

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет автоматизації і інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра машин і обладнання технологічних процесів
(назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ д.т.н., проф. Назаренко І.І.

“ _____ ” _____ 2022 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

на тему:

**"Дослідження логістичної системи для інтенсифікації технологічного процесу
змішування сухих будівельних сумішей лопатешнековим змішувачем"**

(назва)

Виконав: студент групи ІЛС-2маг

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(спеціальність)

Шовкун Олексій Петрович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Керівник: **Клименко М. О.**
(прізвище та ініціали)
к.т.н., доцент
(вчене звання, науковий ступінь)

Київ 2022 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет автоматизації і інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра машин і обладнання технологічних процесів
(назва кафедри)

**ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**"Дослідження логістичної системи для інтенсифікації технологічного процесу
змішування сухих будівельних сумішей лопатешнековим змішувачем"**
(назва)

Шовкуна Олексія Петровича
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Київ 2022 р.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	5
УЧАСТЬ У КОНФЕРЕНЦІЯХ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ І ОЦІНКА РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧІВ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ.....	9
1.1 Огляд конструкції обладнання для перемішування сухих будівельних сумішей ...	9
1.2 Класифікація обладнання для виготовлення сухих будівельних сумішей	11
1.3 Аналіз конструктивних особливостей обладнання для виготовлення сухих будівельних сумішей.....	19
2 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗМІШУВАННЯ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ	33
2.1 Оцінка питомих технологічних показників ефективності робочого процесу лопатевих і шнекових змішувачів сухих будівельних сумішей	33
2.2 Однорідність суміші як якісна характеристика завершеності процесу змішування 38	
2.3 Продуктивність змішувачів сухих будівельних сумішей.....	41
2.4 Потужність змішувального робочого органу	44
3 ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛОПАТЕШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА.....	58
3.1 Опис конструктивної схеми запропонованого лопатешнекового змішувача	58
3.2 Обґрунтування параметрів лопатешнекового змішувача.....	59
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	70
4.1 Методика визначення питомого опору переміщенню лопатки та лопаті.....	70
5 ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	74
5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів	74
5.2 Загальні рекомендації зі зниження шумів при роботі машини.....	75
5.3 Розрахунок заземлення	75
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ.....	78

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№					Арк.	
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

ВСТУП

У приготуванні сухих будівельних сумішей важливу роль відіграє операція змішування сировинних компонентів, результати якої вирішальним чином позначаються на якості кінцевих технологічних операцій та ефективності подальших технологічних процесів, а, отже, і на продуктивності роботи. До складу сухих будівельних сумішей може входити від 5 до 15 різних компонентів. Нині витрати на приготування сухих сумішей за даними низки авторів становлять 45...60% від загальних витрат за виробництво одиниці виробленої продукції. Тому зниження питомих витрат енергії процесу змішування має велике значення. Існуючі змішувачі забезпечують, як правило, необхідну однорідність суміші, але мають підвищені питомі витрати енергії. Крім того більшість змішувального обладнання, що випускається, орієнтоване на великі обсяги виробництва.

У зв'язку з цим йде постійний науковий пошук найбільш досконалих та ефективних змішувачів та технологічних ліній, що відповідають сучасним вимогам: орієнтування на можливість використання безпосередньо в умовах малооб'ємного виробництва, малі габарити, знижені питомі витрати енергії, достатню якість суміші. Одним із шляхів зниження витрат енергії на одиницю продукції є вдосконалення робочих органів та режимів роботи змішувачів сухих будівельних сумішей.

В зв'язку з цим тема атестаційної випускової роботи є своєчасною і актуальною.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата				

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ І ОЦІНКА РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧІВ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

1.1 Огляд конструкції обладнання для перемішування сухих будівельних сумішей

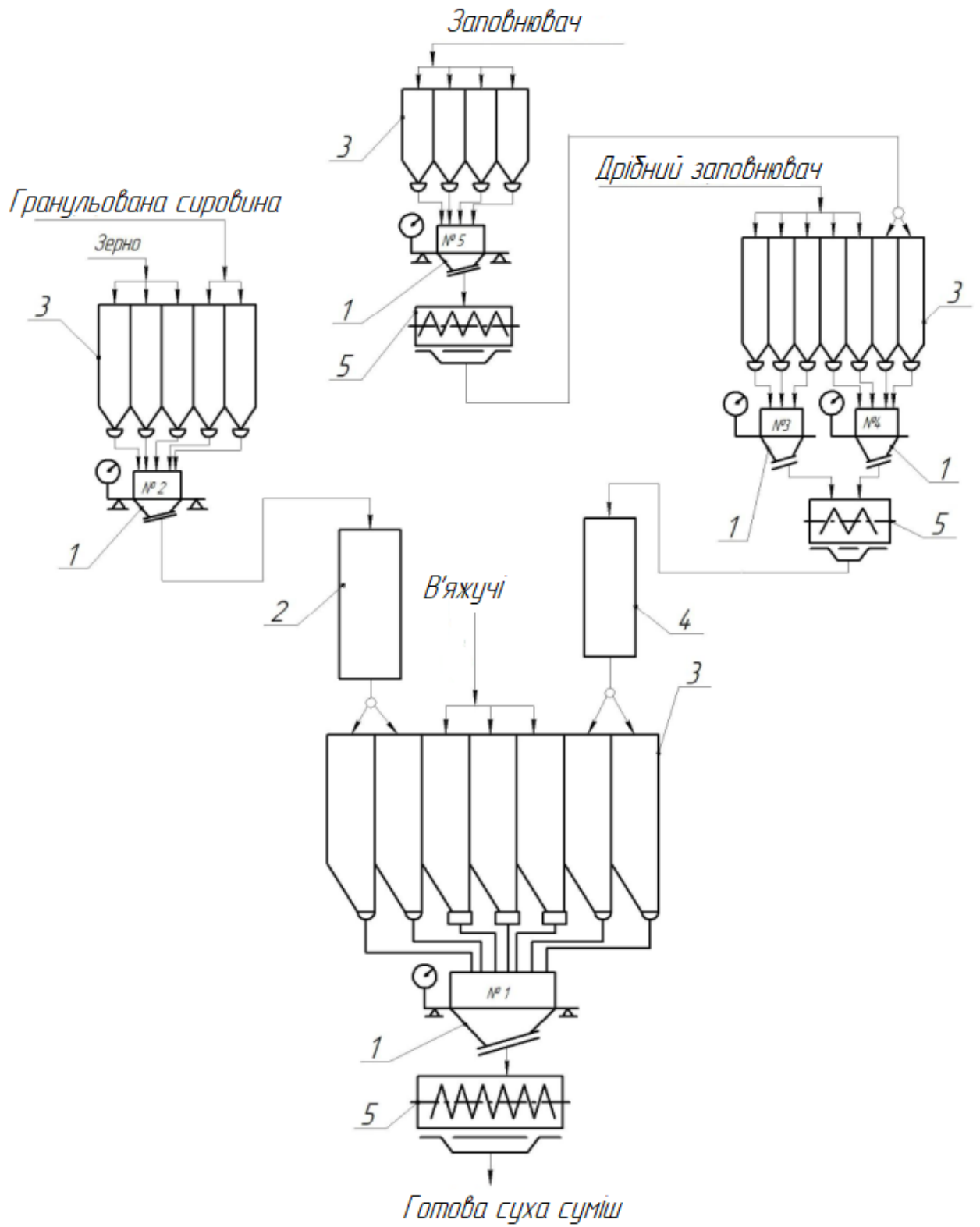
Нині спостерігається тенденція приготування сухих будівельних сумішей у на будівельних майданчиках, оскільки це економічно вигідніше – свої суміші значно дешевше. У невеликих підприємствах застосовують малогабаритні змішувальні агрегати, що забезпечують виробництво сумішей на підприємстві з доступних сировинних матеріалів за загальноприйнятими рецептами або рецептами, складеними фахівцями. Порівняно невелика їх вартість і досить швидка окупність зумовлюють широке їхнє поширення. Основною тенденцією вдосконалення таких агрегатів є зниження їх енергоємності та металомісткості, але не на шкоду якості сумішей, що готуються.

Для роботи в умовах виробництва найкраща схема формування попередніх сумішей сипкої сировини з повторним дозуванням (рисунок 1.1).

За такої технологічної схеми утворюється одна або кілька різних сумішей, що задається конкретними потребами виробництва та послідовністю виконання робіт. Попередньо сформовані суміші надходять у наддозаторні корпуси, далі повторне дозування через лінію основного дозування змішування. При паралельній роботі ліній провадиться обробка попередніх сумішей у потоці. Передбачене повторне дозування дещо ускладнює та подорожчає технологію, але при цьому підвищується точність дозування, що забезпечує більш високу якість сумішей.

За будь-якої технологічної схеми при виробництві сухих будівельних сумішей обов'язковими є операція зі змішування та наявність машини для виконання цієї операції – змішувач сумішей. Як видно з рисунку 1.1 у розглянутій технологічній схемі передбачено наявність кількох змішувачів. Основним завданням будь-якого змішувача є забезпечення необхідної якості суміші, що досягається при мінімальних питомих витратах енергії. До якості суміші висуваються досить жорсткі зоотехнічні вимоги. Збалансовані сухі суміші можуть містити до 15 різних компонентів. Для збагачення сухих сумішей використовують премікси, до складу яких включені домішки, що додаються в дуже невеликій кількості. Ці добавки вводять в малих дозах, що становлять від 0,1 до 2%. Тому так важливо застосування змішувачів, які забезпечують високу однорідність. Якість змішування вважається задовільною, якщо неоднорідність суміші не перевищує 10%

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	



1 – багатокомпонентний ваговий дозатор; 2 – попередня обробка суміші;
 3 – наддозаторні корпуси; 4 – обробка попередньої суміші дрібнодисперсної сировини; 5 – порційний змішувач;

Рисунок 1.1 – Технологічна схема приготування сухих будівельних сумішей із попереднім формуванням сумішей

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Конструкція змішувачів повинна задовольняти ряду вимог: достатня продуктивність і достатня якість сумішей, що готуються; при змішуванні частинки компонентів не повинні руйнуватись; дозу компонентів треба змінювати без додаткових пристроїв; процес завантаження компонентів у корпус змішувача має бути механізованим; відповідність вимогам безпеки та санітарно-гігієнічним; висока експлуатаційна надійність та простота в обслуговуванні; довговічність роботи. На ринку представлений не великий вибір малогабаритного обладнання для приготування сухих сумішей, розрахованого на невеликі підприємства різної потужності. Вітчизняні агрегати виконані як правило за найпростішою схемою, на них можливе приготування найпростіших рецептів, у технологічному процесі є велика частка ручної праці та підвищені питомі витрати енергії на одиницю продукції. Імпортне обладнання має низку переваг, але висока вартість обмежує її масове поширення. Тому так важливо стимулювати попит на вітчизняне обладнання, а цього можна досягти лише за рахунок створення досконалішого обладнання. Одним із шляхів вирішення цього завдання є вдосконалення конструкцій змішувачів, що входять до складу будь-якого агрегату, робота якого, зрештою, визначає якість суміші та значною мірою витрати енергії на отриману одиницю продукції.

1.2 Класифікація обладнання для виготовлення сухих будівельних сумішей

В даний час існує велика різноманітність різних конструкцій змішувачів, що випускаються промисловістю, та окремих зразків, розроблених науково-дослідними інститутами та конструкторськими бюро, виготовлених аспірантами та здобувачами вузів, а також фахівцями підприємств, велика кількість конструктивних схем пропонується в патентах і авторських свідоцтвах. Однією з основних задач при проектуванні нової конструкції змішувача є зменшення питомих витрат енергії на процес змішування при відповідності одержуваної суміші технологічних вимог. Одним із шляхів досягнення цих вимог є вдосконалення робочих органів змішувачів та оптимізація режимів їх роботи. Для визначення найперспективніших конструктивно-технологічних схем змішувачів було проведено аналіз існуючих конструкцій. З наявних класифікацій змішувачів було розроблено уточнену на кшталт робочого органу класифікація (рисунок 1.2). Усі змішувачі класифікуються за низкою ознак. За своїм виробничим призначенням є змішувачі для змішування сухих, рідких, напіврідких і тістоподібних сумішей, а також універсальні.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	

До пневматичних змішувачів відносять ті, в яких компоненти поєднуються в штучно створеному циркуляційному потоці газу. Змішування компонентів суміші відбувається внаслідок багаторазової циркуляції його в апараті. Переваги пневматичних змішувачів: висока продуктивність, короткий цикл змішування, досить хороша якість суміші, відсутність механічних пристроїв, що обертаються, в більшості з них, простота конструкції. Недоліки: погана якість при змішуванні компонентів, частинки яких відрізняються як за розмірами, так і за щільністю, великий винос частинок, необхідність установки громіздких пиловловлюючих пристроїв, високі питомі енерговитрати, необхідність застосування спеціального обладнання, тривале налаштування на конкретні показники компонентів, що змішуються [6]. Змішувачі, в яких змішування відбувається за рахунок примусового впливу на суміш робочими органами - це змішувачі з активними робочими органами - мішалками, а також ті, в яких робочим органом можна умовно назвати газ, що пропускається через суміш, зазвичай повітря - пневматичні змішувачі [6]. Найбільш ефективними, поширеними та продуктивними є змішувачі з мішалками. Пропелерні змішувачі застосовують для інтенсивного перемішування рідин, що мають невелику в'язкість (як правило, для рідин з динамічною в'язкістю до 4,0 Па/с), для змучення осадів, що містять до 10% твердої фази з розмірами частинок до 0,15 мм, а також приготування суспензій та емульсій [9]. Конструктивно пропелерні мішалки є гребний гвинт з числом лопатей від 2 до 4. Для пропелерних змішувачів характерні висока насосна дія і хороша циркуляція вмісту судини при ефективному перемішуванні [9]. Роторні змішувачі застосовують для змішування сухих сумішових компонентів. У змішувачах з роторами, що швидко обертаються, використовується ефект псевдозрідження сипких матеріалів, заснований на тому, що при великій швидкості руху частинок кінетична енергія окремої частинки виявляється більше роботи, необхідної для подолання опору сил тертя і сил тяжіння. Завдяки цьому кожна частка набуває високої рухливості [9].

Залежно від конструкції ротора змішувачі цього типу поділяють на лопатеві [3], дискові [9], з конусом, що обертається [9]. Частота обертання мішалок $1 \dots 10 \text{ с}^{-1}$ [15]. Роторні подрібнювачі - змішувачі періодичної дії призначені для приготування суміші для невеликих виробництв та поєднують процеси подрібнення та змішування [4, 17]. Вони складаються з робочої камери із завантажувальним вікном та вивантажним патрубком, ротора з робочими органами. Подрібнювачі-змішувачі [17] відрізняються можливістю обертання робочої камери. Змішування та подрібнення компонентів суміші відбувається під дією обертання ротора, а також робочої камери протягом заданого часу [4]. До недоліків подрібнювачів-змішувачів можна віднести складність управління, обумовлену

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	

необхідністю реверсу та зміни частоти обертання робочого органу, додаткові витрати енергії на створення вихрових потоків у робочій камері, а також невисоку продуктивність. У змішувачах дискових мішалка має форму плоского диска, що обертається з великою швидкістю. В результаті обертання диска у нього з'являється великий градієнт швидкості, що зумовлює активну дію зсуву [95]. Вертикальні лопатеві змішувачі періодичні дії місткістю 0,03м³ призначені для приготування багатокомпонентних сипких сумішей з ступенем заповнення до 20% рідких компонентів. Залежно від властивостей матеріалів, що перемішуються, і об'єму завантаження потрібний режим змішування встановлюється переміщенням вгору або вниз по валу верхньої пари лопатей [38]. Час одержання готової суміші не перевищує 2 хв. Пропоновані змішувачі мають просту конструкцію і за рахунок створення розгорнутими під кутом лопатями псевдозрідженого шару дозволяють досягати високої якості суміші [15]. З метою покращення якості одержуваної суміші та мікродобавок, а також розширення технологічної можливості розроблено змішувач із ступінчастим змішуванням компонентів [18]. Змішувач має продуктивність 0,15т/год та забезпечує рівномірність 95% за 150 з змішування.

До переваг роторних змішувачів можна зарахувати невелику металосмність, простоту пристрою; високу однорідність змішування (до 95%), а незначна маса змішувачів забезпечує при встановленні їх на тензодатчики можливість роботи як дозаторів з високою точністю дозування до 0,1%. Робочі органи забезпечують повне саморозвантаження за короткий проміжок часу – 15...30 секунд [11]. Недоліками роторних змішувачів незалежно від конструкції ротора є: високі питомі витрати енергії на процес змішування, високий вплив, що стирає, на компоненти суміші, внаслідок великої частоти обертання робочих органів. Барабанні змішувачі зазвичай застосовують для змішування сипких сумішей. Однак при певних геометричних розмірах вони з успіхом можуть бути використані для змішування подрібнених матеріалів [9]. Найбільшого поширення знайшли наступні барабанні змішувачі з корпусом, що обертається: горизонтальний або вертикальний з горизонтальною віссю обертання; з похилою віссю обертання. Форма корпуса може бути циліндричною, біциліндричною, кубічною, рифленою та Y-подібною [9].

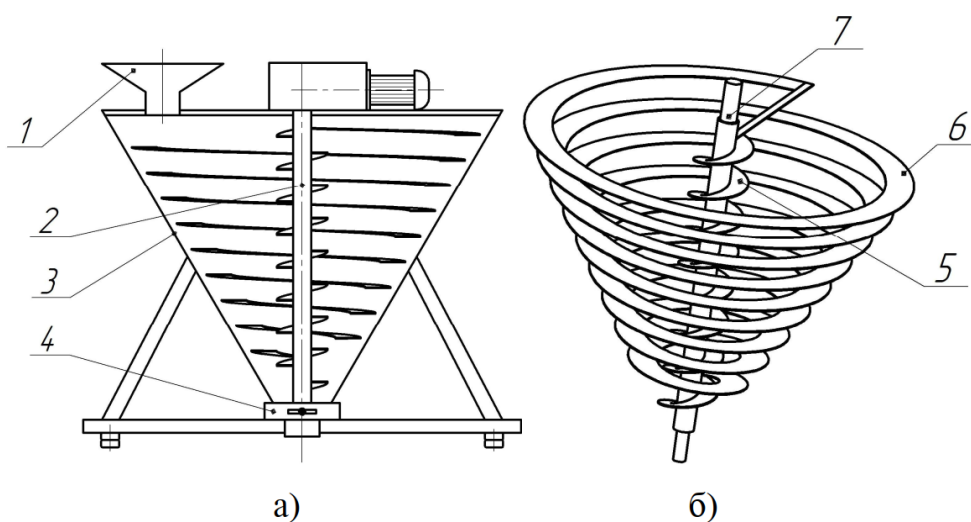
Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	

1.3 Аналіз конструктивних особливостей обладнання для виготовлення сухих будівельних сумішей

Усі змішувачі з барабанним робочим органом відносяться до тихохідних машин [6]. Лінійна швидкість обертання барабана зазвичай становить 0,17-1 м/с [15]. Процес змішування відбувається в барабані в такий спосіб. При обертанні барабан тягне за собою нижні шари суміші і піднімає їх на деяку висоту. Потім суміш під впливом сили тяжіння обрушується вниз, та його знову підхоплює стінка барабана. Внаслідок такого багаторазового перекидання відбувається добре перемішування [9]. Коефіцієнт наповнення таких змішувачах коливається не більше від 0,3...0,6 [9]. До переваг барабанних змішувачів можна віднести: простоту конструкції, надійність у роботі, можливість змішування сипких матеріалів зі специфічними властивостями. До недоліків слід віднести: невисоку якість змішування, більшу тривалість циклу, низьку продуктивність, великі габаритні розміри. Широкого застосування для приготування сухих сумішей барабанні змішувачі не знайшли, що обумовлено перерахованими вище недоліками. Існує ряд авторських свідоцтв та патентів, що описують барабанні змішувачі, відомі також експериментальні зразки змішувачів, виготовлені аспірантами вузів та науково-дослідними інститутами. Один з таких змішувачів розроблений вченими Луганського НАУ, він є двома усіченими конусами з внутрішньою навивкою та Г-подібними лопатками з'єднаними між собою меншою основою, що перешкоджає утворенню центру циркуляції компонентів суміші, і перемішування забезпечується почерговою зміною положення шарів. Це дозволяє частину шару суміші піднімати на висоту більше кута природного укосу її компонентів [6]. Для інтенсифікації процесу змішування сухих розсипних сумішей запропонована конструкція циліндричного гвинтового барабана з можливістю зміни кута нахилу до горизонту до 10°, змішувач дозволяє отримувати суміш однорідністю 92% за 1,75 хвилини. Змішувач безперервної дії містить секційний барабан з дискретно розташованими по периметру різноспрямованими по відношенню до гвинтових ліній плоскими елементами. Секції барабана з'єднані послідовно і мають різну форму та розміри [10]. До недоліків даного змішувача можна віднести складність конструкції, а також можливість скупчення залишків компонентів, що змішуються в ребрах секцій барабана. Для приготування сумішей із сухих компонентів з різними добавками широке застосування знайшли вертикальні шнекові змішувачі періодичної дії. Велике поширення знайшли шнекові змішувачі з вертикальним розташуванням робочих органів у складі мобільних змішувальних агрегатів. Вертикальні

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	

змішувачі сумішей призначені для отримання однорідної суміші подрібнених компонентів. Вони складаються з циліндричного корпусу з конічним дном, усередині якого у трубі розташовується вертикальний шнек. Для приготування суміші завантажують компоненти в корпус. Шнек постійно захоплює масу з нижньої конічної частини корпусу і піднімає її вгору, потім суміш опускається вниз уздовж стінок корпусу. Така циркуляція суміші протягом 5..8 хвилин за частоті обертання шнека $1,67...2,5 \text{ с}^{-1}$ забезпечує повне перемішування компонентів суміші. Конструктивно змішувач УСК-3 виконаний у вигляді двокамерного робочого корпусу. У нижній частині установки розташований корпус з шнеком, що подає. Внутрішня камера виконана циліндричною, а зовнішня - циліндрично-конічною. Змішування сировини в корпусі здійснюється за допомогою двох вертикально розташованих шнеків, що обертаються з різними швидкостями. Різниця швидкостей обертань забезпечує більш інтенсивне та якісне змішування компонентів. Використання двох шнеків дозволяє скоротити час змішування та підвищити якість змішування, забезпечити високу точність дозування при встановленні на тензодатчики (до 1%) [12]. Для перемішування твердих сипких або порошкоподібних компонентів, що мають велику різницю у питомій вазі та пропорціях застосовують вертикально-шнековий конусний змішувач, який дозволяє проводити змішування без руйнівного впливу. Змішувач являє собою одношарову ємність з конічної форми, з конічним робочим органом 2 із зовнішнім і внутрішнім шнеками і герметичними вузлами завантаження 1 і вивантаження 4 (рис. 1.3).



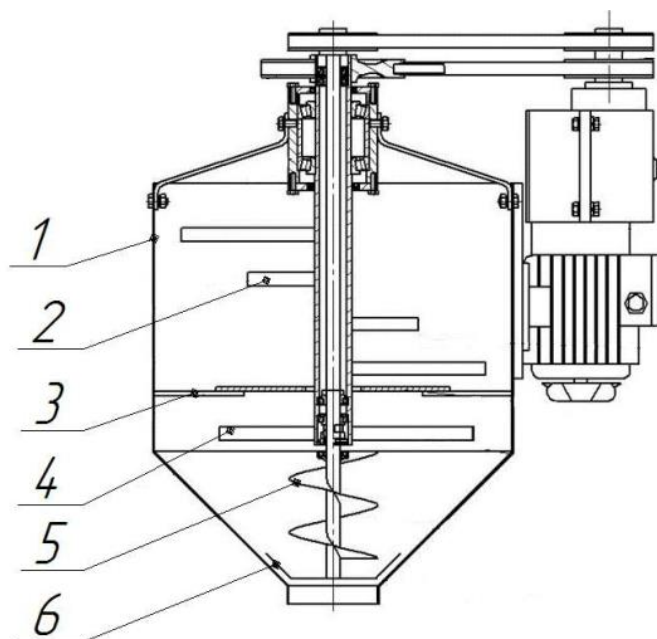
а) схема змішувача; б) робочий орган:

1 – завантажувальний патрубок; 2 – робочий орган; 3 – корпус; 4 – вивантажувальна горловина; 5 – внутрішній шнек; 6 – зовнішній шнек; 7 – вал

Рисунок 1.3 – Схема вертикально-шнекового конусного змішувача

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №						Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	

Конструктивно-технологічна схема змішувача-дозатора (рисунок 1.4) прес-екструдера представлена в роботі [14]. Змішувач – дозатор працює в такий спосіб. При обертанні вала шнека 5 і вала з радіальними 2 і спеціальними лопатями 4, що знаходяться над диском 3, суміш перемішується лопатями 2, а потім просипається в зазор між диском 3 і корпусом 1, потрапляючи під дію лопатей 6 в нижній частині шнека. 5 піднімає суміш вгору до спіральних лопатях 4, які зсувають суміш від центру до стінок корпуса 1, де відбувається перемішування з новою порцією суміші, що надходить з наддискового об'єму [14]. Нерівномірність змішування не перевищує 10%. Недоліком є можливість зведення між диском і корпусом, а також необхідність точного дотримання дозування компонентів суміші.



1 – корпус; 2 – радіальна лопата; 3 – диск; 4 – спіральна лопата; 5 – шнек; 6 – лопатки

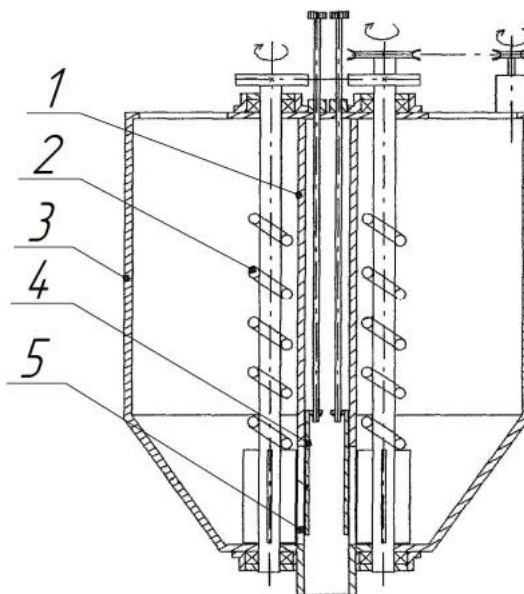
Рисунок 1.4 – Схема змішувача – дозатора

Поєднання процесів змішування та дозування сипких сумішей описане в роботі [180], дозволяє підвищити ефективність приготування сумішей та досягти рівномірності змішування 91%. Пристрій містить корпуси 3 зі шнеково-розподільчими механізмами 2 (рисунок 1.5). У нижній частині корпусів 3 є випускні горловини 5 із заслінками 4, з'єднані приймальним каналом 1. При обертанні шнеково-розподільчих механізмів 2 сипучі матеріали через випускні горловини 5 переміщуються в приймальний канал 1. Величина дози визначається положенням заслінки 4. Надходять з корпусів 3 приймальний канал 1 компоненти за рахунок перетину потоків частково перемішуються. Остаточне

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

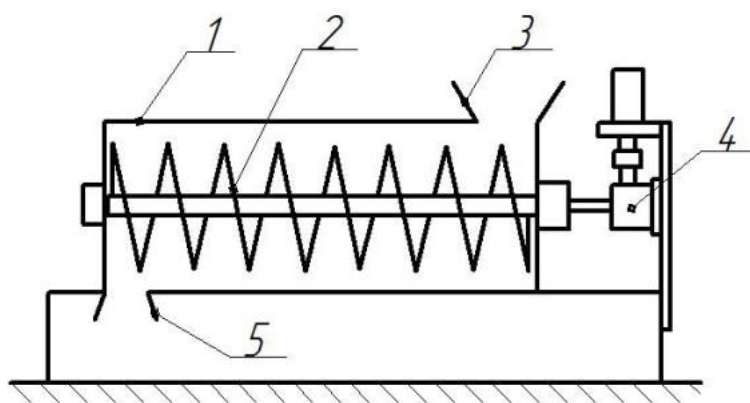
										Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата					

перемішування компонентів суміші відбувається при подрібненні в дробарці. Недоліком цього пристрою є те, що для отримання якісної суміші потрібний додатковий пристрій.



1 – приймальний канал; 2 – шнеково-розподільний механізм; 3 – корпус; 4 – заслінки; 5 – випускні горловини

Рисунок 1.5 – Схема дозуюче - змішувального пристрою



1 – корпус; 2 – шнек; 3 – завантажувальна горловина; 4 – привод; 5 – вивантажувальна горловина

Рисунок 1.6 - Схема шнекового змішувача

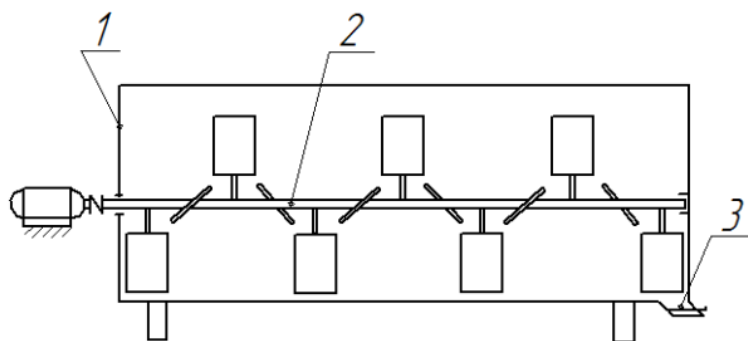
В даний час широке поширення мають шнекові змішувачі (рисунок 1.6) з горизонтальним [5] і похилим [20] розташуванням і особистим кількістю змішуючих органів, призначені для змішування всіх видів сумішей, за винятком рідких домішків. Змішування проводиться стрічковими спіралями, які не тільки перемішують і пересувають матеріал, що змішується, але при встановленні ріжучих сегментів можуть подрібнювати

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №
------------	---------------	-------------

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата
-----	-------	------	-------	-------	------

Арк.

компоненти суміші. Робочий процес в них зводиться до того, що компоненти, що завантажуються в змішувач, піддаються інтенсивному впливу шнеків, що обертаються. Окремі шари суміші набувають різних окружних швидкостей, пересипаються один щодо іншого, поступово переміщаючись до вивантажувального отвору. Залежно від фізико-механічних властивостей основних компонентів, які підлягають змішуванню, робочий орган виконують по-різному. Так, для приготування суміші із сухих подрібнених матеріалів та добавок необхідна на валу суцільна широка стрічка, що чергується з радіальними лопатками. Якщо потрібно перемішувати інші суміші з сухими концентратами і рідкими добавками, то збільшують кількість лопаток і зменшують поверхню гладкої стрічки. При змішуванні сумішей з сухими домішками найбільш ефективні робочі органи з подвійними вузькими гвинтовими стрічками, розташованими таким чином, що при обертанні вони викликають протитечії продукту. Недоліками шнекових змішувачів з горизонтальними та похилими робочими органами є велика тривалість змішування, великі габарити змішувача, оскільки якість суміші багато в чому визначається довжиною шнека. Велике поширення набули змішувачі з лопатевими робочими органами. Такі змішувачі найбільш універсальні, призначені для змішування рідких, сухих та зволжених мас. Принципова схема лопатевого змішувача представлена на рисунку 1.7. Він складається з корпусу 1, в якому встановлені вал 2 (або вали) із закріпленими на ньому лопатками. Вивантаження готової суміші здійснюється через патрубок 3, обладнаний заслінкою. Процес змішування в таких змішувачах можна спрощено представити як багаторазову циркуляцію компонентів, що змішуються від однієї торцевої стінки до іншої під дією лопаток. Зазвичай лопатки виконуються у вигляді плоских пластин і розташовуються по гвинтовій лінії щодо осі обертання валу. У деяких випадках лопатки виконують опуклими назустріч потоку та роз'ємними. Деякі змішувальні елементи виконують з пружного матеріалу, причому кінці їх з'єднані між собою ділянками опуклої кінцевої поверхні, що звужується у напрямку обертання валу.

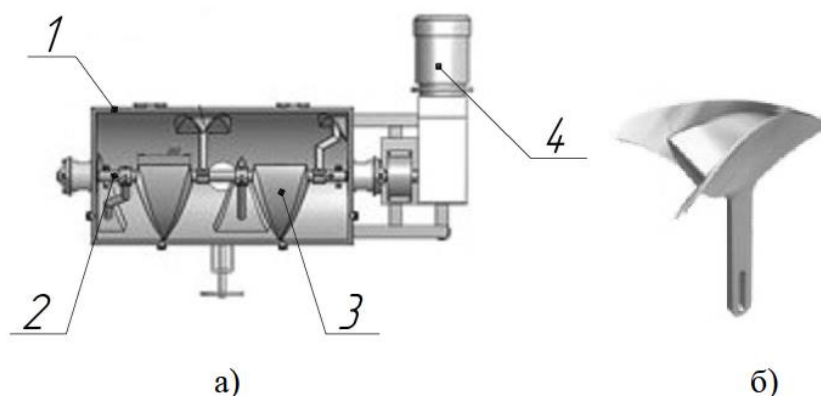


1 - корпус; 2 – лопатева мішалка; 3 - вивантажувальний патрубок

Рисунок 1.7 – Схема лопатевого змішувача сумішей

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	

Є лопатеві змішувачі, в яких лопатки мають можливість регулювання просторового положення. Для цих цілей використовують стрижень у вигляді рейки, що має нарізку, що взаємодіє із зубчастими елементами стійок лопатей, з можливістю зворотного-поступального руху. Іноді механізм зміни кута повороту лопатки виконаний у вигляді штанги з упорами, що взаємодіють із торцями осей лопатей. Відомо використання пружини з регульованим зусиллям стиснення, завдяки якій встановлюється оптимальна пружність лопаток, що перемішують, залежно від об'ємної ваги змішуваних матеріалів та їх гранулометрії. Змінюючи кути установки лопаток та їх конструкцію, досягають утворення різних контурів руху матеріалу всередині корпусу змішувача та впорядкованого переміщення частинок матеріалу. Такий підхід є найпоширенішим нині і найперспективнішим. Змішувач С-30 призначений для отримання однорідної сухої суміші попередньо подрібнених грубих сумішей. Складається з корпусу, двох лопатевих мішалок та приводу. Зубчасте зачеплення забезпечує синхронне обертання лопатевих мішалок у зустрічному напрямку. По гвинтовій лінії під кутом 45° у напрямку до вивантажувального вікна на валу з перекриттям один одного в 110 мм встановлені лопаті, повернені відносно один одного на 180° . Кут повороту Лопатей можна регулювати. Завантажені компоненти лопатевими мішалками ретельно перемішуються, одночасно переміщаються безперервним потоком уздовж корпусу змішувача до розвантажувального люка. До основних переваг змішувачів з лопатевими робочими органами можна віднести простоту виготовлення, високу продуктивність, широкий діапазон фізико-механічних властивостей матеріалів, що змішуються. Недоліками є віднести необхідність точного дозування і швидке стирання робочих органів. Плугоподібні змішувачі дозволяють одночасно змішувати великі обсяги сухих компонентів, які при внесенні рідкої фази схильні до комкування та налипання на робочі органи (рисунок 1.8).



а) вид зверху; б) плужок.

1-корпус; 2-вал; 3-плужок; 4-привод; 5-шток

Рисунок 1.8 - Плугоподібний змішувач

Зам.інв.№	
Підпис і дата	
Інв.№ ор.	

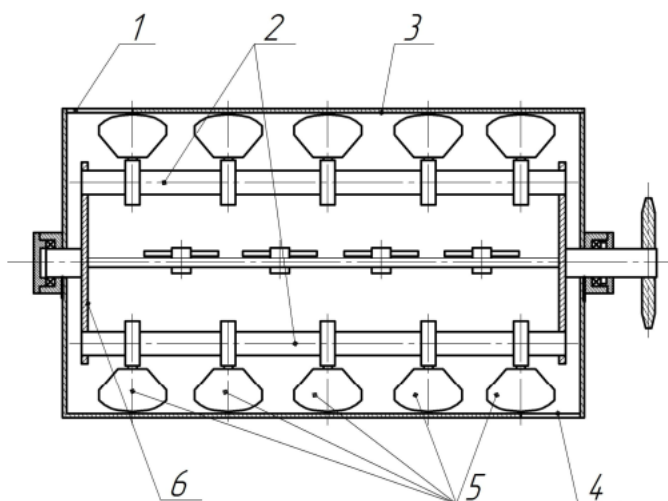
Зм.	Кільк	Арк.	№док	Підп.	Дата

Арк.

Плуги повинні бути регульовані по довжині штока, розташовані елеобразно і злегка різноспрямовані від країв до центру так, щоб при змішуванні вони обертали продукт від центру до країв, а при розвантаженні від країв до центру. По краях валів знаходяться вузькі лопатки - штоки, що очищають торцеві стінки.

З метою зниження енергоємності та підвищення якості змішування запропоновано змішувач з корпусом 4, в якому розміщений порожнистий вал 3 з лопатками 2 (рисунок 1.9). Осі лопаток мають механізм 1 для зміни кута їх повороту і пристрій для поздовжнього переміщення штанги 7 з трипозиційним регулятором 6. Для змішування включається привід 5 порожнистого вала 3 з лопатками 2. Кут установки лопаток 2 забезпечується переміщенням штанги 7 вздовж осі вала 3. Недоліком змішувача є складність конструкції.

Для підвищення ефективності змішування порошкоподібних і рідких компонентів запропоновано змішувач, який містить корпус 3 з ротором 6 у вигляді «білича колеса», на поздовжніх лопатках 2 якого закріплені лопатки 5 (рисунок 1.10).



1 – завантажувальне вікно; 2 – лопаті; 3 – корпус; 4 – вивантажувальне вікно;
5 – лопатки; 6 – ротор

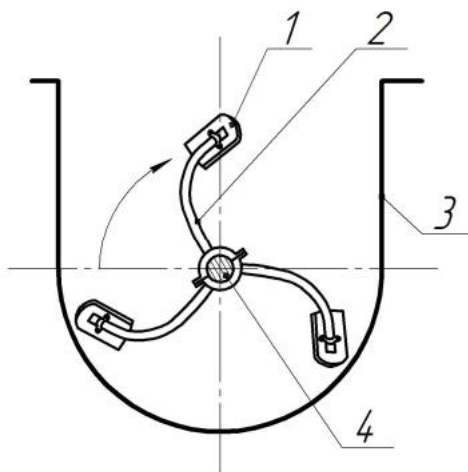
Рисунок 1.10 – Лопатевий змішувач

Для змішування через отвір 1 корпус 3 завантажують компоненти, які потрапляють під дію лопаток 5 і лопатей 2. При змішуванні порошкоподібних компонентів лопатки встановлюють у шаховому порядку, причому одна група лопаток переміщає компоненти до вихідного отвору 4, а інша від нього. Поєднання обертального руху компонентів від дії лопатей 2 та осьового переміщення від лопаток 5 забезпечує інтенсивний вплив на суміш. Недоліком змішувача є нерівномірне навантаження на вал при неповному завантаженні корпусу. Відомий лопатевий змішувач (рисунок 1.11), що має камеру 3, всередині якої встановлений вал 4, на якому під кутом до осі вала 4 закріплені за допомогою хомутів

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	Арк.

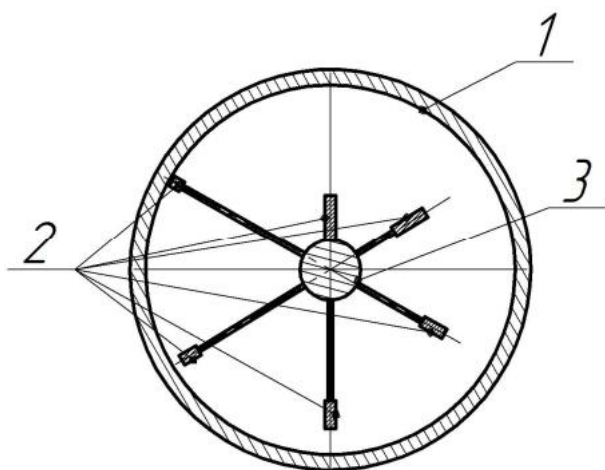
вигнуті лопатки 2 з лопатями 1. Таке кріплення дозволяє переміщати лопатки 2 і лопаті 1 валу 4, так і навколо осі лопатки 2. Конструкція змішувача забезпечує краще захоплення компонентів, що змішуються і виключає пошкодження змішувальної камери.



1-лопатья; 2-лопатка; 3-змішувальна камера; 4-вал

Рисунок 1.11 - Змішувач лопатевий

Лопатевий змішувач (рисунок 1.12) призначений для змішування сипких матеріалів і в'язких рідин і дозволяє знизити нерівномірність навантаження валу. Змішувач містить корпус 1, вал 3 з лопатями 2. При однаковій довжині лопатей 2 їх ширина зменшується в міру віддалення від валу 3 пропорційно плечу їх установки. Подані компоненти подаються в корпус 1 і під дією лопатей інтенсивно перемішуються по всій глибині.



1-корпус; 2-лопаті; 3-вал

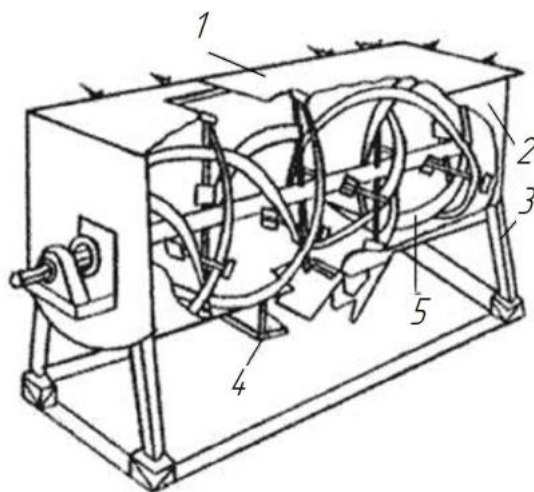
Рисунок 1.12 - Лопатевий змішувач

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.

Недоліком описаного лопатевого змішувача є те, що він ефективно працює тільки при повному заповненні корпусу 1. Загальним недоліком тихохідних лопатевих плугоподібних змішувачів є тривалість приготування порції суміші. Горизонтальні змішувачі Skioda періодичні, призначені для змішування сипких компонентів суміші або гранульованої сировини. Складаються з корпусу, робочого органу у вигляді відкритого подвійного шнека, приводу та пульта управління. Корпус оснащений оглядовим вікном, через яке можна додавати вручну мінеральні добавки. Для введення рідких добавок на краю корпусу встановлено форсунку. Мають модульну конструкцію, яка за потреби дозволяє додатково оснащувати змішувачі накопичувальним корпусом з донним випуском та розвантажувальним корпусом з вивантажувальним шнеком. Протиповітряні змішувачі серії НАПІ призначені для змішування вихідних компонентів суміші. Складаються з корпусу, робочого органу у вигляді відкритого подвійного шнека, системи вивантаження, приводу та системи керування, обладнані донними засувками з електропневматичним приводом. Можливе дозування рідких добавок. Спиральні змішувачі серії РАМ призначені для змішування сипких компонентів суміші. Можливе внесення до 6% тонкомелених домішків. Складаються з корпусу, змішувального валу спірального типу, випускних жолобів, приводу та пульта управління. Можуть оснащуватися пневмокерованим скиданням, що розсувається дном, що скорочує загальний час розвантаження до 15-20 с. При установці двох корпусів над і під змішувачем можуть працювати в автоматичному режимі і готувати до 20 порцій на годину.



1 – кришка; 2 – корпус; 3 – рама; 4 – стрічковий шнек; 5 - розвантажувальне вікно

Рисунок 1.13 – Змішувач НАПІ

Змішувач порційний горизонтальний НАПІ (рисунок 1.13) призначений для отримання однорідної суміші з подрібнених сухих компонентів сухих будівельних сумішей

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №

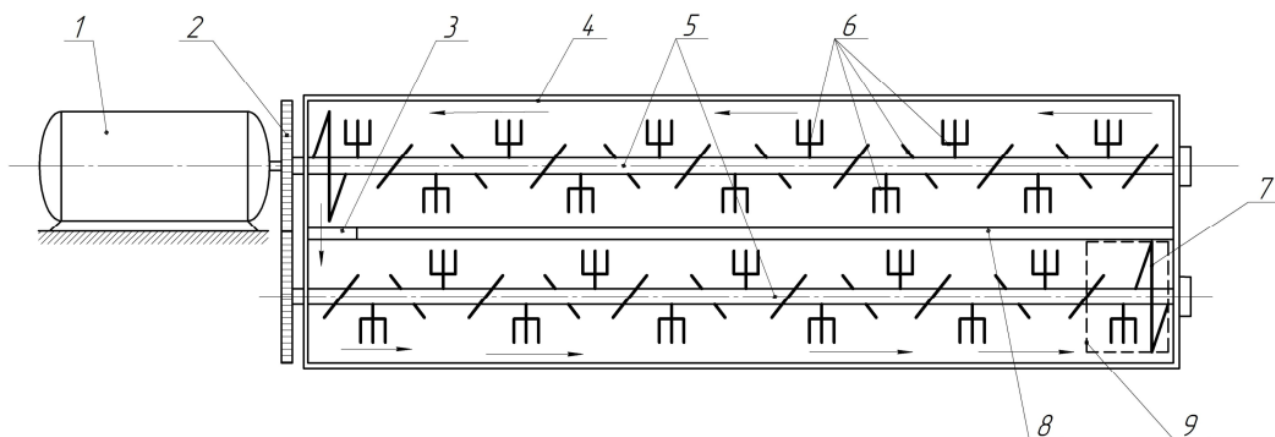
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.

і рідких домішків. Включає робочий бункер з розташованим усередині нього активним робочим органом шнеково-лопатевого типу, вивантажувальне вікно з електрозасувкою, електродвигун з редуктором для активного приводу робочого органу. Змішувач НАІТІ має істотно меншу питому металомісткість та питому енергоємність. При цьому забезпечується висока однорідність змішування – 95%. Робочі органи забезпечують повне саморозвантаження змішувача за короткий проміжок часу. До недоліків даного змішувача можна віднести значний час змішування та необхідність вертикального переміщення компонентів суміші при змішуванні, що збільшує питомі витрати енергії.

Змішувач порційно-безперервної дії СІКІ (рисунок 1.15) призначений для отримання однорідної суміші. Конструкцією передбачено можливість швидкої перебудови роботи змішувача в режим періодичної або безперервної дії.

Включає привід 1, що передає обертання через шестерні 2 на встановлені в корпус 4 вали 5 активних робочих органів з оригінальною конструкцією лопаток 6. При переведенні змішувача в безперервний режим корпус розділяється перегородкою 8 на дві частини з одним валом в кожній. Вивантаження сумішу здійснюється через вивантажне вікно 9. При необхідності додатково встановлюється на тензодатчики та працює в режимі дозування. За рахунок оптимального режиму роботи та оригінальних робочих органів за порівнянної метало- та енергоємності досягається вища однорідність змішування, забезпечується можливість роботи як у періодичному, так і безперервному режимах, а також у режимі дозування. До недоліків можна віднести складність конструкції змішувача.



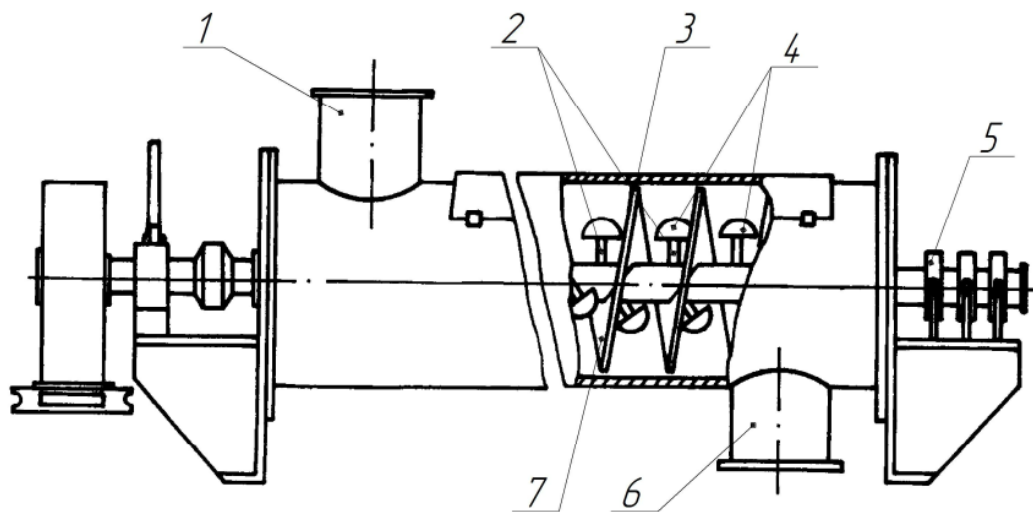
1 - привід; 2 – шестерні; 3 – перевантажувальне вікно; 4 – корпус; 5-вали; 6 - вилчаста лопатка; 7 – відбійний виток шнека; 8 - знімна перегородка; 9 – вивантажне вікно;

Рисунок 1.15 – Схема змішувача СІКІ

Шнековий змішувач безперервної дії складається з корпусу 3, у якому розташований шнек 7 (рисунок 1.16). Між витками шнека 7 на стрижнях 2 на висоті 0,25, 0,5, 0,75, 1 метра

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	

від основної навивки, розміщені елементи стрічкової спіралі 4. Кожен елемент стрічкової спіралі має свій привід, що дозволяє їм повертатися навколо своєї осі на кут від 0 до 180°.

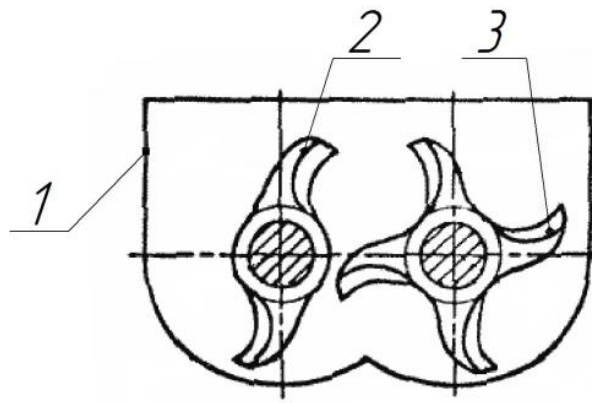


1 - завантажувальний патрубок; 2 – стрижні; 3 – корпус; 4 – елементи стрічкової спіралі;
5 - привід елементів; 6 - розвантажувальний патрубок; 7 – шнек; 8 – привід шнека.

Рисунок 1.16 - Шнековий змішувач

Залежно від фізико-механічних властивостей матеріалів, що змішуються, і вимог до якості суміші елементи спіралі встановлюються під необхідним кутом, що дозволяє змінити час змішування. Недоліком шнекового змішувача є складність конструкції. Для змішування сипких і в'язких матеріалів запропонована конструкція змішувача, що містить розміщені в корпусі 1 змішувальні гвинтові робочі органи з дволопатевиими 2 і 4 чотирилопатевиими елементами (рисунок 1.17). Змішувальні елементи виконані лівою і правою навивкою, що чергуються вздовж робочого органу. Працюючи компоненти через завантажувальний отвір надходять робочі органи. Дволопатеві 2 і чотирилопатеві 3 елементи захоплюють компоненти, інтенсивно їх перетирають і транспортують до вивантажувального вікна [8]. Недоліком змішувача є перетирання матеріалу та пов'язані з цим підвищені витрати енергії.

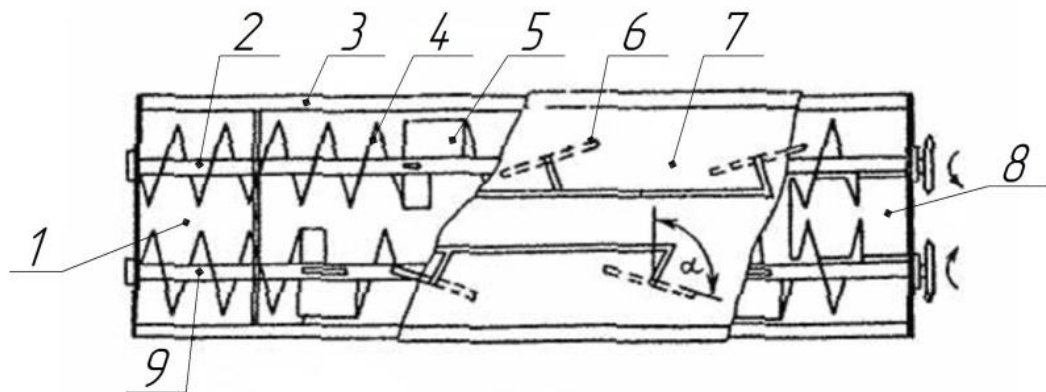
Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	



1 – корпус; 2 - двох лопатеві елементи; 3 - чотири лопатеві елементи.

Рисунок 1.17 - Схема лопатевого змішувача

Змішувач (рисунок 1.18) з розташованими в нижній частині корпусу 3 двома шнеколопастними валами 2 і 9 з шнековими 4 і лопатевими 5 ділянками, що чергуються, розташованими на валах таким чином, що лопатеві ділянки знаходяться навпроти шнекових ділянок. З внутрішньої сторони кришки розташовані 7 поворотні дефлектори 6.



1 - завантажувальна горловина; 2,9 – вали; 3 – корпус; 4 - шнекова ділянка; 5 - лопатева ділянка; 6 – дефлектор; 7 – кришка; 8 - вивантажувальний патрубок.

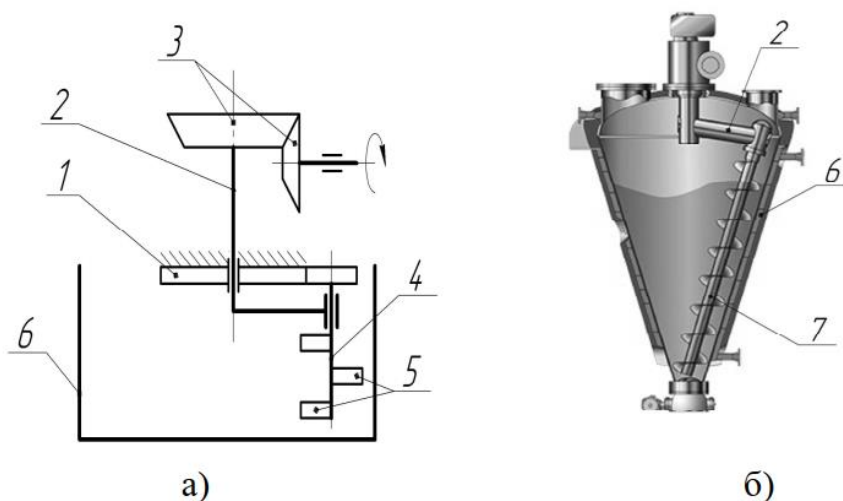
Рисунок 1.18 - Схема двовального шнеколопастного змішувача

Змішувальна суміш переміщується вздовж шнекової ділянки 4 до лопатевої, де під дією лопатей 5 викидається вгору по поверхні дугоподібної кришки 7 до дефлектора 6, ударяється про нього і падає на частину шнекової ділянки другого робочого органу і перемішується з ним. Процес поступально-поперечного руху суміші в змішувальній камері продовжується до надходження його в зону вивантажувального патрубку. Якість змішування встановлюють положенням дефлекторів. Недоліком змішувача є високі питомі витрати енергії процес змішування, обумовлені високою частотою обертання робочих органів.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №
------------	---------------	-------------

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата
-----	-------	------	-------	-------	------

Змішувачі з планетарними робочими органами застосовують для порошкоподібних матеріалів та дуже густих сухих сумішей з динамічною в'язкістю до 200 Па/с. Схема мішалки планетарного типу представлена на рисунку 1.19, а. При обертанні водила 2 відбувається також обертання вала 4 з насадженими на нього лопатями 5, які здійснюють складний рух, обертаючись навколо осі вала 4 і разом з ним навколо водила 2. Кожна точка лопаті описує при цьому складну криву. Швидкість точки безперервно змінюється за напрямом та величиною, завдяки чому в планетарних мішалках виникає інтенсивний турбулентний рух потоку матеріалу. Як робочий орган часто застосовують шнек.



а) лопатева мішалка; б) шнекова мішалка;

1, 3 – шестерні; 2 - водило; 4 – вал мішалки; 5 - лопаті; 6 – бункер; 7 – шнек.

Рисунок 1.19 – Схема планетарного змішувача

При змішуванні шнек обертається навколо осі і одночасно навколо осі бункера. Змішуваний матеріал шнеком піднімається вгору і розкидається відцентровою силою поверхні бункера і під дією власної ваги опускається вниз, в результаті чого відбувається інтенсивне перемішування матеріалу. Така конструкція змішувача виключає зависання матеріалу під час розвантаження.

На підставі розглянутої класифікації та проведеного аналізу існуючих конструктивних схем змішувачів було встановлено, що багато з них складні по конструкції і не надійні в роботі, якість сумішової суміші, що одержується, не завжди відповідає зоотехнічним вимогам, мають велику споживану потужність і тривалий час змішування (додатки А, Б). Можна відзначити, що в останні роки основний наголос у вирішенні задачі

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

										Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата					

підвищення ефективності змішувачів зроблено на модернізацію існуючих типів змішувачів за рахунок організації максимального впорядкованого переміщення частинок шляхом використання додаткових пристроїв та способів змішування. Найбільш кращим напрямком удосконалення конструкцій змішувачів є застосування комбінованих робочих органів. Перспективним напрямом у вдосконаленні конструкцій змішувачів є створення тихохідного змішувача періодичної дії з нерухомим прямокутним корпусом і двома горизонтально розташованими примусово змішують шнеколопастними робочими органами з ділянцями, що чергуються, що дозволяє отримувати суміш відповідно до вимог та низьких питомих витрат енергії.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата		

2 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗМІШУВАННЯ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

2.1 Оцінка питомих технологічних показників ефективності робочого процесу лопатевих і шнекових змішувачів сухих будівельних сумішей

Для проведення аналізу основних технологічних параметрів лопатевих і шнекових змішувачів сухих будівельних сумішей були порівняні конструктивні та технологічні параметри змішувачів, що випускаються провідними світовими виробниками таких машин. До розгляду увійшло 85 моделей змішувачів дев'яти виробників із Китаю, Німеччини, Італії, США.

Таблиця 2.1. – Технічні характеристики лопатевих і шнекових змішувачів різних світових виробників

№	Фірма	Модель	Об'єм суміші, м ³	Потужність, кВт	Маса змішувача, кг
1	2	3	4	5	6
1	ELBA []	EMDW-2000	2	74	7300
		EMDW-2250	2,25	90	7900
		EMDW-2500	2,5	90	7900
		EMDW-3000	3	110	9400
		EMDW-3333	3,33	130	11700
		EMDW-3500	3,5	130	11700
		EMDW-4000	4	170	14500
		EMDW-4500	4,5	170	14500
2	BHS – SONTHOFEN []	DKX 0,50	0,5	15	3100
		DKX 0,75	0,75	22	3600
		DKX 1,00	1	37	4040
		DKX 1,25	1,25	45	5200
		DKX 1,67	1,67	55	5700
		DKX 2,00	2	65	7500
		DKX 2,25	2,25	65	8100
		DKX 2,50	2,5	75	9000
		DKX 2,75	2,75	90	9600
		DKX 3,00	3	110	10200
		DKX 3,33	3,33	130	10400
		DKX 3,50	3,5	110	13400
		DKX 4,00	4	130	14000
		DKX 4,50	4,5	150	14700
		DKX 5,00	5	180	22000
		DKX 6,00	6	220	24000
		DKX 7,00	7	300	29000
DKX 8,00	8	360	33000		
DKX 9,00	9	440	37000		

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	Арк.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
3	SICOMA []	MAO 1500	1	44	4500
		MAO 2250	1,5	60	7430
		MAO 3000	2	74	7530
		MAO 3750	2,5	90	7630
		MAO 4500	3	110	9300
		MAO 5000	3,3	150	9750
		MAO 6000	4	150	11900
		MAO 7500	5	180	12000
		MAO 9000	6	220	14200
		MAO 12000	8	300	19000
		MAO/S 1500	1,185	44	4500
		MAO/S 2250	1,835	60	7430
		MAO/S 3000	2,45	74	7530
		MAO/S 3750	3,1	90	7630
		MAO/S 4500	3,67	110	9300
		MAO/S 5000	4,1	150	9750
		MAO/S 6000	4,9	150	11900
		MAO/S 7500	6	180	12000
		MAO/S 9000	7,34	220	14200
MAO/S 12000	9,8	300	19000		
4	ТЕКА []	TDZ 1500	1	37	5800
		TDZ 1875	1,25	45	5800
		TDZ 2250	1,5	55	6500
		TDZ 3000	2	74	7600
		TDZ 3750	2,5	90	8600
		TDZ 4500	3	110	8600
5	SIMEM []	SIMEM 1500	1	37	5500
		SIMEM 2500	1,7	60	6000
		SIMEM 3000	2	74	6900
		SIMEM 3000S	2,25	88	6900
		SIMEM 3700	2,5	88	9100
		SIMEM 4500	3	110	10090
		SIMEM 6000	4	150	11650
		SIMEM 6000S	4,5	180	11650
		SIMEM 9000	6	220	17500
		SIMEM 12000	8	300	24000
		SIMEM14000	9	360	26200

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	Арк.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
6	LIEBHERR []	DW 2.25	3,375	75	880
		DW 3.0	4,5	110	10500
		DW 3.5	5,25	110	11200
		DW 4.5	6,75	150	12700
		DW 6.5	9	220	20900
7	Sowergroup []	SWWH-50	0,05	2,2	230
		SWWH-100	0,1	3	320
		SWWH-300	0,3	4	700
		SWWH-500	0,5	7,5	980
		SWWH-1000	1	11	1800
		SWWH-2000	2	15	2100
		SWWH-3000	3	18,5	3200
		SWWH-4000	4	30	4000
		SWWH-5000	5	37	4600
		SWWH-6000	6	45	6200
		SWWH-8000	8	45	7200
		SWWH-10000	10	55	7800
		SWWH-12000	12	55	9800
		SWWH-15000	15	55	10000
SWWH-18000	18	75	11000		
SWWH-20000	20	90	14500		
8	Stetter []	DW 2.25	2,25	75	8200
		DW 3.0	3	110	9400
		DW 3.35	3,35	110	9400
9	OSMIX []	RG 2250	2	60	7500
		RG 3000	2,6	74	8000
		RG 3375	2,9	90	8200
		RG 3750	3,3	90	8300
		RG 4500	4	110	9300
		RG 5000	4,4	150	9700
		RG 6000	5,3	150	12000
		RG 6750	5,85	150	12500
		RG 7500	6,6	180	13000
		RG 9000	8	220	14200
		RG 12000	10,5	320	19000

Для виконання аналізу техніко-економічних показників та технологічних параметрів визначаємо критерії оцінки технічних показників:

- критерій впливу маси на продуктивність (питома металоємність) $m/V_{г.с.}$, (кВт/т);
- критерій впливу витрат енергії на продуктивність (питома енергоємність) $N/V_{г.с.}$, (кВт/т);
- критерій питомого енергетичного показника N/m , (кВт/т).

За наведеними в табл. 2.1. технічними характеристиками змішувачів побудовані гістограми критеріїв оцінки технічних показників (рисунок 2.1-2.4).

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№
-----------	---------------	-----------

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата
-----	-------	------	-------	-------	------

Арк.

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

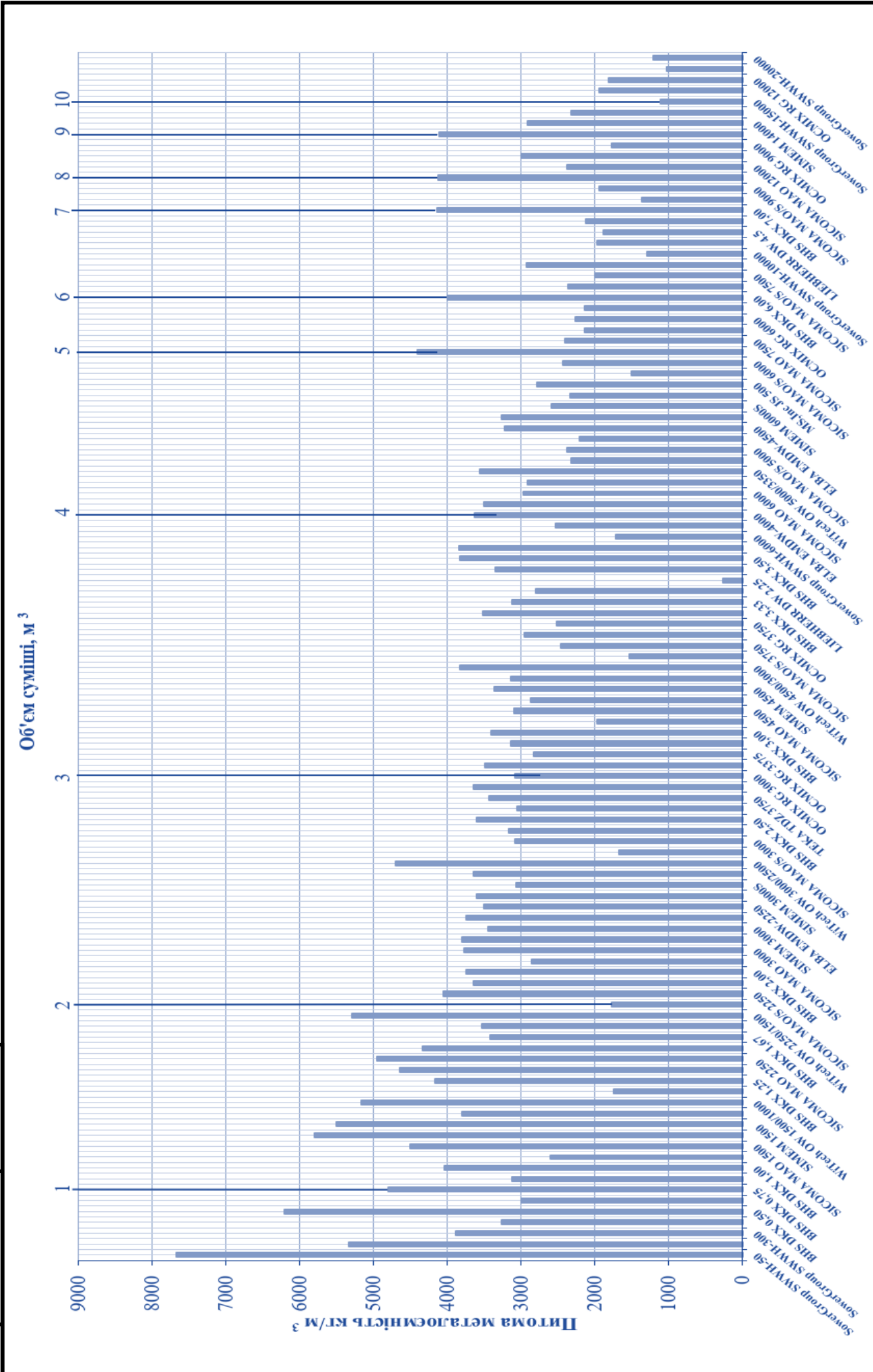


Рисунок 2.2 –Питома металоемність

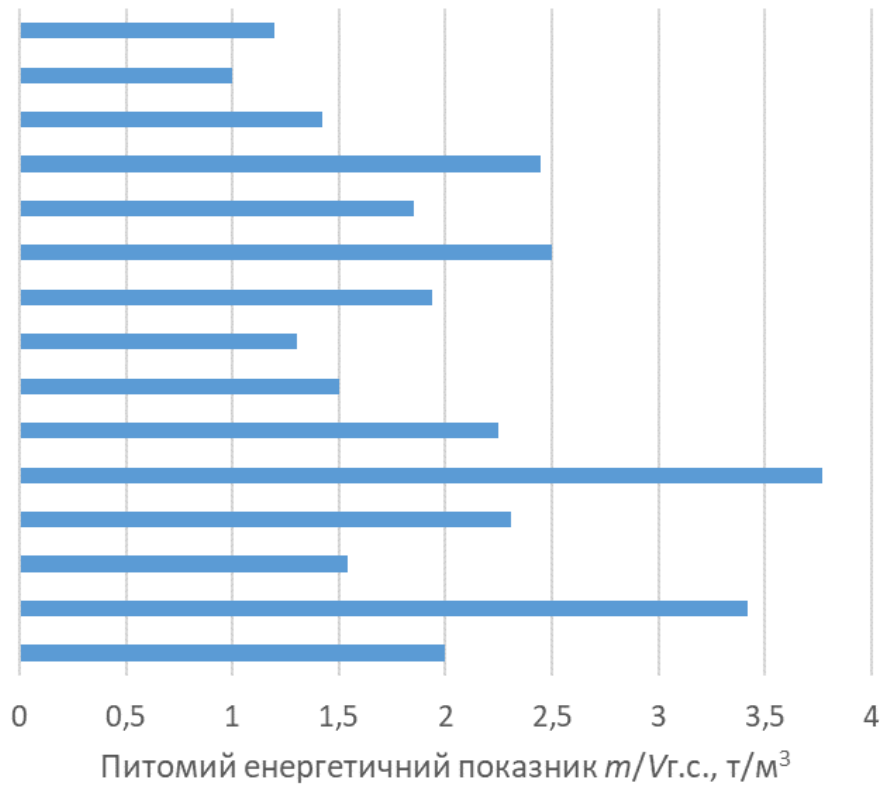


Рисунок 2.3 – Питомий енергетичний показник

2.2 Однорідність суміші як якісна характеристика завершеності процесу змішування

Механічний процес рівномірного розподілу частинок компонентів в об'ємі, що змішується, в результаті чого виходить однорідна суміш, називається змішуванням.

Фундаментальні роботи професорів Р.Л. Зенкова, Г. М. Кукта та інших дозволили сформулювати основні положення теорії змішування сипких матеріалів, встановити загальні залежності між факторами, що впливають на процес, і є основними конструктивно-режимними параметрами змішувачів. частинок двох компонентів, умови його отримання, а також стан повного змішування, що визначається ймовірністю знаходження у довільній точці частинки даного компонента. Чим ближче співвідношення розмірно-масових характеристик компонентів, що змішуються, до одиниці, тим легше отримати однорідну суміш. Збільшення відносної вологості понад 14...15% потребує збільшення часу змішування.

Однорідність суміші є якісною характеристикою завершеності процесу змішування. Для визначення однорідності знайшли застосування різноманітні методи.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк. № док	Підп.	

Для визначення ступеня однорідності на основі аналізу взятих проб розроблено формули:

$$\Theta = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{B_i}{B_0} \right)}{h} \quad \text{при } B_i < B_0,$$

$$\Theta = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{2B_0 - B_i}{B_0} \right)}{h} \quad \text{при } B_i > B_0,$$

де B_i - для меншого компонента в i -ої пробі;

B_0 - для меншого компонента в ідеальній пробі;

n - число проб (зазвичай приймають від 20 до 60).

За коефіцієнтом варіації однорідність визначається:

$$\Theta = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - B_0)^2}{n-1}}}{B_i}$$

Однорідність по відношенню до середньоквадратичних відхилень розраховується за виразом:

$$\Theta = \frac{\sigma_T}{\sigma_E},$$

де σ_T - теоретичне середньоквадратичне відхилення;

σ_E - емпіричне середньоквадратичне відхилення.

Теоретичне та емпіричне середньоквадратичні відхилення визначаються виразами:

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - p)^2}{n-1}};$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}},$$

де x_i - зміст контрольного компонента в i -ої пробі;

p - зміст контрольного компонента ідеальної пробі;

x_{cp} - середньоарифметичний зміст контрольного компонента у всіх пробах;

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк. № док	Підп.	

$$x_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Ступінь однорідності виражається в частках одиниці та відсотках і чим ближче значення Θ до одиниці або до 100%, тим якісніша суміш.

Відповідно до технологічних вимог, процес змішування вважається завершеним при досягненні ступеня однорідності в межах від 85 до 95% залежно від призначення суміші.

Про якість багатокомпонентної суміші судять щодо розподілу контрольного компонента. Для цього із суміші виділяють один компонент, який вважається контрольним, а решту суміш об'єднують у другий. Коноваловим В.В. для оцінки ефективності технологічної лінії змішування сухих будівельних сумішей запропоновано вираз для визначення коефіцієнта варіації компонента суміші:

$$v_k = \sqrt{(v_p \cdot v_t)^2 + v_t^2 + v_p^2},$$

де

$$v_p = \frac{\sqrt{\sum S_{gi}^2}}{\sum m_i} \quad \text{- коефіцієнт варіації подачі суміші;}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{v_A^2 - v_v^2}{1 + v_v^2}} \quad \text{- коефіцієнт варіації часу роботи;}$$

S_{gi}^2 – дисперсія показника;

m_i - i -е кількість суміші;

v_A - коефіцієнт варіації сепарації;

v_v - коефіцієнт варіації швидкості змішування.

Отже, процес змішування у часі складається з трьох послідовних елементів: конвективне змішування, дифузійне змішування, сегрегація.

Рівняння кінетики змішування описано у роботі [9]:

$$\sigma = \sigma_a + (\sigma_0 - \sigma_a) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}},$$

де σ - поточне значення середньоквадратичного відхилення концентрації контрольного компонента;

σ_0 - початкове значення середньоквадратичного відхилення;

σ_a - кінцеве значення середньоквадратичного відхилення;

t – час змішування, с;

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№						Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№док	Підп.	

τ - коефіцієнт пропорційності, що враховує інтенсивність процесу змішування.

При сумішоутворенні сипких матеріалів необхідно прагнути умов, за яких сумарні переміщення частинок мінімальні:

$$\sum S = N_k (1 - c) \cdot \frac{\sqrt{[x(1 - c_x)]^2 + [y(1 - c_y)]^2 + [z(1 - c_z)]^2} + \sqrt{x_{\min}^2 + y_{\min}^2 + z_{\min}^2}}{2},$$

де $\sum S$ - сумарне переміщення частинок у процесі сумішоутворення;

N_k - кількість частинок ключового компонента, що підлягає переміщенню;

x, y, z - лінійні розміри змішувача;

$x_{\min}, y_{\min}, z_{\min}$ - відстань між частинками ключового компонента готової суміші вздовж лінійних розмірів змішувача;

c - об'ємна концентрація ключового компонента суміші;

c_x, c_y, c_z - лінійні концентрації ключового компонента вздовж лінійних розмірів змішувача.

Цей вираз застосовується за умови, що у змішуванні бере участь однакове число частинок з рівними діаметрами основного та ключового компонентів.

2.3 Продуктивність змішувачів сухих будівельних сумішей

У багатьох дослідженнях зазначається, що продуктивність змішувача рекомендується визначати за такою формулою:

$$Q_{\lambda} = 15\pi D^2 S n \rho k_n,$$

де D - діаметр обертання лопатей, м;

S - крок лопатей, м;

n - частота обертання лопатей, хв^{-1} ;

ρ - насипна об'ємна маса суміші, що змішуються, кг/м^3 ;

k_n - коефіцієнт подачі, який залежить від конструкції лопатей та їх розташування на валу (0,6...0,8).

Також, продуктивність лопатевого змішувача можна визначити за формулою:

$$Q_{\lambda} = \frac{D^2 S n \rho \varphi_n}{8},$$

де n - частота обертання лопатей, с^{-1} ;

φ_n - коефіцієнт заповнення ємності.

Корольовим К.М. для горизонтального двовального змішувача запропоновано формулу для розрахунку продуктивності:

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	

$$Q_l = \pi R_{жс}^2 \left[1 - \left(\frac{2\pi\tau_k}{180} - \sin 2\tau_k \right) / 2\pi \right] b_l^2 n_l \sin^2 \alpha / 60 S_l$$

де $R_{жс}$ - радіус жолобу корпусу, м;

τ_k - кут між обрізом циліндричної частини корпусу та горизонтальною площиною, град.;

b_l - ширина лопаті, м

n_l - частота обертання валів, хв

S_l - крок розміщення лопатей, м;

α - кут лопаті повороту до поздовжньої осі змішувача, град.

Також продуктивність горизонтального лопатевого змішувача безперервної дії можна визначити виходячи з того, що за один оберт лопаті суміш, захоплена лопаттю, просувається на величину ΔS :

$$Q = 2R_{cp} (R_1 - R_2) \frac{\gamma}{2\pi} \Delta S n z \rho k_l$$

де

$$R_{cp} = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad \text{- середній радіус лопаті, м;}$$

R_1 - зовнішній радіус лопаті, м;

R_2 - внутрішній радіус лопаті, м;

ΔS - просування маси за один прохід лопаті, м, $\Delta S = v \cos \alpha$,

v - ширина лопаті, м;

α - кут її встановлення до поздовжньої осі змішувача, град.;

n - частота обертання валу змішувача, s^{-1} ;

z - загальна кількість лопат на ділянці, шт.;

k_l - коефіцієнт, що враховує обтікання лопаті масою, що змішується (залежно від розміру лопаті $k_l = 0,4 \dots 0,6$);

γ - кут наповнення змішувача за середнім радіусом лопаті, залежить від ступеня наповнення змішувача.

Продуктивність лопатевого змішувача при припущенні, що робочі органи розглядаються як шнек з переривчастим гвинтом, рекомендується визначити за виразом:

$$Q_l = \frac{3600 R_l^2 k_\epsilon \omega b_l \cos \alpha (z_1 - z_2) \sin \beta}{2} \varphi_n, \text{ м}^3/\text{с}$$

де z_1 і z_2 - число в межах одного кроку відповідно з позитивним та негативним кутами установки, шт.;

α - кут нахилу лопаті до гвинтової поверхні, град.;

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №						Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата			

k_e - коефіцієнт повернення суміші внаслідок перемішування, що дорівнює 0,68...0,75;

β - кут підйому гвинтової лінії, що утворюється лопатями,

t - крок гвинта лопатей, м.

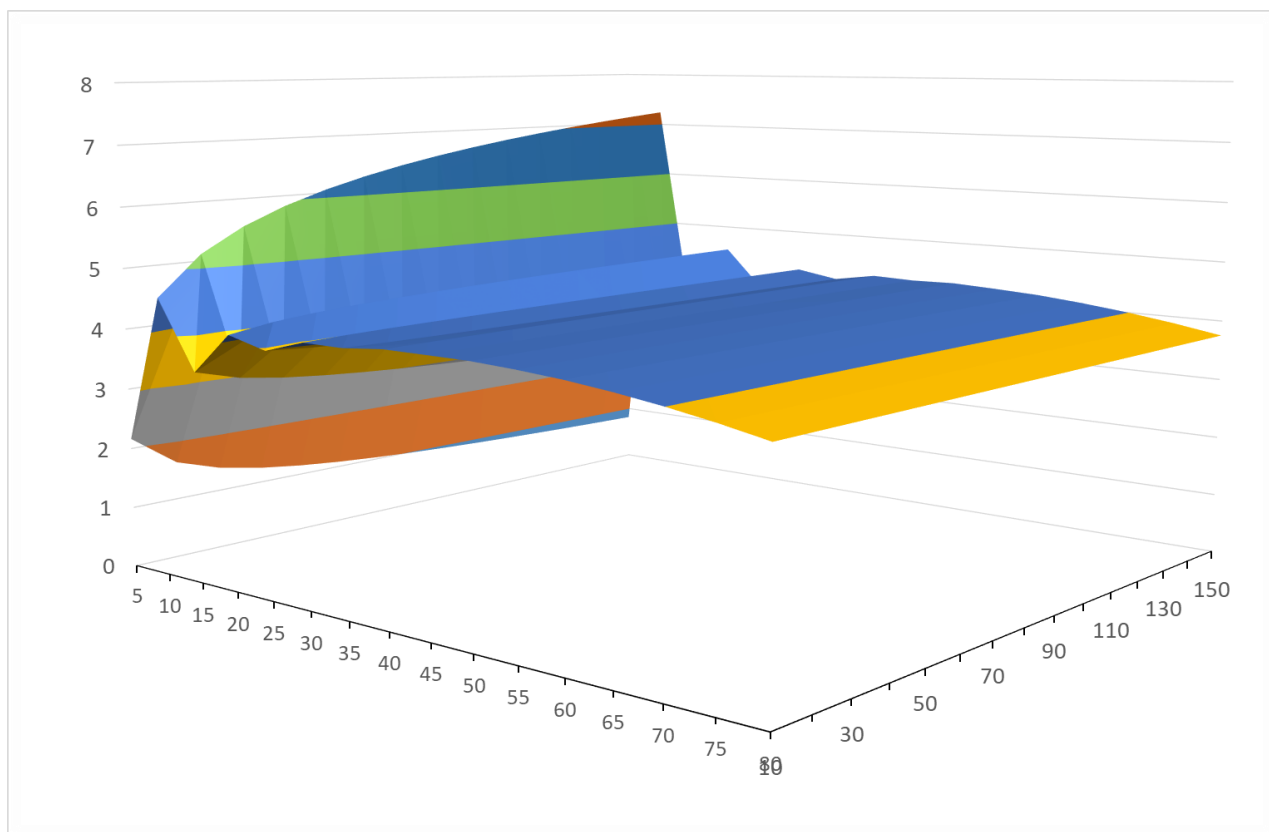


Рисунок 2.4 – Діаграма зміни продуктивності шнекового змішувача від ступеня заповнення корпусу та кута повороту змішувальних лопатей і підйому твірної шнека

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№						Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	

2.4 Потужність змішувального робочого органу

Потужність, що витрачається на шнековій ділянці, визначимо за формулою

$$N_{yn} = c_1 + \rho_H \cdot \omega^{1,2} \cdot L \cdot (b \cdot \sin \alpha)^{0,32} \cdot H^{1,04} \cdot k_y$$

де c_1 - коефіцієнт опору в режимі ущільнення суміші;

ρ_H - насипна щільність змішувального матеріалу, кг / м³;

ω - кутова швидкість обертання валу, об / с;

b - ширина лопаті, м;

L - довжина лопаті, м;

α - кут атаки лопаті, град .;

H - висота шару матеріалу покриває лопать, м;

k_y - коефіцієнт, що враховує усадку матеріалу в момент переміщення суміші лопатями вала.

Для розуміння характеру залежності потужності змішувального робочого органу лопатешнекового змішувального механізму побудуємо його діаграму залежності від частоти обертання змішувального механізму (рисунок 2.5) та від повної площі шнека (рисунок 2.6)

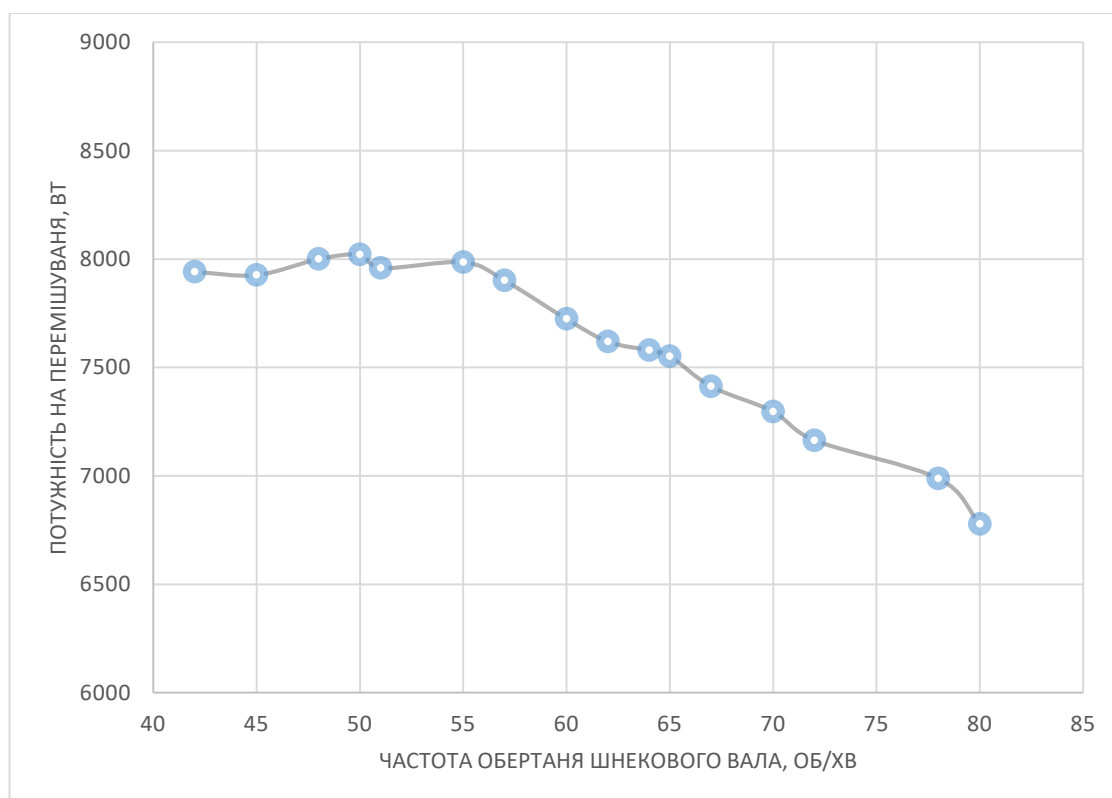


Рисунок 2.5 – Діаграма залежності потужності змішувального робочого органу шнекового змішувального механізму

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.

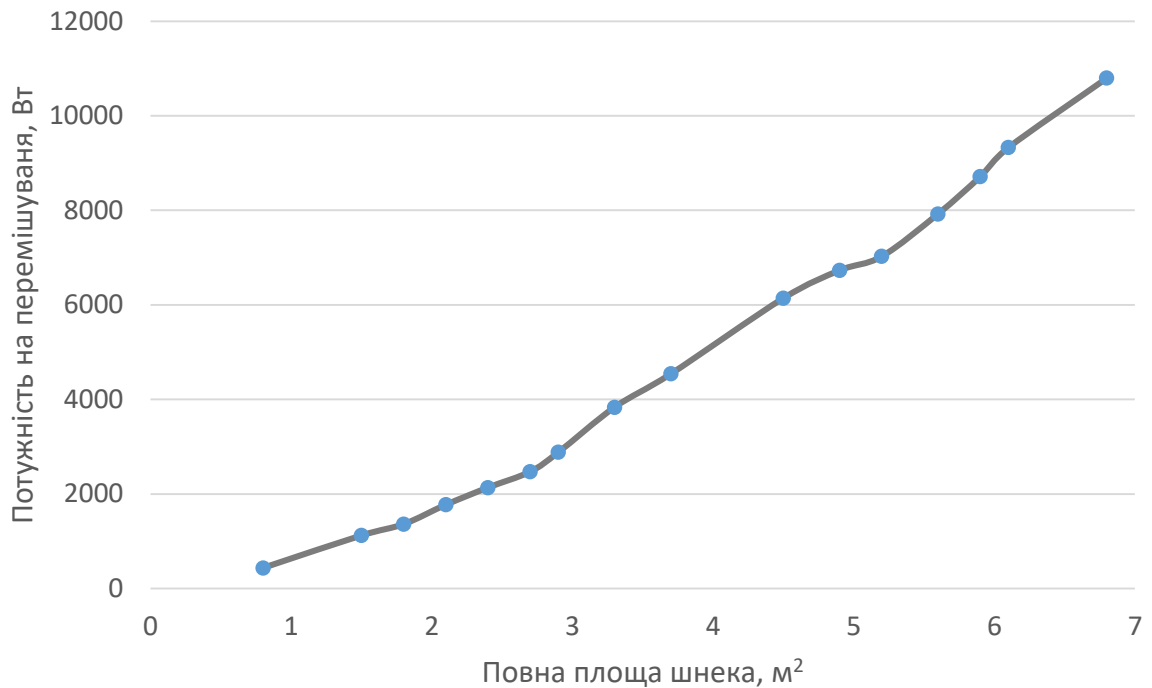


Рисунок 2.6 – Діаграма потужності шнекового змішувального робочого органу

На основі огляду існуючих конструкцій змішувачів та аналізу стану досліджень процесу змішування зроблено такі висновки:

1. Змішування є однією з важливих операцій при приготуванні сухих будівельних сумішей, що забезпечує однорідність суміші відповідно до технологічних регламентів, і що визначає, зрештою, продуктивність і ефективність використання технічних операцій.
2. В результаті аналізу існуючих конструктивних схем змішувачів було встановлено, що багато машин, що застосовуються для приготування сухих будівельних сумішей складні по конструкції і не надійні в роботі, якість одержуваної сухої суміші, не завжди повністю відповідає технічним регламентам, а застосовувані серійні та експериментальні змішувачі сухих будівельних сумішей через недосконалість робочих органів мають високі питомі витрати енергії на процес змішування.
3. Перспективним напрямком у вдосконаленні конструкцій змішувачів сухих будівельних сумішей є створення тихохідного змішувача періодичної дії з нерухомим прямокутним корпусом і двома горизонтально розташованими змішувальними лопатешнековими робочими органами, що забезпечують зменшення питомих витрат енергії на процес змішування.
4. За основу технологічного процесу змішування сухих будівельних сумішей можна взяти лопатешнековий змішувач з комбінованими робочими органами, що мають

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	

ділянки, що чергуються і забезпечують організований регламентований рух компонентів сухих будівельних сумішей і дозволяє скоротити час отримання суміші, що відповідає за якісними показниками.

2.4.1 Моделювання робочих процесів шнекового змішувача із застосуванням теорії подібності

Для процесів, що відбуваються у змішувачах, досить проблематично визначити критерії, до складу яких входить швидкість руху часток розчину V . Розподілення швидкостей у змішувачах має достатньо складний характер, і в цьому випадку застосувати середню швидкість $V_{СЕР}$, як, наприклад, у випадку течії у трубі, не представляється можливим. Тому найчастіше використовується умовна швидкість, яка дорівнює окружній швидкості на зовнішньому діаметрі робочого органу змішувача u . Одержані таким чином критерії з певною мірою достовірності будуть дійсними для процесу змішування. Критерій Рейнольдса Re . Традиційне визначення даного критерію подібності для течії в трубах має наступний вигляд:

$$Re = \frac{\bar{V}_{СЕР} d_0 \rho}{\eta}$$

де $V_{СЕР}$ – середня швидкість руху рідини в трубі, м/с;

d_0 – внутрішній діаметр труби, м;

ρ – густина суміші, кг/м³;

h – коефіцієнт структурованої в'язкості неньютонівської рідини (будівельного розчину), Па·с.

У фізичному розумінні критерій Рейнольдса Re являє собою відношення сил інерції до сил внутрішнього тертя й, до того ж, є критерієм, що визначає характер течії мас суміші, що переміщується (ламінарний або турбулентний).

Для випадку руху суміші у змішувачі умовно приймають

$$\bar{V}_{СЕР} = \omega \cdot R$$

де ω – кутова швидкість обертання робочого органу змішувача, рад/с;

R – зовнішній радіус робочого органу, м.

Отже, з урахуванням цих виразів можна одержати:

$$Re = \frac{\omega \cdot R^2 \cdot \rho}{\eta}$$

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	

$$\mathbf{He} = \frac{\tau_0 R^2 \rho}{\eta^2}$$

де R – зовнішній радіус робочого органу, м;

ρ – густина суміші, кг/м³.

Критерій Ейлера Eu . Основне визначення критерію Ейлера у загальному випадку має наступний вигляд

$$\mathbf{Eu} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot V^2}$$

де D_p – перепад тиску, Па;

V – швидкість руху суміші, м/с.

Критерій Ейлера Eu представляє відношення сил тиску, що викликають рух суміші, до сил динамічного тиску. Для процесів, що відбуваються у змішувачах, перепад тиску D_p та швидкість V правомірно замінити на потужність, що витрачається на перемішування, та окружну швидкість робочого органу змішувача.

Якщо прийняти до уваги, що потужність, яка витрачається на перемішування:

$$P \approx \Delta p \cdot S \cdot V,$$

де $S \approx R^2$ (умовний переріз потоку),

$V \approx \omega \cdot R$, правомірно записати вираз критерію Ейлера для процесів перемішування:

$$\mathbf{Eu} = \frac{P}{\omega^3 \cdot R^5 \cdot \rho}$$

Отже, з урахуванням вищеведеного основне критеріальне рівняння, яке описує рух в'язко-пластичного середовища, що перемішується, матиме вигляд:

$$\frac{P}{\omega^3 \cdot R^5 \cdot \rho} = f \left(\frac{\omega \cdot R^2 \cdot \rho}{\eta}, \frac{\omega^2 R}{g}, \frac{\tau_0 R^2 \rho}{\eta^2} \right)$$

або у формі ступеневого одночлена

$$\mathbf{Eu} = C \cdot \mathbf{Re}^m \cdot \mathbf{Fr}^n \cdot \mathbf{He}^s$$

де C – коефіцієнт;

m, n, s – показники ступеня.

Слід відзначити, що це рівняння справедливе лише для геометрично подібних змішувачів. Розміри шнекового змішувача визначаються п'ятьма основними розмірами (рисунок 2.7) радіусом вала змішувача R_0 , внутрішнім та зовнішнім радіусами стрічки шнека R_B та R , радіусом дна бункера R_B та кроком стрічки шнека h . Також важливе значення має висота заповнення бункера сумішшю H .

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк. № док	Підп.	

Перехідна область, в якій течія рідини в апараті з мішалкою переходить від ламінарного до турбулентного, значно ширше, ніж для течії рідини в трубах, і знаходиться в межах $Re_m = 10 \div 10^4$. Є, однак, апарати, для яких область турбулентної течії починається вже при $Re_m = 10 \div 10^3$, і такі, для яких область ламінарної течії існує до $Re_m = 10^2$.

Еталоном переходу ламінарної течії в турбулентну, в даному випадку є не класичним досвідом Рейнольдса, а аналіз, графіків різних залежностей (наприклад, характеристик потужності, що витрачається на перемішування). Як правило, в логарифмічних координатах отримують прямі для $Re_m < 10$, криві в області $Re_m = 10 \div 10^4$ знову прямі для $Re_m > 10^4$.

У літературі можна зустріти й інші пропозиції щодо визначення критерія Рейнольдса для процесів перемішування. Так, наприклад, Вишневський, Глуханя і Ковальов пропонують визначати критерій Рейнольдса для кільцевого перерізу між мішалкою і посудиною як $\pi(D^2 - d^2)/4$ і при середній швидкості рідини для цього перерізу $\bar{\omega}_e = \alpha \pi d n$ (α – коефіцієнт, що враховує розподіл швидкостей в цьому перерізі). Звідси

$$Re = \frac{\bar{\omega}_e d_e \gamma}{\eta}$$

Після підстановки еквівалентного діаметра для кільцевого зазору $d_e = D - d$ наведена вище формула приймає вигляд:

$$Re = K \frac{nd(D - d)\gamma}{\eta}$$

де $K = \pi\alpha$ – новий коефіцієнт, пов'язаний з розподілом швидкостей в кільцевому перерізі.

При такому визначенні критерію Рейнольдса його значення змінюється зі зміною симплекса d/D . Диференціюючи функцію (29) щодо змінної d при припущенні сталості інших параметрів і прирівнюючи її до нуля, отримуємо $d/D = 1/2$ як умова, при якій критерій Рейнольдса досягає максимального значення.

Вей, Гзовский і Плановський пропонують інше визначення критерію Рейнольдса:

$$Re = \frac{n_e d^2 \gamma}{\eta}$$

де $n_e = kn$ – ефективне (еталонне) число обертів мішалки; k – дослідний коефіцієнт (різний для різних мішалок), розраховується з умови рівності крутних моментів, для даної еталонної мішалки.

В якості еталонної автори взяли мішалку з двома плоскими лопатками, для якої $k = 1$.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №
------------	---------------	-------------

										Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата					

Прийнявши таке визначення критерію Рейнольдса, автори описали одним рівнянням коефіцієнти масовіддачі при розчиненні твердого тіла для всіх досліджених мішалок.

Нові пропозиції щодо визначення критерію Рейнольдса можна зустріти для випадків перемішування дисперсних систем. У таких системах основним параметром для опису коефіцієнтів масовіддачі і розмірів диспергованих частинок (крапель, бульбашок) є не абсолютна швидкість рідини, а місцеві флуктуації швидкості на шляху, рівному діаметру частинки d_r . Звідси критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\sqrt{\bar{\omega}^2} d_r \gamma_c}{\eta_c}$$

де індекс «с» означає рідку фазу.

Середнє значення пульсації швидкості в турбулентному потоці рідини на шляху d_r можна обчислити із залежності:

$$\sqrt{\bar{\omega}^2} = C_\varepsilon^{1/3} d_r^{1/2}$$

за умови, що розмір частки великий у порівнянні з так званої внутрішньою шкалою турбулентності. Параметр ε представляє собою місцеву швидкість розсіювання (дисипації) енергії, що витрачається на перемішування рідини (у розрахунку на одиницю маси суцільної фази). Для апарату з мішалкою величина ε може бути наближено розрахована по залежності:

$$\varepsilon = \frac{N}{V \gamma_c}$$

Таким чином, отримуємо:

$$\sqrt{\bar{\omega}^2} \approx \left(\frac{N}{V \gamma_c} \right)^{1/3} d_r^{1/2}$$

і

$$Re = \frac{d_r^{4/3} \gamma_c^{2/3} \left(\frac{N}{V} \right)^{1/3}}{\eta_c}$$

Як впливає з формули (34), при зменшенні діаметра частинки (наприклад, краплі) значення критерію Рейнольдса зменшується (знижується турбулентність навколо частки). Це викликано тим, що частинка легше переміщується з потоком рідини.

Критерій Фруда

Традиційне визначення критерію Фруда має наступний вигляд:

$$Fr = \frac{\omega^2}{gl}$$

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата		

і являє відношення сил інерції до сил тяжіння.

Для процесів, що реалізуються в апаратах з мішалками, приймають $\omega = \pi dn$ і $l = d$, що після виключення множника π^2 дає вираз відцентрового критерію Фруда:

$$Fr = Fr_m = \frac{n^2 d}{g}$$

Цей критерій враховує вплив завихрення рідини (тобто утворення воронки в апараті з мішалкою) на потужність, споживану при перемішуванні, та інші процеси. Якщо змішувач обладнаний перегородками, що перешкоджають утворенню воронки рідини, то критерій Фруда ніякої ролі не грає.

Критерій Ейлера

Основне визначення критерію Ейлера має вигляд:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\gamma \omega^2}$$

і являє відношення сил тиску, які викликають течію, до сил динамічного тиску.

Для процесів, що протікають в апаратах з мішалками, замінюють перепад тиску Δp і швидкість ω потужністю, що витрачається на перемішування, і коловою швидкістю мішалки. Приймаючи, що потужність, яка витрачається на перемішування, дорівнює $N \approx \Delta p F \omega$, де $F \approx d^2$ (умовне перетин потоку), і $\omega \approx nd$, отримуємо вираз відцентрового критерію Ейлера для процесів перемішування:

$$Eu = Eu_m = \frac{N}{n^2 d^5 \gamma}$$

Величину Eu_m називають також критерієм потужності.

Критерій Вебера

Традиційне визначення критерію Вебера має наступний вигляд:

$$We = \frac{\omega^2 \gamma l}{\sigma}$$

і являє відношення сил інерції до сил поверхневого натягу. Беручи $\omega \approx nd$ і $l = d$, отримуємо відцентровий критерій Вебера для апаратів з мішалками:

$$We = We_m = \frac{n^2 d^3 \gamma}{\sigma}$$

Цей критерій зустрічається в процесах диспергування в апаратах для перемішування взаємно нерозчинних газів і рідин.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк. № док	Підп.	

Визначення критеріїв, що не містять швидкості ω , не відрізняються, як правило, від традиційних. Якщо в даному критерії міститься лінійний розмір, то найчастіше це діаметр апарату D або діаметр мішалки d . Наприклад, критерій Нуссельта може бути у вигляді лінійного розміру діаметр апарату, діаметр мішалки або діаметр труби змійовика.

2.4.2 Використання критеріальних рівнянь для моделювання процесів перемішування

Експериментальні дослідження процесу перемішування проводяться, як правило, на моделях, де змінені не тільки розміри апарату, а й технологічні середовища замінені більш дешевими і зручними у використанні. Тому проблема моделювання процесу є особливо важливою.

Раніше проведені експериментальні дослідження, узагальнені у вигляді емпіричних рівнянь, що визначають зв'язки між окремими фізичними та геометричними параметрами, не могли бути правильно використані при збільшенні масштабу процесу. Такі можливості з'явилися лише тоді, коли результати досліджень стали узагальнюватися у формі критеріальних рівнянь, що містять в якості змінних критерії подібності. Такі рівняння можуть застосовуватися для розрахунку апаратів різних розмірів. На жаль, рівняння цього типу на сьогоднішній день досить обмежені.

Нижче розглядається кілька простих проблем, пов'язаних із збільшенням масштабу апарату з мішалкою.

2.4.3 Моделювання потужності, що витрачається на перемішування

Потужність, що витрачається на перемішування, для турбулентного режиму в апараті з відбивними перегородками визначають за критеріальним рівнянням:

$$Eu = \frac{N}{n^2 d^5 \gamma} = const.$$

Для двох процесів, що протікають в геометрично подібних апаратах і за умови (для спрощення), що в обох апаратах використовується одна і та ж рідина, буде справедлива залежність:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{n_2^3 d_2^5}{n_1^3 d_1^5}$$

Можна показати, як буде змінюватися потужність, що витрачається на перемішування, із збільшенням розмірів апарату при збереженні геометричної подібності,

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№
-----------	---------------	-----------

										Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата					

наприклад $d/D = const$, $H/D = const$ і т. д., і постійної інтенсивності перемішування, яка визначається різними способами.

Для $Re = const$, або $n_1 d_1^2 = n_2 d_2^2$, маємо:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{-1}$$

Отже, потужність, що витрачається на перемішування, зменшується обернено пропорційно зі збільшенням розмірів апарату.

Для $u = \pi d n = const$, або $n_1 d_1 = n_2 d_2$, знаходимо:

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

тобто потужність зростає пропорційно квадрату лінійних розмірів апарату.

Для $N/V = const$, або $N_1/V_1 = N_2/V_2$, приймаємо $V \approx d^3$, отримуємо залежність:

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$$

або після перетворення і використання рівняння $N_2/N_1 = (u_2/u_1)^3 (d_2/d_1)^2 = (Re_2/Re_1)^2 (d_1/d_2)$ маємо:

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{1/3}$$

і

$$\frac{Re_2}{Re_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{4/3}$$

Таким чином, при бажанні виконати умову $N/V = const$ необхідно зі збільшенням розмірів апарату підвищити колову швидкість мішалки і значно збільшити значення критерію Рейнольдса. Звідси випливає висновок, що при одній і тій же коловій швидкості мішалки великий апарат (низькошвидкісний) витрачає при перемішуванні меншу потужність на одиницю об'єму, ніж малий (високошвидкісний) апарат.

Моделювання процесу теплообміну

Процес тепловіддачі в апаратах з мішалками описується критеріальним таким рівнянням:

$$\frac{\alpha D}{\lambda} = C Re^A Pr^B$$

Для двох процесів – модельного 1 і промислового 2 – за умови, що в обох випадках застосовується одна і та ж рідина, отримуємо залежність:

Зам.інв.№	
Підпис і дата	
Інв.№ ор.	

										Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата					

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{D_1}{D_2} \left(\frac{n_2 d_2^2}{n_1 d_1^2} \right)^A$$

Для $Re = const$, тобто $n_1 d_1^2 = n_2 d_2^2$

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{-1}$$

Отже, коефіцієнт тепловіддачі при збільшенні масштабу значно зменшується (обернено пропорційно діаметру апарату).

Для $u = const$, або $n_1 d_1 = n_2 d_2$, отримуємо:

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{D_1}{D_2} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^A = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{A-1}$$

У цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі α теж зменшується зі збільшенням розмірів апарату, але значно повільніше, оскільки, згідно з результатами дослідів, $A \approx 2/3$ і, отже, загальний показник при симплексі вже значно нижче.

Для випадку $N/V = const$, приймаючи $N \approx n^3 d^5$, $V \approx d^3$, або $N/V = n^3 d^5$, при перетворенні рівняння (47) отримуємо:

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{D_1}{D_2} \left(\frac{n_2^3 d_2^6}{n_1^3 d_1^6} \right)^{A/3} = \frac{D_1}{D_2} \left(\frac{d_2^4}{d_1^4} \right)^{A/3}$$

Звідси після підстановки $d_2/d_1 = D_2/D_1$:

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{4/3 A - 1}$$

Так як $A \approx 2/3$, то $4/3 A - 1 \approx 0$, отже, $\alpha_2 \approx \alpha_1$.

Моделювання останнім способом гарантує незначні зміни коефіцієнта тепловіддачі. Це – дуже важлива інформація, оскільки при невідомих значеннях величин C , A , B критеріального рівняння, що визначає тепловіддачу, можна на її основі передбачити, яке буде значення цього коефіцієнта в реальному апараті.

Моделювання теплових процесів зазвичай здійснюється при збереженні умови постійної кількості тепла на одиницю робочого об'єму апарата.

Кількість тепла на одиницю об'єму можна виразити рівнянням:

$$\frac{Q}{V} = kF \left(\frac{\Delta t_m}{V} \right)$$

За умови, що $\Delta t_m = const$, $k \approx \alpha$ і, приймаючи, що $F \approx d^2$ і $V \approx d^3$, отримуємо:

$$\frac{Q}{V} \approx \frac{\alpha}{d} = const$$

Для двох подібних процесів необхідно, таким чином, виконання наступної умови:

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №						Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата			

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

Отже, коефіцієнт тепловіддачі α повинен зростати пропорційно збільшенню лінійних розмірів апарату. Це пояснюється тим, що поверхня теплообміну F зростає пропорційно квадрату, а робочий об'єм апарату з мішалкою V – кубу діаметра апарату. Таким чином, при збільшенні розмірів апарату зростає теплове навантаження поверхні F .

Порівнюючи залежності (47) і (51), отримуємо:

$$\frac{D_1}{D_2} \left(\frac{n_2 d_2^2}{n_1 d_1^2} \right)^A = \frac{D_2}{D_1}$$

звідки після перетворення і за умови $d_2/d_1 = D_2/D_1$

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{2/A-2}$$

Якщо прийняти, що $A \approx 2/3$, то $2/A - 2 \approx 1$ і

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

Таким чином, при збереженні геометричної подібності із збільшенням масштабу апарату умова $Q/V = const$ буде виконано, якщо число обертів мішалки буде зростати пропорційно збільшенню її діаметра. Можна довести, що критерій Рейнольдса повинен в цьому випадку зростати відповідно до залежності

$$\frac{Re_2}{Re_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

тобто більш інтенсивно.

Останні рівняння були виведені при допущенні, що в дослідному і реальному апаратах робота проводиться з однією і тією ж рідиною. В іншому випадку в ці рівняння слід ввести додаткові коефіцієнти, що враховують зміни фізичних параметрів рідини.

Великі труднощі виникають при моделюванні теплообміну в разі хімічних процесів, що протікають в реакторі. Вплив перемішування на швидкість цих процесів вивчено поки слабо.

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата				

3 ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛОПАТЕШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА

3.1 Опис конструктивної схеми запропонованого лопатешнекового змішувача

На підставі розгляду існуючих конструкцій змішувачів, проведеного в першому розділі, був запропонований тихохідний змішувач періодично дії. Схема цього змішувача наведена на рисунку 3.1.

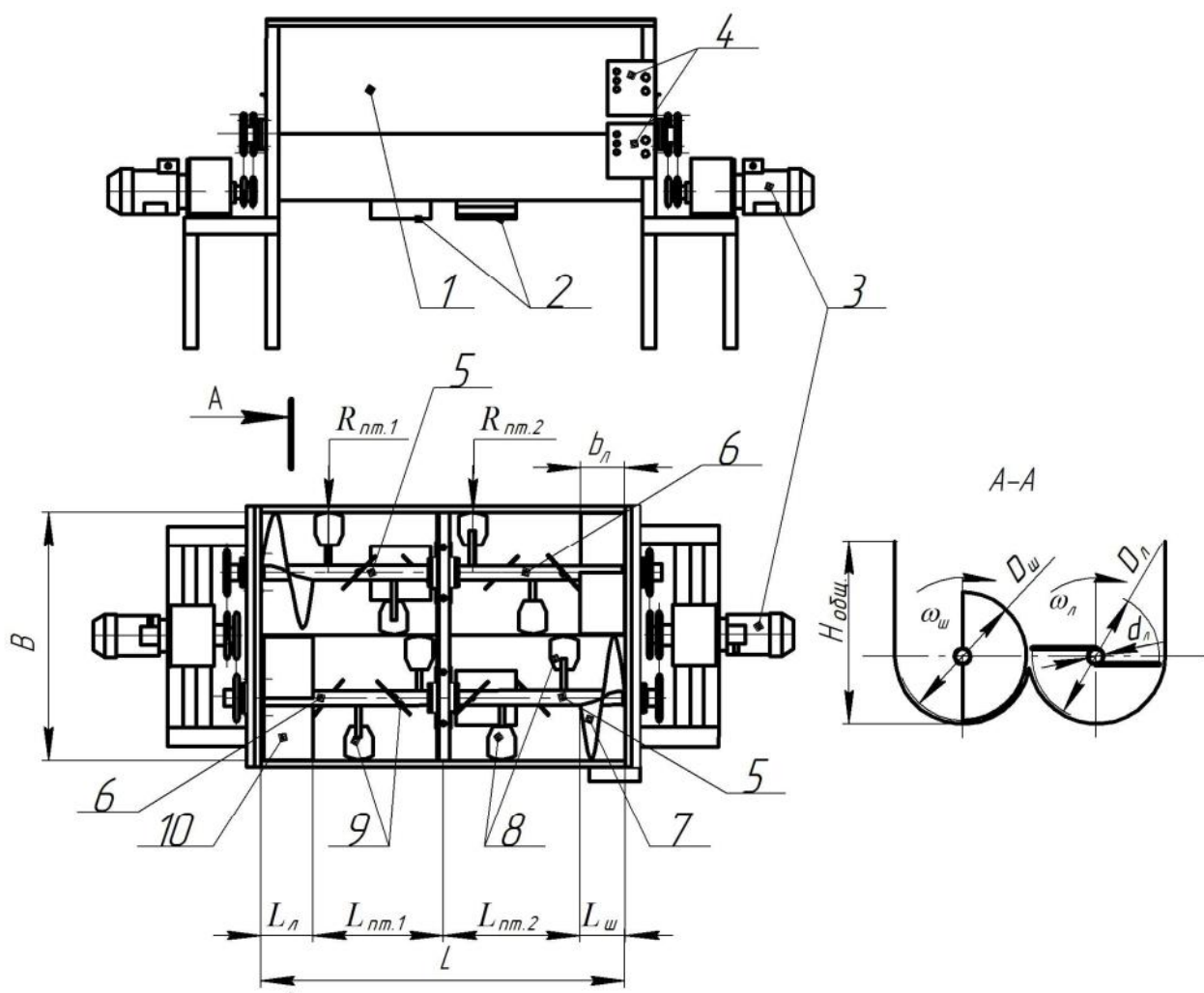


Рисунок 3.1 – Схема лопатешнекового змішувача сумішів

Змішувач складається з корпуса 1 з вивантажними патрубками 2 із заслінками, двох мотор-редукторів 3 з пультами управління мотор-редукторами 4, двох робочих органів, кожен робочий орган складається з частин 5 і 6, що обертаються в протилежні сторони, на робочих органах розміщені ділянки шнекової навивки 7 довжиною $L_{ш}$, що перемішують-

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.

транспортують лопаток 8 і 9 довжиною $L_{шл1}$ і $L_{шл2}$ відповідно і перекидають лопатей 10 довжиною L_l . Перемішувально-транспортувальні лопатки мають можливість повороту щодо осі валу. Загальна висота бункера дорівнює $H_{заг.}$. Радіуси лопастей R_l , що перекидають, шнекової навивки $R_{ш}$, перемішувально-транспортуючих лопаток першої $R_{пт1}$ і другої $R_{пт2}$ частин робочого органу рівні між собою.

Принцип роботи змішувача полягає в наступному. Завантажується суміш у бункер 1. Включаються приводи 3 частин 5 та 6 робочих органів. Під дією шнекової навивки 7 і перемішуюче-транспортуючих лопаток 8 суміш, перемішуючись, рухається до вивантажувального патрубку 2. Обертання частини 5 робочого органу здійснюється в такому напрямку, при якому суміш зміщується до бічної стінки бункера 2. Частина 6 робочого органу обертається проти частини 5 і перемішувально-транспортуючі лопатки 9 перемішують і переміщують суміш до лопатям 10, що перекидають, частково перекидаючи його в зону роботи другого робочого органу. Остаточне перекидання суміші в зону роботи другого робочого органу виконують лопаті, що перекидають 10. Аналогічно, з тим же ефектом змішування, але в протилежному напрямку переміщає суміш другий робочий орган. Після закінчення перемішування відкриваються заслінки патрубків 2 і готова суміш вивантажується через них.

Така конструктивно-технологічна схема змішувача забезпечує організований регламентований рух компонентів суміші та дозволяє знизити питомі витрати енергії та отримати якісну суміш.

3.2 Обґрунтування параметрів лопатешнекового змішувача

3.2.1 Визначення корисного об'єму змішувача

Одним із важливих параметрів змішувача є розмір корпусу та його об'єм. Корисний об'єм змішувача знайдемо з виразу:

$$V_{н.б.} = V_{общ.} \cdot \varphi_p,$$

де φ_p - коефіцієнт, що враховує об'єм робочих органів змішувача;

$$\varphi_p = 1 - \frac{V_{р.о.}}{V_{общ.}},$$

де $V_{р.о.}$ – об'єм, займаний робочими органами змішувача, m^3 .

Загальний об'єм змішувача визначимо як суму обсягів найпростіших геометричних фігур, що становлять бункер (рисунок 3.2). Загальний обсяг змішувача в такому випадку становитиме:

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №						Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата			

до 0,003 м. Для кращого очищення рекомендується встановлювати проміжок у розмірі 0,005...0,012 м. Розмір активного шару Δ визначається конструктивною схемою змішувача.

Об'єм нижньої частини змішувача, який визначається висотою h_1 , знайдемо за виразом:

$$V_1 = 2L \left(\frac{\pi(r+2\delta)^2}{360} \chi - h_2 \cdot (r+2\delta) \cdot \sin \frac{\chi}{2} \right), \text{ м}^3$$

де χ - центральний кут, град.

$$\chi = 2 \arccos \frac{h_2}{(r+\delta)}$$

Об'єм середньої частини змішувача в залежності від h^2 :

$$V_2 = 2L \left(\frac{\pi(r+2\delta)^2}{360} (180 - \chi) + h_2 \cdot (r+2\delta) \cdot \sin \frac{\chi}{2} \right), \text{ м}^3$$

Об'єм верхньої частини змішувача в залежності від h_3 :

$$V_3 = Lh_3B, \text{ м}^3$$

де $h_3 = r + \Delta_6$ - відстань від кінця заокруглення до верхнього рівня суміші, м;

Δ_6 - перевищення суміші над робочими органами, м;

Після підстановки в перший вираз отриманих рівнянь та перетворень отримаємо:

$$V_{n.б.} = L\varphi_p \cdot \left[2 \left(\frac{\pi(r+2\delta)^2}{360} \chi + \left(\frac{\pi(r+2\delta)^2}{360} (180 - \chi) \right) + h_3(4r + 2\delta + \Delta) \right) \right], \text{ м}^3$$

Корисний об'єм корпусу при коефіцієнтах заповнення корпусу від 0,3 до 0,5 з урахуванням об'єму, займаного робочими органами, перебуває в межах від 0,21 до 0,31 м³ при довжині бункера рівної - 1,5 м, ширині - 1 м та висоті - 0,75 м.

Для визначення середньої висоти суміші в корпусі в залежності від коефіцієнта наповнення, за числовими значеннями, знайденими в програмі "Компас 3D V16", з подальшою обробкою "Excel 2016", були отримані вирази:

- при $\varphi_n^i \leq 0,45$

$$h_i = -6,664(\varphi_n^i)^4 + 7,649(\varphi_n^i)^3 - 3,192(\varphi_n^i)^2 + 1,045(\varphi_n^i) + 0,007$$

- при $\varphi_n^i > 0,45$

$$h_i = 0,45\varphi_n^i + 0,0528$$

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	Арк.

Залежність висоти шару суміші в залежності від коефіцієнта наповнення

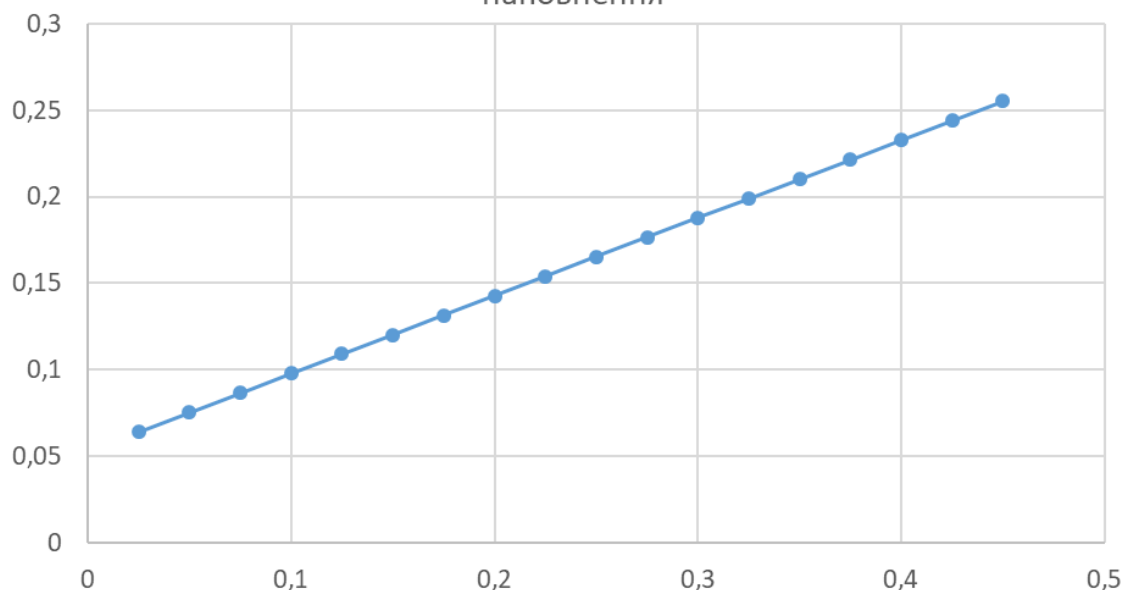


Рисунок 3.3 – Графік залежності висоти шару суміші в залежності від коефіцієнта наповнення

Отже, при зміні коефіцієнта наповнення від 0,3 до 0,5 середня висота суміші в корпусі буде в межах від 0,18 до 0,28 м при заданих габаритах корпусу.

3.2.2 Обґрунтування конструктивних параметрів шнекової ділянки

Шнекова навивка (рисунок 3.4) має забезпечувати інтенсивне переміщення маси суміші без її зависання. Діаметр валу шнека $d_{ш}$ приймають зазвичай рівним 10% від діаметра $D_{ш}$ навивки, а крок навивки $S_{ш}$ дорівнює половині або $\frac{1}{4}$ діаметра $D_{ш}$ навивки шнека

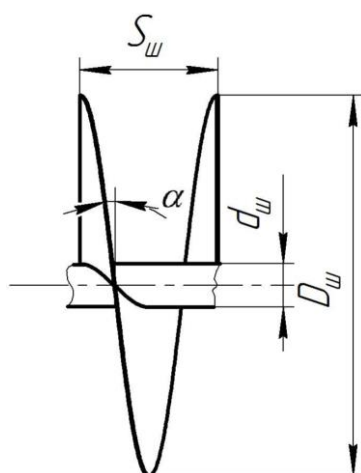


Рисунок 3.4 - Схема шнекової ділянки

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.

Кут підйому гвинтової лінії α пов'язаний з кроком шнека та діаметром виразом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S_u}{\pi D_u}$$

де S_u - крок витків шнека, м;

D_u – зовнішній діаметр шнека, м.

При найвигіднішому куті підйому гвинтових ліній забезпечуються максимальні осьова швидкість та продуктивність при горизонтальному розташуванні шнека:

$$\alpha_s = 45^\circ - \frac{\varphi_0}{2},$$

де α_s - найвигідніший кут підйому гвинтової лінії, град.;

φ_0 – кут внутрішнього тертя суміші.

Критичний радіус встановлює межу ділянки, де частинки матеріалу набувають кутової швидкості шнека та їх осьове зміщення припиняється.

Для горизонтального конвеєра:

$$r_{кр} = \frac{g(\operatorname{tg}(\alpha_s + \varphi_0) + 1)}{\omega_u^2 \sqrt{1 + f^2 \operatorname{tg}(\alpha_s + \varphi_0)}}$$

де $r_{кр}$ – критичний радіус, м;

ω_u - кутова швидкість шнека, с^{-1}

f – коефіцієнт тертя суміші об стінку змішувача.

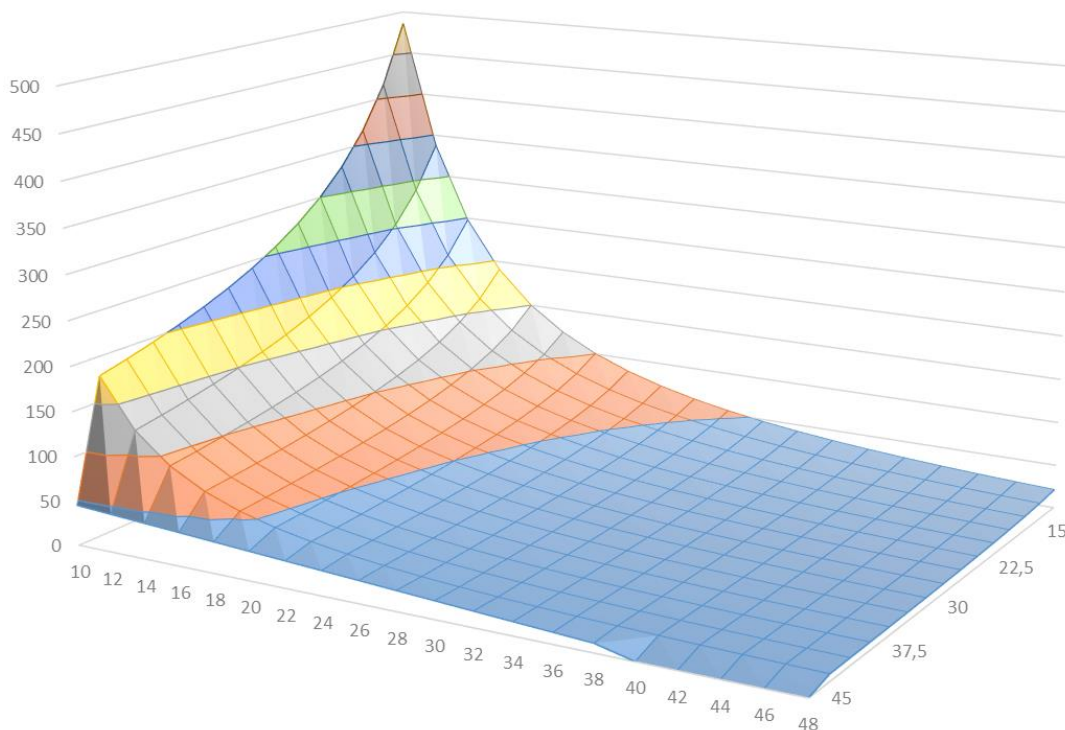


Рисунок 3.5 – Залежність критичного радіусу шнека від частоти обертання та найвигіднішого кута підйому гвинтової лінії

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.

3.2.3 Обґрунтування конструктивних параметрів ділянок змішувальних лопатей

У лопатевому змішувачі реалізація процесу змішування відбувається в основному за рахунок перерозподілу частинок та під дією робочих органів.

Форма робочих органів лопатевих змішувачів дуже різноманітна. За її допомогою можна значно підвищити інтенсивність змішування. Форма залежить багато в чому від властивостей матеріалів, що змішуються. Для більшості видів сипкого і навіть в'язкого матеріалу найбільш раціональними та простими у виготовленні є робочі органи, виконані у вигляді плоских прямокутних пластин (рисунок 3.6).

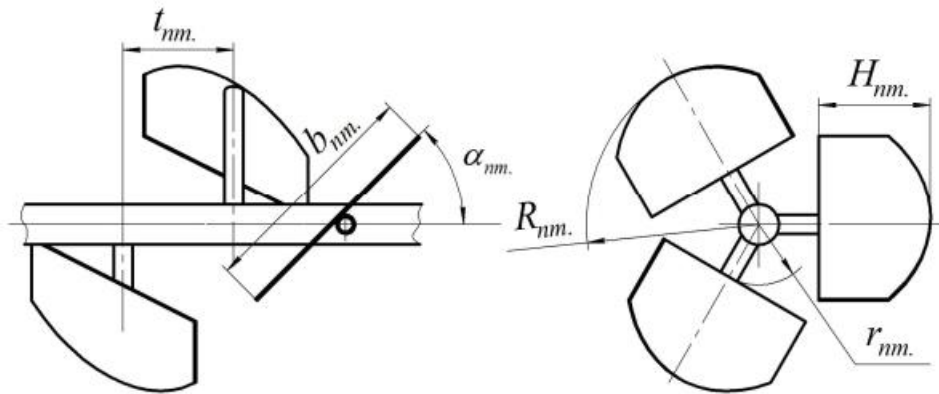


Рисунок 3.6 - Схема ділянок змішувальних лопатей

Розташування лопат на валу може бути або по одній гвинтовій лінії, або по двох паралельних гвинтових лініях. Для інтенсифікації процесу вигідно використовувати якомога більше лопатей для максимального переміщення частинок всередині змішувача. Але їхня велика кількість призведе до значного збільшення металомісткості, що вплине на вартість виготовлення, ускладнить обслуговування та ремонт. Розташування лопатей у ряду може бути однаковим або різним, за рахунок чого в лопатевих змішувачах можлива організація потоків частинок у ряду з різною швидкістю. Для виключення концентрації матеріалу у певних зонах змішувача рекомендується використовувати лопаті з однаковими кутами повороту, крім крайніх рядів, де кут повороту лопатей повинен відрізнятися від інших.

Число лопатей у ряді має бути таким, щоб у момент виходу однієї лопаті з шару сипучого матеріалу час до входження іншої лопаті було мінімальним. В іншому випадку відбувається значна періодична зміна навантаження на двигун. При збільшенні коефіцієнта заповнення камери змішування від 0,3 до 0,65 час перепаду навантаження на вал також зменшується.

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№
-----------	---------------	-----------

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	Арк.
-----	-------	------	-------	-------	------	------

Висоту лопатки H_{nm} (рисунок 3.6) визначають із співвідношення:

$$2b_{nm}^{\min} > H_{nm} > \frac{b_{nm}^{\min}}{2},$$

де b_{nm}^{\min} - мінімальна ширина лопатки з усіх, що використовуються в змішувачі, м;
 H_{nm} - висота лопаті, м.

Висота має бути більше половини ширини лопаті з умови утворення "застійної" області перед нею. Внаслідок збільшення кута повороту лопаті спостерігається утворення «застійної» області перед лопаттю необхідної для максимального переміщення частинок. Приймати значення висоти лопаті більше, ніж три ширини лопаті, недоцільно з погляду міцності. Деміним О.В. експериментально встановлено, що з $H_{nm} > 2b_{nm}$ помітного збільшення переходів частинок із зони впливу лопаті в сусідні ряди не спостерігається.

Ширина лопаті може бути визначена за формулою:

$$b_{nm,i} = \frac{t_{nm,i}}{\cos \alpha_{nm,i}},$$

де $b_{nm,i}$ - ширина лопатки на i -му ділянці, м;

$t_{nm,i}$ - крок лопаток по довжині змішувача на i -му ділянці, м;

$\alpha_{nm,i}$ - кут повороту лопатки щодо осі валу i -му ділянці, град.

За умови відсутності мертвих зон при обертанні робочих органів та однаковому просторовому розташуванні лопатей у всіх рядах робочих органів крім крайніх, крок лопатей дорівнює ширині захоплення лопатей у ряду.

Варто відзначити, що висота лопатки визначається рівнем суміші на ділянці, що у свою чергу залежить від ряду факторів: коефіцієнта наповнення,

кутів установки лопаток, співвідношення частот обертання робочих органів. У такому випадку задатися яким-небудь конкретним значенням висоти лопатки оптимальним для всіх режимів роботи змішувача неможливо.

3.2.4 Обґрунтування конструктивних параметрів ділянки перекидних лопатей

Основне призначення ділянки перекидних лопатей - переміщення суміші на другий робочий орган, в такому випадку лопаті повинні бути паралельні осі валу. Для підвищення ефективності роботи лопаті вона має бути суцільного перерізу. Ширина b_l лопаті (рисунок 3.7) повинна забезпечувати перекидання суміші, виключаючи її пресування біля торцевої стінки корпусу:

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ор.	

										Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата					

$$b_n \geq \frac{v_o}{n_l z_l}, \text{ М}$$

де v_o - осьова швидкість суміші при сході з перемішувально-транспортувальної лопаті, м/с;

n_l - частота обертання лопатей, с^{-1} ;

z_l - число перекидних лопатей в поперечному перерізі, шт.

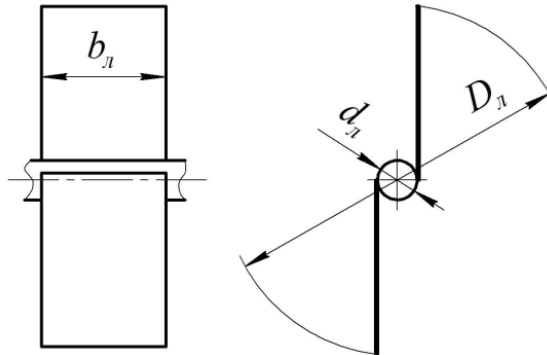


Рисунок 3.7 – Схема лопатевої ділянки

Осьову швидкість можна визначити за виразом:

$$v_o = k_\theta \cdot k_n \cdot \omega_{nm.2} \cdot \frac{t_{nm.2}}{2\pi}$$

де k_θ - коефіцієнт повернення суміші, внаслідок перемішування, що дорівнює 0,68...0,75;

k_n - коефіцієнт перервності гвинтової поверхні;

$\omega_{nm.2}$ - кутова швидкість другої ділянки лопаток, с^{-1}

$t_{nm.2}$ - крок перемішувально-транспортувальних лопатей на другій ділянці, м.

$$k_n = \frac{b_{nm.2} \cos \alpha \cdot \cos \beta}{2\pi R_{nm.2}}$$

3.2.5 Обґрунтування частоти обертання робочого органу

Для інтенсифікації процесу змішування необхідно забезпечити перекидання сухих компонентів із одного робочого органу на інший. Це можливо тільки за певних значеннях частоти обертання робочого органу, вуглі повороту лопаті та висоті суміші на ділянці. Сировинні компоненти пересипаються як під дією сили тяжіння, так і під дією відцентрових сил, забезпечуючи цим мінімальні енергетичні витрати. Розглянемо схему сил, що діють на частинку, розташовану на лопатці (рисунок 3.8) у поперечному перерізі.

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	

На частку діють сили - тертя F_{TP} , тяжіння G_T і відцентрова $F_{Ц}$. Частка притискатиметься нормальною складовою сили тяжіння до лопатки, яка викличе появу сили тертя, що перешкоджає переміщенню частинки під дією відцентрової сили. Друга складова сили тяжіння буде прагнути змістити частинку за найкоротшим напрямом по поверхні лопаті вниз.

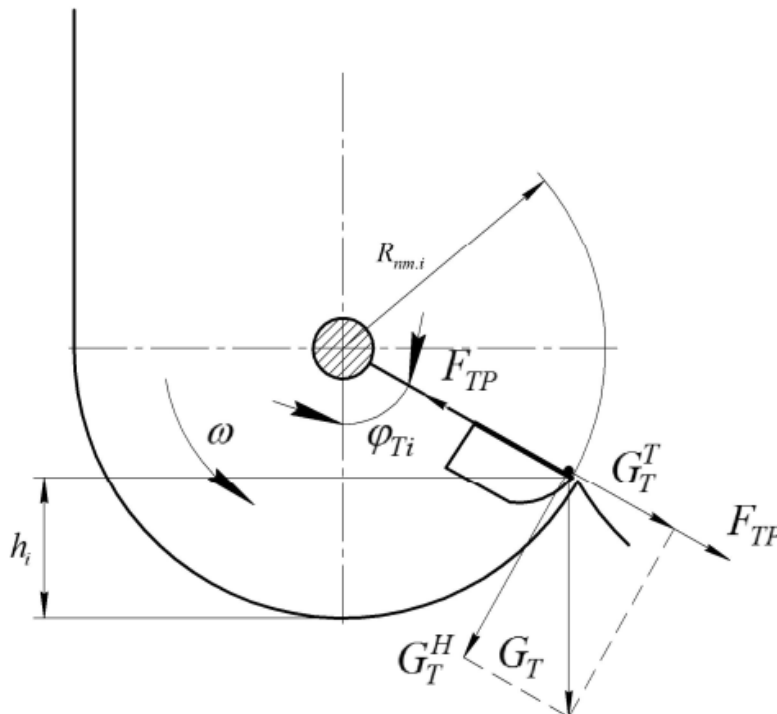


Рисунок 3.8 – Схема сил, що діють на частку при знаходженні її на поверхні перемішувально-транспортуючої лопаті.

Співвідношення величин відцентрової сили та сил тяжіння та тертя, залежно від конкретного положення лопаті та кута її повороту, буде визначальним при переміщенні частинки. Для визначення цієї залежності запишемо рівняння рівноваги частки на похилій площині:

$$F_{TP} + G_T \cos \varphi_{Ti} = F_{Ц}$$

або

$$\omega^2 R_{nm,i} + mg \cos \varphi_{Ti} = fmg \sin \varphi_{Ti}$$

де

$$F_{TP} = fG_T^H \text{ - сила тертя;}$$

φ_{Ti} - кут повороту лопатки в i -ий момент часу щодо вертикальної осі;

$$G_T = mg \text{ - сила тяжіння;}$$

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	Арк.

$G_T^T = mg \cos \varphi_{Ti}$ - проекція сили тяжіння;

$G_T^H = mg \sin \varphi_{Ti}$ - нормальна складова сили тяжіння;

$F_{Ц} = \omega^2 R_{nm.i}$ - відцентрова сила.

Після перетворень отримаємо вираз визначення теоретичної критичної частоти обертання робочих органів, що забезпечує перекидання суміші на другий робочий орган, залежно від кута повороту лопатки:

$$n_{к.р.} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(f \sin \varphi_{Ti} \mp \cos \varphi_{Ti})}{r}}$$

Перекидання відбувається у разі, коли лопатка виходить із суміші. Висота суміші на ділянці пов'язана з кутом повороту лопатки виразом:

$$\cos \varphi_{Ti} = 1 - \frac{h_i}{R_{nm.i}}$$

Після підстановки отримаємо:

$$n_{к.р.} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \left(f \sqrt{\frac{h_i}{R_{nm.i}} \left(2 - \frac{h_i}{R_{nm.i}} \right)} \mp \left(1 - \frac{h_i}{R_{nm.i}} \right) \right)}{r}}$$

Висота h_i може бути визначена залежно від коефіцієнта наповнення за вище наведеними виразами.

Для більш ефективного перекидання компонентів суміші дійсна частота обертання робочого органу повинна бути вищою від теоретичної критичної частоти обертання. Цей вираз отримано без урахування нерівномірності рівня суміші в бункері при різних коефіцієнтах наповнення, кута нахилу лопатки щодо осі валу та опору суміші, що знаходиться на сусідньому робочому органі. Фактична частота обертання робочих органів для ефективного забезпечення перемішування суміші в лопатешнековому змішувачі визначиться виразом:

$$n_{р.о.} = n_{кр.} \cdot k_{р.о.}$$

де $n_{кр.}$ - теоретичне критичне значення частоти обертання робочого органу, $хв^{-1}$;

$k_{р.о.}$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність рівня суміші в корпусі при різних коефіцієнтах наповнення, кут нахилу лопатки та опір суміші, що знаходиться на сусідньому робочому органі.

Максимально допустима частота обертання робочих органів обмежується виразом:

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	

$$n_{\max} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R_{\text{mm1}}}}$$

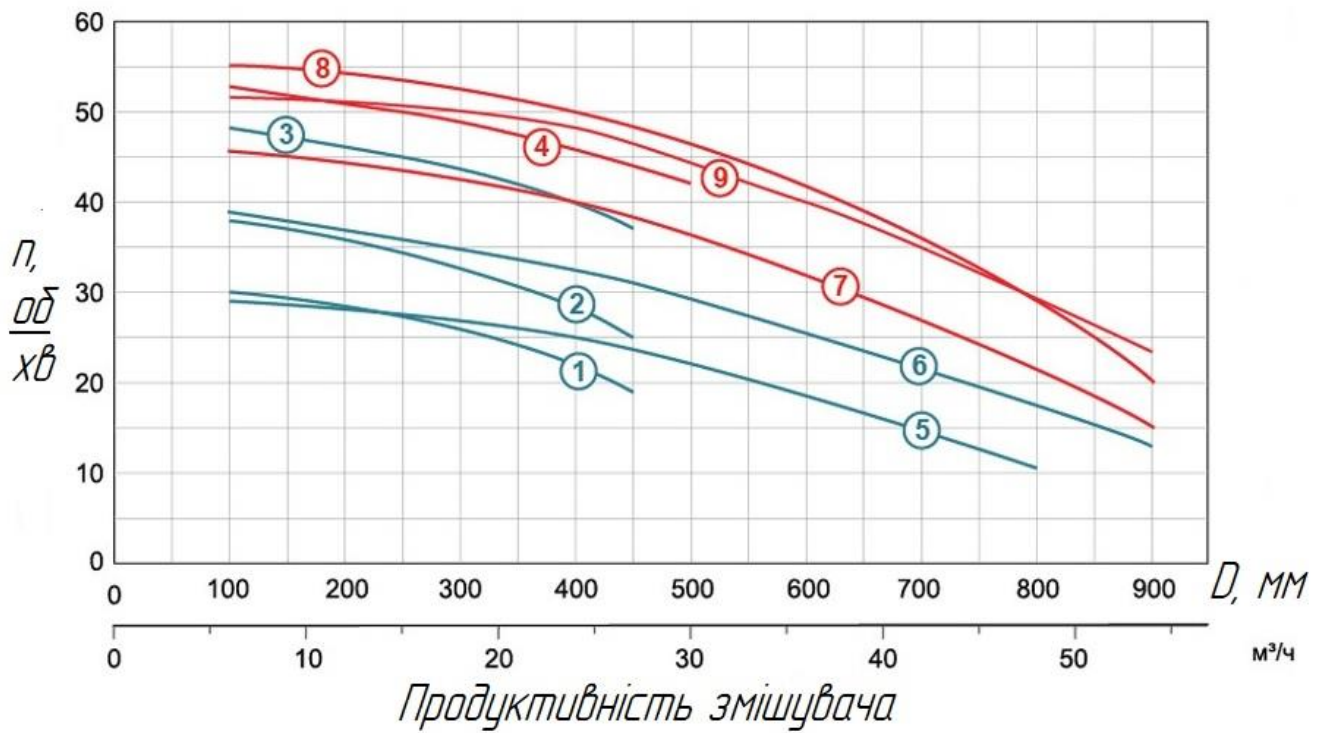


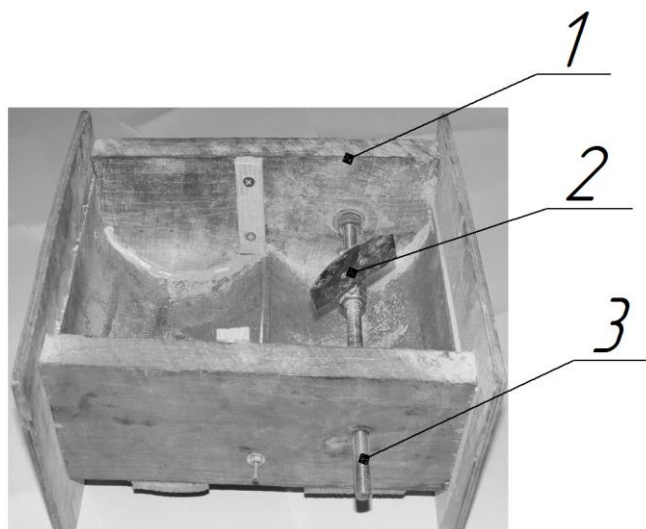
Рисунок 3.9 – Залежність допустимої найбільшої частоти обертання змішувального вала від діаметра шнека та об'ємної продуктивності

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк. № док	Підп.	Дата

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Методика визначення питомого опору переміщенню лопатки та лопаті

У ході теоретичних досліджень було встановлено, що для розрахунку споживаної потужності необхідно знати величину питомого опору переміщення лопатки та лопаті, яке залежить від форми та розмірів лопаті, а також висоти шару суміші в бункері змішувача. Для його експериментального визначення було розроблено лабораторну установку та методику.



1 – бункер; 2 – вал; 3 - лопатка

Рисунок 4.1 – Лабораторна установка для визначення питомого опору переміщенню лопатки та лопаті

Лабораторна установка представлена на рисунку 4.1. Вона складається з бункера 1, розташованого всередині нього на підшипниках вала 2, на якому може кріпитися лопатка 3 або лопатку. До вихідного кінця вала установки приєднувалася пластина з отворами. За отвори в пластині кріпився електронний безмін, зі зростанням коефіцієнта наповнення бункера збільшувався важіль дії. За важіль проводилося передача зусилля на лопатку і записувалося максимальне значення журналу.

Питомий опір переміщенню лопатки визначалося при куті установки лопатки 90° і значення коефіцієнта наповнення від 0,1 до 0,8.

Обертання лопатки при виконанні експериментів проводилося "на стінку" та "від стінки". Для визначення питомого опору переміщенню лопаті, що перекидає, на вал встановлювалася лопата. Напрямок обертання лопаті - "від стінки". Досліди проводили із п'ятикратною повторністю.

Досліди проводили в наступній послідовності:

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №						Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	

1. Встановлювали лопатку (лопачь) паралельно осі.
2. Засипали суміш бункер до коефіцієнта наповнення 0,1.
3. Повертали вал на один оберт "від стінки".
4. Записували максимальне значення зусилля до журналу.
5. Розрівнювали матеріал.
6. Повертали вал на один оберт "на стінку".
7. Записували максимальне значення зусилля до журналу.
8. Розрівнювали матеріал.

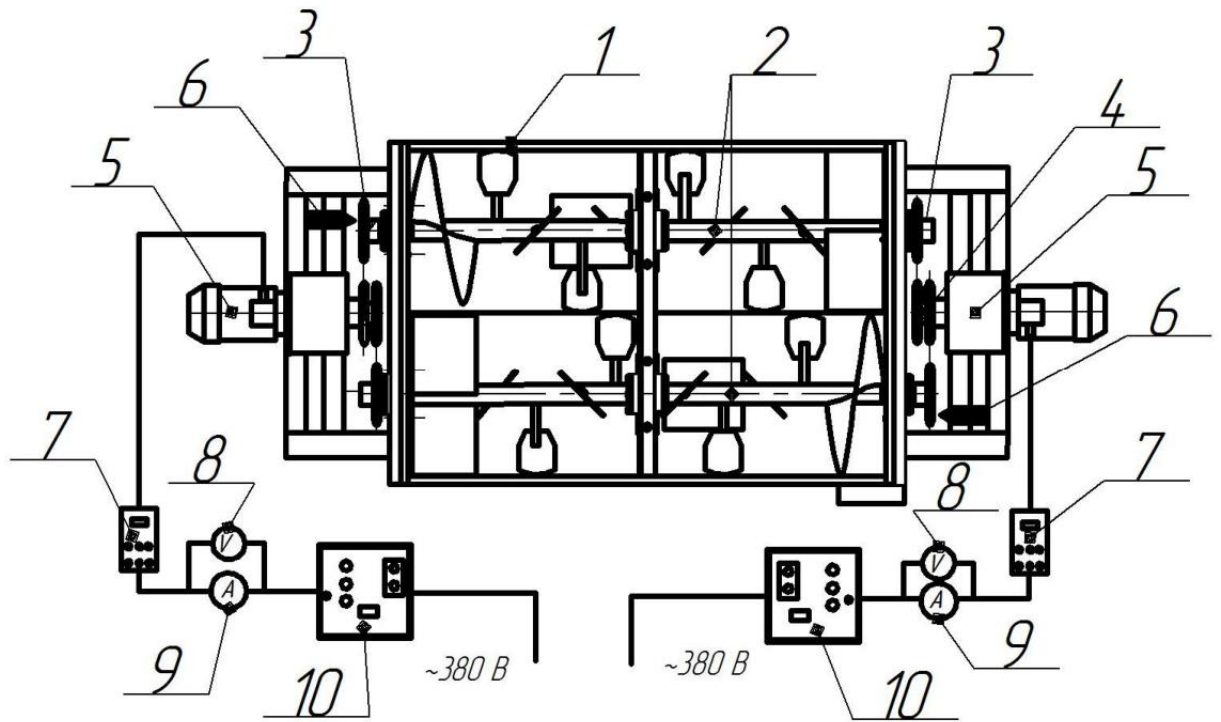
Далі змінювався коефіцієнт наповнення від 0,1 до 0,8 з кроком 0,1 і повторювалися пункти з 3 по 8. При визначенні коефіцієнта питомого опору лопаті виконували лише пункти з 1 по 5 для різних значень коефіцієнта наповнення.

За кінцевий результат набували середнього арифметичного значення в серії з п'яти дослідів.

4.1.1 Методика експериментального дослідження впливу кута установки переміщувально-транспортуючих лопаток на споживану потужність і якість суміші

В ході теоретичних досліджень було встановлено, що одним з факторів, що істотно впливають на питомі витрати енергії процесу змішування і якість суміші, є кут установки лопаток, що перемішують транспортують. З метою зменшення кількості експериментів виконано низку пошукових дослідів, спрямованих на виявлення його раціонального значення. Дослідження проводилися на експериментальній установці, схему якої наведено на рисунку 4.2

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
Зм.	Кільк	Арк. № док	Підп.	Дата			



1 бункер змішувача; 2 – робочі органи; 3 – ведені шестірні; 4 – провідні шестерні; 5 – мотор-редуктор; 6 – тахометр; 7 – частотний перетворювач; 8 – вольтметр; 9 – амперметр; 10 - пульти управління

Рисунок 4.2 – Схема експериментальної установки

Загальний вигляд експериментального зразка лопатешнекового змішувача наведено рисунку 4.3. Він складається з бункера 1 зі стійками, двох приводів 2 і двох лопатешнекових робочих органів, кожен з яких виконаний з двох частин 3 і 4, які обертаються протилежні сторони відносно один одного. На першій частині робочого органу є шнекова навивка 5 (зовнішній діаметр навивки дорівнює 0,5 м, а внутрішній - 0,057м) і переміщувально-транспортувальні лопатки 6, а на другій частині розташовані лопаті, що перекидають 7 (зовнішній діаметр лопаті дорівнює 0,5 м, ширина лопаті дорівнює 0,18 м, а її площа - 0,045 м²) і лопаток 8, що перемішують, транспортують 8. (Зовнішній радіус переміщувально-транспортувальних лопаток 6 і 7 дорівнює 0,25 м, а внутрішній радіус - 0,13 м, ширина , площа - 0,046м²).

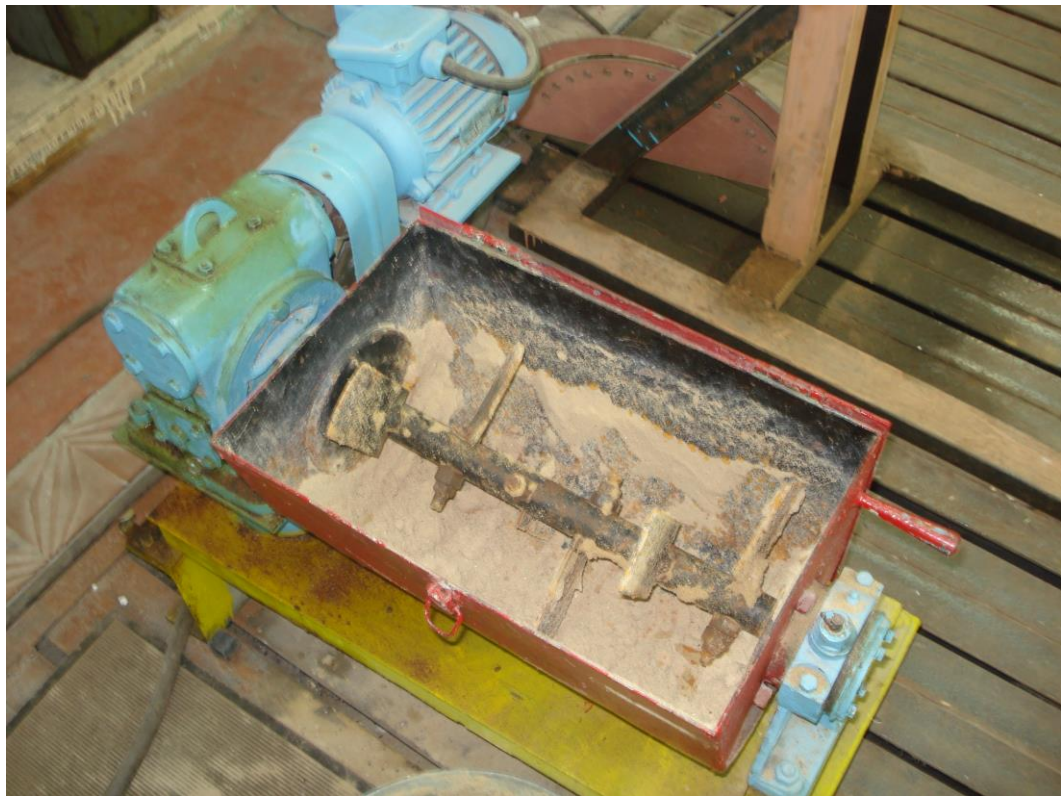
Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.



а)



б)

а - загальний вигляд; б – вид зверху;

Рисунок 3.12 – Експериментальний зразок лопатешнекового змішувача

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.

5 ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

Більшість технологічних процесів по виготовленню сумішей супроводжується шумом. Його джерелом є багато видів основного і допоміжного устаткування: навантажувач суміші, змішувач, транспортне і перевантажувальне обладнання, системи очищення повітря тощо.

В нашій країні справою особливої важливості являється створення здорових і безпечних умов праці. Тому дуже велику роль в поліпшенні цих умов, зокрема у будівництві, відіграє ефективне використання техніки, застосування сучасних методів ведення будівельно-монтажних робіт, які потребують глибокого інженерного підходу до рішення задач по забезпеченню безпеки праці людей на будівельних майданчиках.

Робота механізмів машин, на жаль, досить небезпечно впливає на людину, тому що часто супроводжується сукупністю шкідливих впливів, таких як шум, запиленість, електрична небезпека. Функціональні порушення, пов'язані з дією цих факторів на машиніста, полягають у можливості втрати життя від ураження електричним струмом, а також погіршенні зору, збільшеній втомлюваності, зміні реакції вестибулярного апарату, головний біль та запаморочення. Дослідження показали, що вплив шуму на організм людини збільшує його енергетичні затрати в результаті чого виникає рання втомлюваність організму, зниження продуктивності праці.

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з певними станами об'єкту, таких, як експлуатація, виготовлення, ремонт, зведемо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Потенційні шкідливі та небезпечні фактори

Фактор	Джерело	Кількісна оцінка	Норматив
Ураження електрич. струмом	Електропривод змішувача	0,6...1,5А 50 Гц	ДСТУ Б.В.2.6-2-95
Шум	Змішувач	80 Дб	ДСТУ 2325-93
Запиленість	Суха суміш, цемент		ДСН 3.3.6.042-99
Недостатня освітленість	Слабкість природнього чи штучного освітлення	2 Лк	ДБН В.2.5-28-2006
Опіки від розбризкування гарячого металу	Газо- або електрозварювання корпусу		ДБН В.1.2-9-2008

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.№	док	Підп.	Дата	

5.2 Загальні рекомендації зі зниження шумів при роботі машини

Проаналізувавши особливості шкідливих факторів наводимо рекомендації зі зниження шумів при роботі машини, а також очікуваний ефект від їх запровадження.

Таблиця 5.2

Рекомендації	Очікуваний ефект
Конструктивні заходи	
Застосування акустичних фільтрів у вигляді неметалевих кілець, встановлених на корпусі підшипників або у вигляді неметалевих корпусів	Зниження рівня звукового тиску на високих та середніх частотах на 17 дБ
Герметизація внутрішніх порожнин	Те ж на 10 дБ
Заміна шарикопідшипників з конусних на шарикопідшипники з латунним кільцем	Те ж на 5 дБ
Технологічні заходи	
Робота на нижній границі жорсткості суміші	Зниження рівня звукового тиску
Застосування звукоізолюючих кожухів, що герметизують пустотні утворення	Те ж на 20...25 дБ
Відділення формувального поста в звукоізольоване приміщення	Усунення джерела шуму
Експлуатаційні заходи	
Своєчасне змащення, підтяжка болтових з'єднань, заміна підшипників	Стримування збільшення шуму в процесі експлуатації

5.3 Розрахунок заземлення

В електроустановках з напругою до 1000 В з ізоляцією, згідно «Правил експлуатації електрообладнання» опір заземлення повинен бути не більше 4 Ом.

Заземлення складається із заземлювача, заземлювального проводу, що з'єднує електродвигун з заземлювачем.

Заземлювач приймаємо із прокатної сталі кутового профілю 75×75 еквівалентного діаметру:

$$d_{\text{екв}} = 0,95 \cdot 0,75 = 7,12 \text{ см.}$$

Довжина заземлювача $L=300$ см.

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№							Арк.
Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата				

Глибина забивки визначається від поверхні землі до середини заземлення :

$$h = \frac{L}{2} + 70 = \frac{300}{2} + 70 = 220 \text{ см.}$$

де 70 - відстань від поверхні землі до кінця заземлювача.

Для з'єднання заземлювача приймаємо полосу сталі шириною 30мм і товщиною 4 мм.

Значення питомого опору ґрунту:

$$\rho = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом/см}^2.$$

Визначення опору розсіювання струму:

$$\begin{aligned} R_p &= 0,366 \cdot \frac{\rho}{l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{N_{\text{екв}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot h + l}{4 \cdot h - l} \right) \\ &= 0,366 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^4}{300} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 300}{7,12} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 220 + 300}{4 \cdot 220 - 300} \right) = 38,25 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Визначення кількості заземлювачів:

$$n = \frac{R_p \cdot k_c}{R_3 \cdot \eta};$$

де R_p – опір прийнятого заземлення;

k_c - коефіцієнт сезонності;

η - коефіцієнт користування.

$$n = \frac{38,25 \cdot 1,75}{4 \cdot 0,6} = 28.$$

Довжина полоси заземлення, згідно планування:

$$L_n = 16 \text{ м.}$$

Відстань між заземлювачами:

$$Q = \frac{L_n}{1,05 \cdot n} = \frac{16000}{1,05 \cdot 28} = 545 \text{ мм.}$$

Опір перерізу струму в полосі з'єднання:

$$k_{\pi} = 0,366 \cdot \frac{\rho}{L_n} \cdot \ln \cdot \left(2 \cdot \frac{L_n}{b \cdot h} \cdot \frac{1}{r} \right),$$

де r - коефіцієнт використання полоси;

$b \cdot h$ - площа перерізу полоси.

$$k_{\pi} = 0,366 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^4}{16000} \cdot \ln \cdot \left(2 \cdot \frac{16000}{0,4 \cdot 30} \cdot \frac{1}{0,31} \right) = 3,1 \text{ Ом;}$$

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	

Підсумковий опір:

$$R = \frac{R_p \cdot R_n}{R_p + R_n} = \frac{38,25 \cdot 3,1}{38,25 + 3,1} = 2,86 \text{ Ом};$$

$$2,86 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом} .$$

На рисунку 5.1 наведена схема занурення елементів заземлення, а на рисунку 5.2 – схема розташування елементів заземлення в плані.

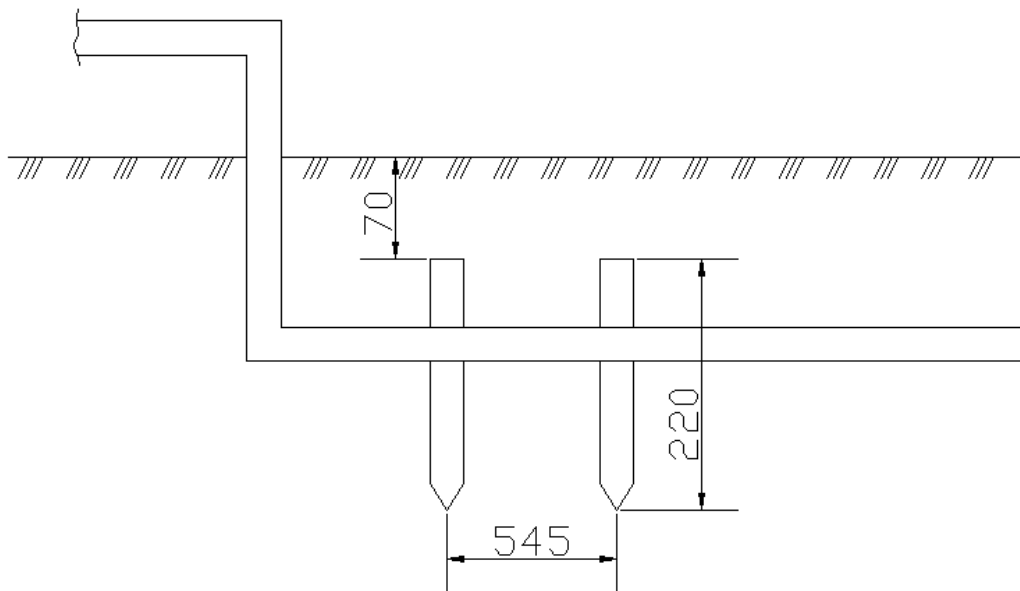


Рисунок 5.1 – Схема занурення елементів заземлення

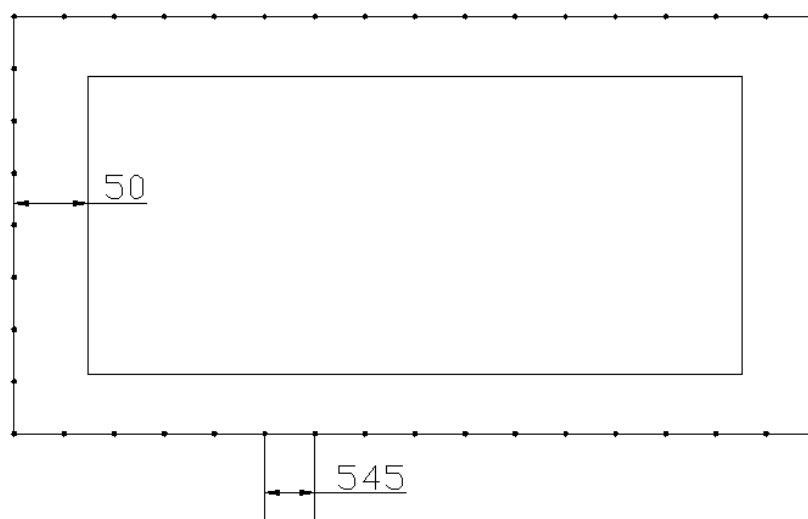


Рисунок 5.2 – Схема розташування елементів заземлення в плані

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №

Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата

Арк.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Назаренко І.І. Машины для виробництва будівельних матеріалів. – К.: Либідь, 1999. – 386 с.
2. Назаренко І.І., Туманська О.В. Машины і устаткування підприємств будівельних матеріалів: Конструкції та особливості експлуатації. – К.: Вища школа, 2004. – 590 с.
3. Канторович З.Б. Машины химической промышленности: Учебное пособие [Текст] – М.: Машиностроение, 1965. – 415 с.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. – 10-е изд., стереотипное, доработанное [Текст] – М.: ООО ТИД "Альянс", 2004. – 753 с.
5. Макаров Ю.И. Разработка, исследование и расчёт машин и аппаратов химических производств [Текст] / Ю.И. Макаров, А.Г. Квак – М.: МИХМ, 1984. 187 с.
6. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: Пер. с польск. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
7. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций [Текст] / В. А. Бауман, Б. В. Клушанцев, В.Д. Мартынов – М.: Машиностроение, 1981– 324 с.
8. Бауман В.А. Применение принципа подобия при исследовании барабанов бетономешалок // Исследование машин и механизмов для строительных и дорожных работ. – М.: Машгиз, 1950. – 284 с.
9. Богомолов А.А., Бунин М.В. К построению модели скоростного процесса смешивания // Тез. докл. Всесоюзн. конф. "Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении". – Ч. 6. – БТИСМ им. И.А. Гришманова, Белгород, 1989. – С. 70-71.
10. Дж.М. Оттино. Перемешивание жидкостей // В мире науки. – 1989. – №3. – С. 34-44.
11. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебн. для вузов. – М.: Химия, 1995. – Ч. 1: Теоретические основы процессов химической технологии. – 400 с.

Інв.№ ор.	Підпис і дата	Зам.інв.№							Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	Дата	

12. Маслов А.Г., Саленко Ю.С. Исследование взаимодействия лопатки бетоносмесителя принудительного действия с цементобетонной смесью // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 2(37). Ч. 1. – С. 20-23.
13. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками: Пер. с польск. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
14. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности: Пер. с чешск. – Л.: Госхимиздат, 1963. – 417 с.
15. Демин О.В. Анализ работы различных видов смесителей сыпучих материалов периодического действия [Текст] // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. – Вып. 8. – с. 109-114.
16. Старчик Ю.Ю., Методика нахождения скорости движения частиц и описание процесса смешивания двухкомпонентной смеси в планетарном смесителе [Текст] / Старчик Ю.Ю., Анциферов С.И. // Строительные и дорожные машины., 2017 № – 10.
17. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности / Сиденко П. М. – М. : Стройиздат, 1968. – С. 22 - 43.
18. Горшков, П.С. Новые способы комплексного снижения энергетических затрат при получении сухих строительных цементных смесей [Текст] / П.С. Горшков, Н.П. Несмеянов, // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. - №2. – С. 49
19. Ильевич А. П. Машины и оборудование для заводов по производству керамики и огнеупоров / Ильевич А. П. – М. : Машиностроение, 1968. – С. 28 - 55.
20. Телешев А. В. Производство сухих строительных смесей: критерий выбора смесителя / Телешев А. В., Сапожников В. А. - М. : Стройиздат, 1999. – 121 с.
21. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности: Пер. с чешск. – Л.: Госхимиздат, 1963. – 417 с.
22. Першин, В.Ф. Расчет барабанного смесителя с упорядоченной загрузкой компонентов / В.Ф. Першин, Ю.Т. Селиванов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - Москва, 2002. № 2. С. 12 - 14
23. Усов Б.А. Технология сухих строительных смесей – многоступенчатая безводная активация компонентов при их производстве: Статья [Электронный ресурс] – Строймеханика URL:<http://www.stroymehnika.ru>

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №						Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	Підп.	

24. Auger F., Power Requirement for Mixing Shear-Thinning Fluids with a Planetary Mixer // Chemical Engineering and Technology. 2015, №9 pp. 1543-1549
25. Beitzel I., Assessment and classification of performance mixers // Materials and Structures, 2003, №5, pp 250-264
26. Paul E., Atiemo-Obeng V., Kresta S., Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice., 2003. P.1448
27. Swain, M.J. Color Indexing / M.J. Swain, D.H. Ballard // International journal of computer vision. - 1991. - Vol. 7, № 1. - P. 11-32

Інв. № ор.	Підпис і дата	Зам. інв. №					Арк.
			Зм.	Кільк	Арк.	№ док	