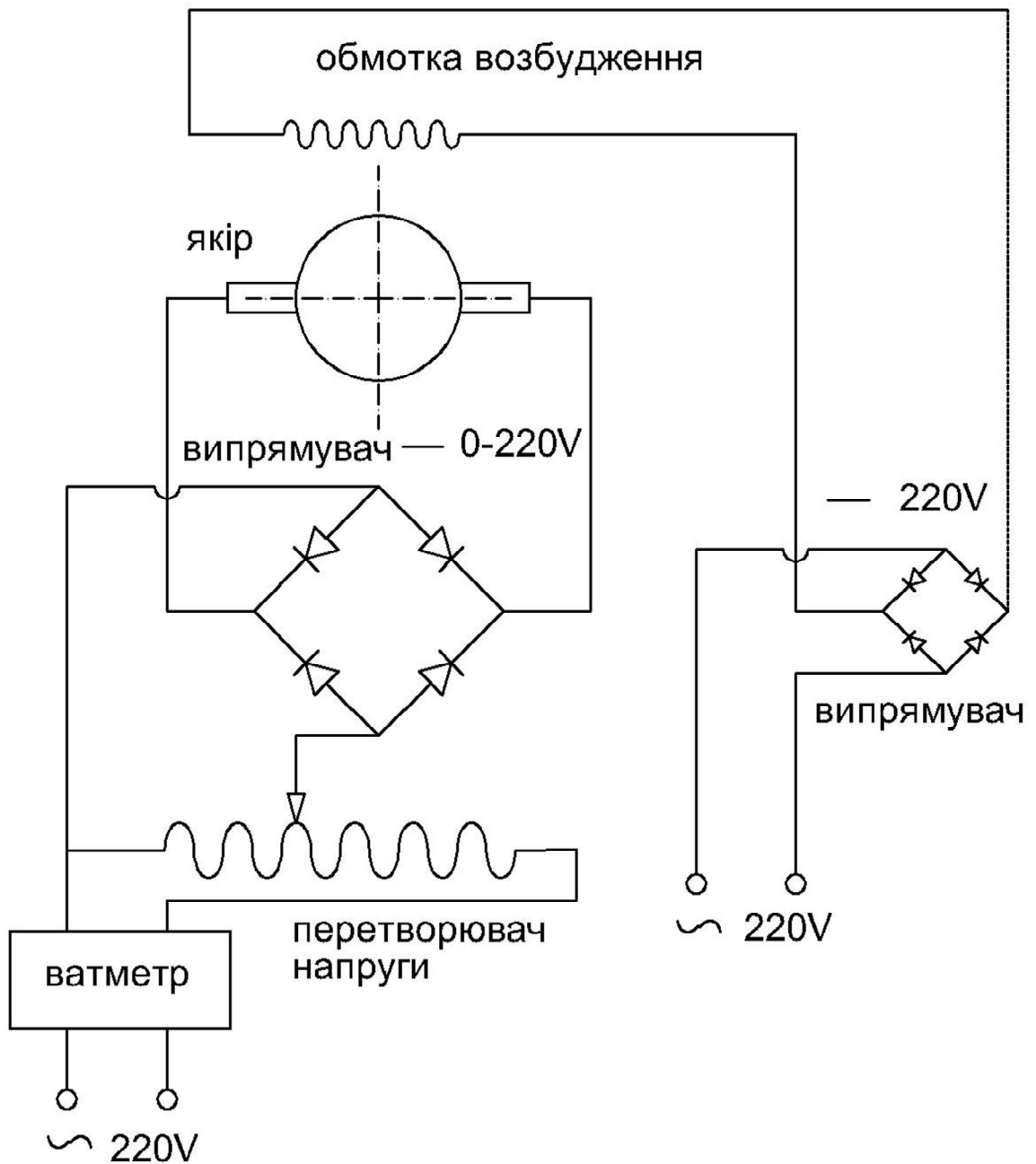


Рисунок 5.6 - Схема підключення двигуна

Обмотка розбудження незалежна. На неї подається постійна напруга 220 В від прямоуючого моста.

Частота обертання ротора двигуна вимірюється за допомогою вело комп'ютера ASSIZE AS-820.

На ротор (якір) двигуна подається постійна напруга 0-220 В від прямокутного моста. Відповідно напругі змінюється частота обертів двигуна. Зміна здійснюється за допомогою перетворювача напруги (латра).



Рисунок 5.7 - Вело комп'ютер ASSIZE AS-820

Цей комп'ютер має функцію відображення частоти обертання колеса, яка і використовувалася в даній роботі.

Вимірюєма частота обертання об/хв.

0-3600.

6 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. . [8], [9].

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 пожежогасіння (вогнегасник, ящик з піском).

6.1 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.

6.2 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 захарашувати 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.

6.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після закінчення роботи вимкнути електроприлади, вимірювальні прилади, стенди.

Вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити використувані 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

6.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

– загоряння горючих матеріалів;

– ураження електричним струмом.

Джерелами спалаху в лабораторії можуть бути вузли приладів, пристроїв електроживлення, електропаяльники, де різних порушень перегріваються електронні компоненти схем, проводи, утворюються електричні іскри і дуги, здатні загоряння горючих матеріалів.

Співробітники і викладачі, що користуються електроприладами в лабораторії, зобов'язані знати розташування засобів пожежогасінні і уміти ними користуватися.

При пожежі:

– негайно знеструмити всі електроприлади спільним автоматичним вимикачем;

– негайно евакуювати в безпечне місце людей що були ушкоджені;

– повідомити за телефоном 101 в пожежну команду;

– видалити в безпечне місце непошкоджені електроприлади;

– приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасінні;

– повідомити керівництво інституту про то, що сталося;

– електроприлади гасити вуглекислотними вогнегасниками, порошковими вогнегасниками або сухим піском;

– гасити електроприлади і дроти водою забороняється.

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

Висновки та рекомендації

Проведений аналіз літературних даних з питання змішення сипких і пастоподібних матеріалів. Було розглянуто найбільш розповсюджені конструкції змішувачів для сипких і пастоподібних матеріалів.

Приведені дані результатів дослідження процесу змішення в планетарно-шнекових змішувачах з додатковими розподільними елементами проведених в лабораторії кафедри МОПП СНУ ім. В. Даля.

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

Застосування додаткових робочих елементів суттєво інтенсифікує процес змішення сипких матеріалів. Їх застосування доцільно.

Розроблена технічна пропозиція і рекомендації по випуску типорозмірного ряду планетарно-шнекових змішувачів. Серійний випуск є більш економічним ніж випуск одиничних образців.

Перелік джерел посилання

1. «Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості», затверджені наказом Мінпромполітики України від 09.07.2007 р № 373
2. Schreuber G., Alt Chr. Untersuchung des Mischungsverlaufs in Feststoffmischern unterschiedlicher Grose. Aufbereitungs-Technik-Nr.2.1980. s.57-68.
3. «Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості», затверджені наказом Мінпромполітики України від 09.07.2007 р № 373
4. Модестов В.Б. Смесители сыпучих и пастообразных материалов /Монография. — Луганськ, СПД Резніков В.С., 2011. — 352 с.
5. Stange K. Die Mischgute einer Zufallmischung als Grundlage zur Beurteilung von Mischversuchen. Chemie-Ingenier-Technick, 26. 1954, s. 331-337]
6. Модестов В.Б. Разработка методики расчёта плужных смесителей для сыпучих материалов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. М.: МИХМ, 1984.
7. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. М.: Металлургия, 1978. –288 с.
8. 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.
9. 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
10. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие для вузов. — 8-е изд., стер. —М.: Высш. шк., 2002, 479 с.: ил.

11.Смесители сыпучих материалов/

URL: <https://prom.ua/Smesitel-sypuchih-produktov.html> (дата звернення 28.12.2018)

12.Mixers of powder bulk materials/

URL: <http://www.sigroup.cn/index.html> (дата звернення 28.12.2018)

Додаток А

Таблиця А.1 - Енергетичні витрати на холостому ході

Холостий хід Частота обертів			Показання ватметра PZEM-021			
двигуна	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A	
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

Таблиця А.2 - Енергетичні витрати при завантаженні 5 л. піску

Завантаження 5 л Частота обертів			Показання Ватметра PZEM-021				Споживана потужність,
двигуна	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ	№с,
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A		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 А.3 - Енергетичні витрати при завантаженні 10 л піску

Завантаження 10 л піску Частота обертів			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність
двигуна	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ	№с,
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A		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 А.4. - Енергетичні витрати при завантаженні 15 л піску

Завантаження 15 л піску Частота обертів			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність
двигуна	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ	Nс,
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A		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 А.5 - Енергетичні витрати при завантаженні 20 л піску

Завантаження 20 л піску Частота обертів			Показання ватметра PZEM-021				Спожива потужність
двигуна	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ	Nс,
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A		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 А.6 - Енергетичні витрати при завантаженні 25 л піску

Завантаження 25л піску Частота обертів			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність
двигуна	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ	Nс,
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A		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 А.7 - Енергетичні витрати при завантаженні 30 л піску

Завантаження 30 л піску Частота обертів			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність
двигуна	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ	Nс,
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A		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 А.8 - Енергетичні витрати при завантаженні 30 л піску
з одним додатковим елементом

Завантаження 30 л піску Частота обертів			Показання ватметра PZEM-021				Споживана потужність
двигуна	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ	Nc, W
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A		
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 А.9 - Енергетичні витрати при завантаженні 30 л піску
з двома додатковими елементами

Загрузка 30 л піску Частота обертів			Показання ватметра PZEM-021				Потребляема потужність
двиг	шнека	води́ла	N,	U,	I,	cos φ	Nc,
об/мин	об/мин	об/мин	W	V	A		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