

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

**Удосконалення технічного забезпечення процесу
приготування комбікорму**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-2-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Похилинський Андрій Станіславович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«12» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Похилинському Андрію Станіславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технічного забезпечення процесу приготування комбікорму

керівник роботи: Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«12» листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 16.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбікорму. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання і завдання дослідження. 2. Теоретичне обґрунтування основних параметрів вібраційного змішувача. 3. Експериментальні дослідження вібраційного змішувача. 4. Охорона праці. 5. Економічне обґрунтування розробленого змішувача комбікормів. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 26.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2024 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2024 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2024р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2024 р.	
5	Економічний	до 26.11.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2024р.	

Студент

(підпис)

Похилинський А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Івлєв В.В.

(прізвище та ініціали)

Похилинський А.С. Удосконалення технічного забезпечення процесу приготування комбікорму/Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Вступна частина дипломної роботи містить обґрунтування актуальності теми, сформульовані мета та задачі, приведено методи досліджень. В першому розділі приведений огляд технічних засобів для змішування комбікормів, основні напрямки теоретичних досліджень процесу та виконано їх аналіз. Другий розділ включає в себе питання теоретичного обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційного змішувача. Третій розділ присвячено розробці програми та методики експериментальних досліджень та аналізу їх результатів. Проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці. Виконано економічне обґрунтування розробки. Зроблені висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: комбікорм, змішування, вібрація, сипучі корми.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Загальні поняття про сипучі кормові суміші і пропоновані до них вимоги	10
1.2 Фізико-механічні властивості сипучих компонентів і їх вплив на якість одержуваної суміші	12
1.3 Основні вимоги до змішувачів кормів	17
1.4 Вібраційний вплив на змішуванні матеріали	19
1.5 Аналіз принципів конструкцій вібраційних змішувачів	21
1.6 Висновки	28
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО ЗМІШУВАЧА	29
2.1 Вибір математичної моделі вільного шару сипучого матеріалу при вібраціях	29
2.2 Теоретичний опис процесу змішування сипучих кормів за допомогою перемішуючих елементів конічної форми	30
2.2.1 Перехід матеріальної частинки з плоскої поверхні на конічну	32
2.2.2 Рух матеріальної частинки по конічній поверхні перемішуючого елемента	36
2.3 Обґрунтування основних параметрів конічних поверхонь віброконтакту	41
2.4 Теоретичні дослідження руху частинок по конічним поверхням віброконтакту	42

2.4.1	Вплив амплітуди коливань жолоба на характер руху частинок	43
2.4.2	Вплив частоти коливань жолоба на характер руху частинок	45
2.4.3	Аналіз теоретичних досліджень руху частинок по кінцевих поверхнях	48
2.5	Висновки	49
3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ЗМІШУВАЧА	50
3.1	Загальні положення	50
3.2	Обладнання для проведення експериментальних досліджень	50
3.3	Планування експерименту	53
3.4	Результати експериментальних досліджень	54
3.5	Висновки	58
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1	Загальні вимоги охорони праці при роботі в комбікормових цехах	59
4.2	Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі в комбікормових цехах	60
4.3	Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	63
4.4	Висновки	64
5	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ЗМІШУВАЧА КОМБІКОРМІВ	65
5.1	Вихідні дані	65
5.2	Розрахунок показників економічної ефективності	66
5.3	Висновки	67
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
	БІБЛІОГРАФІЯ	69

Вступ

Актуальність теми. Науковими дослідженнями і практикою доведено, що в комбікормах закладені більші резерви підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин і птиці. Згодовування зернофуражу у вигляді дерті малоефективно і економічно необґрунтовано. Прості кормові суміші з декількох видів зернофуражу, збалансовані за складом, дають значно більший ефект, ніж проста дерть, приготовлена з однієї культури.

Вдалося встановити, що висока якість змішування кормів збільшує приріст тварин до 10 %, а також, що згодовування комбікормів з високим ступенем однорідності дозволяє досягти суттєвої економічної ефективності при відгодівлі тварин.

Промисловістю випускається безліч різних типів і модифікацій серійних змішувачів сипких кормів. Однак, їх застосування в умовах господарств ускладнене з ряду причин: порівняно велика енергоємність та низька якість змішування.

Найбільш раціональним при змішуванні сипучих кормів є застосування вібраційних змішувачів, вони мають знижену витрату електроенергії, високу технологічну ефективність і просту конструкцію. Це підтверджується аналізом ряду наукових робіт.

Мета досліджень - підвищення якості змішування сипучих кормів за рахунок застосування вібраційного змішувача безперервної дії.

Задачі, які вирішувались на етапах дослідження:

- провести аналіз сучасних технологічних процесів та конструкцій змішувачів сипких компонентів при виробництві комбікормів;
- теоретично обґрунтувати оптимальні розміри і кількість конічних поверхонь віброконтакта;
- експериментально обґрунтувати і отримати оптимальні значення конструкційно-технологічні параметрів вібраційного змішувача;
- провести аналіз розробленого змішувача з точки зору охорони праці;

- виконати техніко-економічну оцінку розробленої конструкції вібраційного змішувача.

Об'єкт дослідження - процес змішування сипучих кормів у віброжолобі з перемішуючими елементами, що мають конічні поверхню віброконтакту.

Предмет дослідження - закономірності процесу взаємодії сипучих кормів з робочими органами змішувача.

Методологічна, теоретична та експериментальна база досліджень. Теоретична частина досліджень виконана з використанням закономірностей і методів теоретичної механіки, опору матеріалів та математичного аналізу. Експериментальні дослідження проведені з використанням теорії планування багатофакторного експерименту. Результати оброблялися з допомогою методів математичної статистики і пакета прикладних програм.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні поняття про сипучі кормові суміші і пропоновані до них вимоги

Під назвою "сипуче середовище" розуміється сукупність великої кількості твердих частинок. Інакше кажучи, це механічна система з сипучих матеріалів, крайніми станами якої є повне змішування або повний розподіл часток між собою. При цьому, якщо між частинками є сили взаємного тяжіння, то сипучий матеріал називають зв'язковим, а якщо сили зв'язку між частинками відсутні - ідеальним.

Існує два визначення суміші. Перше має на увазі, що в кожному мінімальному обсязі суміші повинно забезпечуватися розрахункове вагове співвідношення інгредієнтів, які подаються в змішувач з малою поверхнею їх розподілу, а перемішування здійснюється за рахунок ряду послідовних деформацій в напрямку, перпендикулярному поверхні контактів інгредієнтів. Друге визначення передбачає можливим перетворення струменів інгредієнтів в тонкі шари - смуги з наступним накладенням таких шарів один на одного, що в першому наближенні і представляє собою суміш.

Сипучі кормові суміші, в свою чергу, являють собою поєднання частинок різних компонентів корму, внесених в сипку середу в певних пропорціях, і рівномірно розподілених у всьому її обсязі. Завершальною операцією в процесі приготування кормової суміші є змішування, кінцева мета якого - перетворення певного переліку компонентів у кормосуміш з певними властивостями. Для перемішування сипучих продуктів застосовують в основному два способи - гравітаційний і примусовий (механічний).

До сипучим кормових сумішей відносяться, в першу чергу, комбікорми, приготовані в суворій відповідності з рецептурою. До складу комбікорму входить значна кількість компонентів. Їх номенклатура досить широка:

зернові, відходи технічних і борошномельного виробництв, корми тваринного походження, мінеральні та вітамінні добавки.

До зернових компонентів відносяться овес, ячмінь, жито, зерна бобових культур, кукурудза і багато іншого. У комбікормах, що виробляються вітчизняною промисловістю, зерно становить 70-73%, а в кормових сумішах, що готуються в господарських цехах і комплексах, - до 85%.

Зіставлення вмісту не зернових компонентів у вітчизняних комбікормах, порівняно із зарубіжними (США, Німеччина, Франція, Нідерланди), показує, що вони або зовсім не використовуються, або застосовуються в дуже малих кількостях. Частка сухих молочних компонентів не перевищує 1-1,1 %, в той час, як за кордоном, тільки сухої молочної сироватки використовується приблизно в шість разів більше.

Залишки технічних виробництв отримують в основному в процесі добування олії з насіння олійних рослин (соняшник, коноплі, льон, бавовник). Залишки борошномельного виробництва, тобто висівки, борошняний пил, зернова січка і відсів (щупле і бите зерно), особливо цінні в кормо виробництві.

Корми тваринного походження являють собою побічні продукти м'ясокомбінатів і технологічних ліній забою і обробки сільськогосподарської птиці. Все більше поширення одержують м'ясо-кісткове борошно, що містить в одному кілограмі 50 грамів сирого протеїну, м'ясна - 55 грам, пір'яна - 80 грам, кров'яна - 90 грам.

Крім цього, до складу комбікормів може входити рибне борошно, отримане з відходів рибного промислу. В якості мінеральних добавок використовують крейду, кухонну сіль, деревну золу. В раціон птиці включають вапняк, ракушку. Озерний мул є цінною мінеральною добавкою до раціону свиней.

До вітамінних добавок відносяться трав'яна мука, труха, хвоя і спеціальні препарати, виготовлені промисловістю.

За кордоном в якості наповнювача комбікормів використовується жом-до 6 % (в зонах цукрових заводів), меляса - до 7 % (у вітчизняній комбікормовій промисловості відповідно 0,03 і 0,15%). До комбікормів пред'являються певні вимоги.

У наукових працях йдеться про значне збільшення приростів свиней, яким давали комбікорм з постійною однорідністю. При цьому істотно знижується витрата кормів на отримання 1 кг приросту.

Аблаутов В. М. і Комарів Б. А. вдалося встановити, що згодовування комбікормів з високим ступенем однорідності дозволяє досягти суттєвої економічної ефективності при відгодівлі тварин за рахунок збільшення приросту ваги тварин.

1.2 Фізико-механічні властивості сипучих компонентів і їх вплив на якість одержуваної суміші

Властивості сипких матеріалів, на відміну від рідин і твердих тіл, характеризуються рядом показників. Між частинками сипучого матеріалу можуть виникати сили взаємного тяжіння. В цьому випадку сипучий матеріал називають зв'язковим. В ідеально сипучому матеріалі сили зв'язку між частинками відсутні. Нижче розглядаються найбільш важливі властивості сипучих матеріалів, які необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації змішувальних конструкцій.

Гранулометричний склад сипучого середовища характеризує кількісний розподіл складових її частинок відповідно до їх лінійних розмірів по класах (фракціях), тобто показує приналежність частинок до того чи іншого класу. У зв'язку з тим, що частинки компонентів мають, як правило, неправильну форму, за визначальний лінійний розмір приймається умовний діаметр, який розраховується за наступною формулою:

$$d = \frac{a_2 + b_2 + d_2}{3}, \text{ або } d = \sqrt[3]{a_2 + b_2 + d_2}, \quad (1.1)$$

де a_2, b_2, d_2 - відповідно ширина, довжина і висота даної частинки, мм.

Для кожного з компонентів можна знайти d_{\max} і d_{\min} . Відношення розмірів найбільших частинок d_{\max} до розмірів найменших частинок d_{\min} може досягати 10. В кормоприготувальних процесах застосовують сипучі компоненти з розмірами частинок в діапазоні від крупнозернистих до пилоподібних. При цьому необхідно враховувати наступне: чим менше розміри частинок змішуваних компонентів і чим більш вирівняним є їх гранулометричний склад, тим легше отримати задану однорідність суміші. Зі збільшенням відношення $d_{\max/\min}$ якість змішування знижується.

Гранулометричний склад зернових кормів і мінеральних добавок можна визначити за методикою.

Об'ємна, або насипна маса γ ($\text{кг} / \text{м}^3$) сипучого матеріалу — це маса матеріалу, що знаходиться в одиниці займаного ним об'єму. При вільному насипанні визначається як відношення маси корму $M_1(z)$, що знаходиться в мірній посудині, до обсягу V_1 (м^3) цієї посудини, тобто $\gamma = M_1 / V_1$.

Під щільністю насипного середовища розуміється середня щільність складових її твердих частинок. Для її визначення зважують наважку сипучого корму і змішують її з об'ємом рідини, що змазує, але не розчиняє частинки матеріалу. Після цього розраховують обсяг отриманої суспензії:

$$\rho = \frac{G}{V_c - V_{ж}}, \quad (1.2)$$

де G – маса порції, кг.;

V_c - об'єм суспензії, м^3 ;

$V_{ж}$ - об'єм рідини, м^3 .

Зі збільшенням відношення $\rho_{\max} / \rho_{\min}$ якість змішування знижується.

Вологість є одним з найважливіших показників сипучого матеріалу і визначається як відношення маси води до маси вологого матеріалу. У насипних кормах містяться такі різновиди води:

- 1) конституційна, тобто вода хімічно пов'язана з речовиною скелета корму;
- 2) гігроскопічна, тобто вбирається частинками матеріалу з навколишнього повітря;
- 3) зовнішня вода, яка в свою чергу ділиться на плівкову (молекулярну), тобто утворює плівку на поверхні частинок і гравітаційну, що заповнює пори між частинками насипного корму.

Вологість корму, %

$$W = \frac{G_b - G_c}{G_c} \cdot 100, \quad (1.3)$$

де G_b - маса вологого корму, г;

G_c - маса абсолютно сухого корму, г.

Вологість істотно впливає на споживчі та фізико-механічні властивості сипких матеріалів - на коефіцієнти внутрішнього і зовнішнього тертя, схильність до утворення склепінь, текучості, ущільнення, грудкоутворення та ін. Тому, як правило, вологість визначається для всіх вихідних продуктів кормової і комбікормової промисловості та зазначається у відповідних документах. Зміна вологості в межах, регламентованих ДСТУ, на роботі змішувачів не позначається, так як сипучості компонентів змінюється незначно.

Під кутом природного укосу φ розуміється кут, утворений між вільно насипаною поверхнею матеріалу і горизонтальною площиною. Його величина залежить від сил тертя, що виникають при переміщенні частинок сипучого матеріалу відносно один одного, і сил зчеплення між ними. Кут φ визначає

рухливість матеріалу при проходженні по лотках, точках, похилих частинах бункерів і транспортно-технологічним машинам. Чим менше значення кута природного укосу, тим рухливіше матеріал. Рухливі матеріали легко перемішуються, але так само легко в цьому випадку і сепаруються.

Плинність сипучих матеріалів характеризується їх здатність витікати з тією чи іншою швидкістю з посудини через отвір в днищі. Вона залежить від форми і розмірів частинок, коефіцієнта внутрішнього тертя, гранулометричного складу матеріалу, вологості і ряду інших факторів.

Текучість сипучих матеріалів є визначальним фактором багатьох конструктивних і технологічних особливостей обладнання (бункерів, дозуючих пристроїв, змішувачів та ін.) і надійності його роботи. Від неї залежить тривалість періоду заповнення і спорожнення змішувачів.

Текучість характеризується коефіцієнтом текучості, який визначається на спеціальному приладі, а його чисельне значення підраховується за формулою:

$$K = tr^{2,58} / G, \quad (1.4)$$

де t - час витікання сипучого матеріалу з воронки, с;

r - радіус отвору воронки, мм;

G - навішування сипучого матеріалу, засипаного в воронку, г.

Величина K для різних вантажів коливається в широких межах, а відношення $K_{\max} / K_{\min} \approx 7$. Чим менше значення коефіцієнта текучості, тим більш рухливий матеріал, тобто тим швидше навішування впливає з видаткової воронки приладу. Відповідно, чим вище обороти, тим швидше протікає процес змішування, так як потрібні менші зусилля для деформації перемішувати шари, однак так само легко відбувається і зворотний процес — сепарація.

Механічні властивості сипучого середовища в стані спокою і в русі визначаються коефіцієнтами внутрішнього і зовнішнього тертя, а в дещо, крім того, ще й граничною напругою зсуву τ_{np} .

Коефіцієнт тертя f_l насипного матеріалу по твердій поверхні (коефіцієнт зовнішнього тертя) визначається як відношення зрушуючого зусилля до вертикального навантаження:

$$f_l = \tau / G \quad (1.5)$$

Коефіцієнту f_l змінюється в залежності від виду вологості, ступеня подрібнення матеріалу і характеру робочої поверхні. Встановлено, що швидкість руху і питомий тиск не впливають на величину цього коефіцієнта.

У абсолютно сипучих матеріалів $\tau_{np} = 0$, у кормів $\tau_{np} \neq 0$, тому вони здатні переміщуватися тільки під впливом сил.

Схильністю до склепіння характеризується здатність матеріалу зовсім не витікати з отвору бункера, а ущільнюватися настільки, що над вихідним отвором утворюється зведення, при цьому надходження матеріалу з бункера в змішувач припиняється, відбувається так званий обрив матеріалу. Для роботи змішувачів безперервної дії це призводить до порушення процентного вмісту окремих компонентів, яке не може бути згладжено змішувачем.

Адгезія - це властивість сипучих матеріалів прилипати до твердих поверхонь під дією молекулярних, капілярних, електричних або кулонівських сил. Цю властивість слід враховувати при проектуванні технологічного обладнання, в тому числі і змішувачів, так як чим більше зазначені сили, тим гірше робота обладнання.

Встановлено, що з усього різноманіття фізико-механічних властивостей сипучих компонентів кормових сумішей на якість змішування вирішальний вплив мають розміри і щільність частинок суміші. Інші фізико-механічні властивості, що в сукупності визначають собою відносну рухливість частинок суміші, можуть бути суттєво змінені та вплив їх на якість змішування може бути нейтралізовано механічними впливами або повітряним потоком.

Фізико-механічні властивості вироблених комбікормів і складових їх інгредієнтів досить добре вивчені, наведені в спеціальній літературі і додаткової повторної перевірки не вимагають. Вибірка найбільш часто застосовуваних в кормо виробництві сипучих компонентів і їх основні фізико-механічні властивості представлені. Зіставляючи їх властивості з властивостями вантажів інших галузей народного господарства, можна побачити, що вони схожі. Отже, основні закономірності поведінки кормових вантажів на транспортних і технологічних машинах, зокрема в змішувачах, будуть схожі з поведінкою інших вантажів у подібних технологічних умовах. Це дозволяє ряд закономірностей переміщення, дозування і змішування вважати загальними для всіх сипучих матеріалів і на основі цього вести порівняння різних змішувачів і процесів змішування.

1.3 Основні вимоги до змішувачів кормів

Змішувачі кормів відрізняються великою різноманітністю. Всі вимоги, що пред'являються до них в практиці кормоприготування, можна розділити на загально технічні та специфічні.

Загально технічними є всі вимоги, що відносяться до всіх без винятку технологічних машин. Вони полягають у тому, що змішувачі повинні мати малу вагу та габаритні розміри, порівняно малу вартість та малу витрату електроенергії на одиницю готової продукції; бути зручними, надійними і безпечними в роботі; мати малі витрати на ремонт і обслуговування при досить великому міжремонтному періоді. Конструкції змішувачів повинні давати можливість включення в потокові технологічні лінії, допускати регулювання робочих параметрів у широких межах або забезпечувати автоматичну настройку на заданий режим роботи. Крім цього, повинні бути передбачені захист від поломок в разі виникнення непередбачених перешкод, певна ступінь уніфікації і взаємозамінності основних вузлів з вузлами аналогічних машин і ін.

З точки зору специфічних вимог змішувачі не повинні погіршувати якість корму або засмічувати його сторонніми домішками; повинні бути максимально універсальними; якість змішування повинно бути не нижче допустимого. Важливо, щоб змішувачі мали згладжуючу здатністю, тобто здатністю згладжувати нерівномірності в роботі дозаторів.

Крім того, практика часто вимагає наукового пояснення всіх особливостей, переваг і недоліків, разових випадкових відхилень у кращу або гіршу сторону від нормальної роботи. Ще однією вимогою є можливість наукового обґрунтування та здійснення модернізації машини у зв'язку з подальшим вдосконаленням всього технологічного процесу.

Як вже зазначалося вище, змішувачі кормів досить різноманітні. Цей факт пояснюється необхідністю приготування кормосуміші в різних умовах і з різними фізико-механічними властивостями компонентів (щільністю, гранулометричним складом, вологістю тощо). Крім того, змішування кормів може супроводжуватися додатковим подрібненням або тепловими процесами.

Застосовувані в даний час змішувачі кормів можна класифікувати наступним чином:

- за характером протікає процесу змішування-змішувачі періодичної (порційні) і безперервної дії;
- за способом впливу на суміш - відцентрові, гравітаційні і з механічним впливом робочих органів;
- по вологості (фізичному стану) суміші, що готується — Змішувачі для сипучих, вологих і рідких кормів;
- за конструктивною ознакою - змішувачі з перемішувачими пристроями, з швидкохідними роторами, вібраційні;
- за сукупністю виконуваних операцій - змішувачі, змішувачі-запарники, змішувачі-подрібнювачі, змішувачі-роздавачі, змішувачі-подрібнювачі-роздавальники кормів;
- по організації робочого процесу — змішувачі з обертовою і з нерухомою камерою, або транспортуючі;

- за способом розвантаження-змішувачі з ручним і механізованим розвантаженням.

Наведені ознаки класифікації змішувачів сипких кормів більш детально розкриті і доповнені іншими ознаками в літературі. Також приклад класифікації вібраційних змішувачів наведено на рисунку 1.1.

Очевидно, що змішувач будь-якої конструкції може бути охарактеризований не одним, а кількома ознаками та віднесений до різних груп, в залежності від того, яка ознака взята за класифікацію.

В якості головної ознаки може бути прийнятий той, який для даних конкретних умов розрахунку, конструювання та експлуатації є найбільш важливим.



Рисунок 1.1 – Класифікація вібраційних змішувачів кормів

1.4 Вібраційний вплив на змішувані матеріали

Аналіз тенденцій розвитку техніки в різних галузях вітчизняної та зарубіжної промисловості показує, що одним з найбільш перспективних

напрямів, що відповідають поставленим завданням, є використання вібрації. Вібраційні машини і процеси широко застосовуються в харчовій і медичній промисловості, будівництві, гірничій справі, сільському господарстві та ін..

Під вібрацією розуміють механічні коливання, період яких значно менше характерного проміжку часу, на якому розглядається рух будь-якої механічної системи, а розмах значно менше характерного розмаху системи.

Доведено, що особливо ефективна вібрація при обробці різних сипучих середовищ, в тому числі рослинного і мінерального походження.

Процес перемішування органічно притаманний сипучому середовищу, що піддається вібрації з певними параметрами. Вібраційні імпульси, при впливі на сипкий матеріал, викликають хаотичні зіткнення його частинок, руйнують сформовані конгломерати, зменшують сили тертя між частками. Інтенсивність перемішування залежить від параметрів вібрації; повітропроникності і висоти шару; розмірів, кількості і форми робочих органів; фізико-механічних властивостей компонентів суміші; ступеня заповнення і конструкції робочої камери.

Дослідженнями встановлено, що сипуча середовище при вібраціях у вільному шарі поводить себе подібно в'язкої рідини при підігріві останньої знизу. При цьому сипуче середовище характеризується трьома станами:

1) деяке ущільнення матеріалу, циркуляційні потоки відсутні, «дрижання» частинок середовища, поява ознак псевдозрідження (по-скільки відносні вібрації частинок зменшують зчеплення між ними, частинки ближче підходять один до одного і здійснюється більш щільна їх укладання);

2) детерміновані (ламінарі) циркуляції, причому виникає один або кілька циркуляційних потоків, сегрегація (поділ) частинок по щільності і розмірами;

3) стохастичне (турбулентне) віброкипіння, інтенсивне перемішування середовища.

Описані стани сипучого матеріалу виникають практично при всіх формах траєкторії коливань: прямолінійних, горизонтальних і вертикальних, кругових, похилих і т. д..

Під дією вібрації сипке середовище періодично відривається від поверхні робочого органу, при цьому в зоні їх взаємодії виникає повітряний прошарок, тиск в якому змінюється двічі за період коливань: при підкиданні матеріалу тиск стає нижче атмосферного, при падінні - вище. Це призводить до того, що повітря підсмоктується і потім витісняється через верхню межу сипучої речовини. При цьому встановлюються (самоорганізуються) окремі шляхи, по яких йде підсос і витіснення повітря. Останній, при своєму русі, захоплює частинки матеріалу і транспортує разом з собою, створюючи, таким чином, циркуляцію.

1.5 Аналіз принципів конструкцій вібраційних змішувачів

Як було доведено вище, використання вібрації є найбільш перспективним напрямком в організації змішування сипучих матеріалів, тому тут виконано аналіз конструкцій тільки вібраційних змішувачів.

Вібромішувачі, які використовуються в даний час, можна умовно розділити на дві групи: циркуляційні і активаційні. До першої групи відносяться вібраційні змішувачі, в яких вібрації викликають циркуляцію змішуваного матеріалу (наприклад, трубні змішувачі). До другої групи відносять змішувачі, в яких вібрації не викликають циркуляцію матеріалу, а призначені для інтенсифікації в них процесу (розчинозмішувачі, бетономішалки тощо). Перша група вібромішувачів відрізняється великими амплітудами коливань робочих органів (3...4 мм) проти змішувачів другої групи (0,3...0,5 мм) і відносно малими частотами коливань (1,5...2,0 тис. коливань в хвилину проти 3...12 тис. коливань в хвилину в змішувачах другої групи). Майже всі вібромішувачі призначені для змішування вологих матеріалів, хоча в кожному з них може бути реалізовано сухе змішування.

Вібромішувачі, створені на базі розчиномішалок (рис. 1.3) і бетономішалок (рис. 1.4) вигідно відрізняються тим, що вони виготовлені на базі серійного обладнання. Істотними їх недоліками є складна і напружена конструкція, порівняно мала інтенсивність передачі вібрації оброблюваній масі і слабка циркуляція матеріалу.

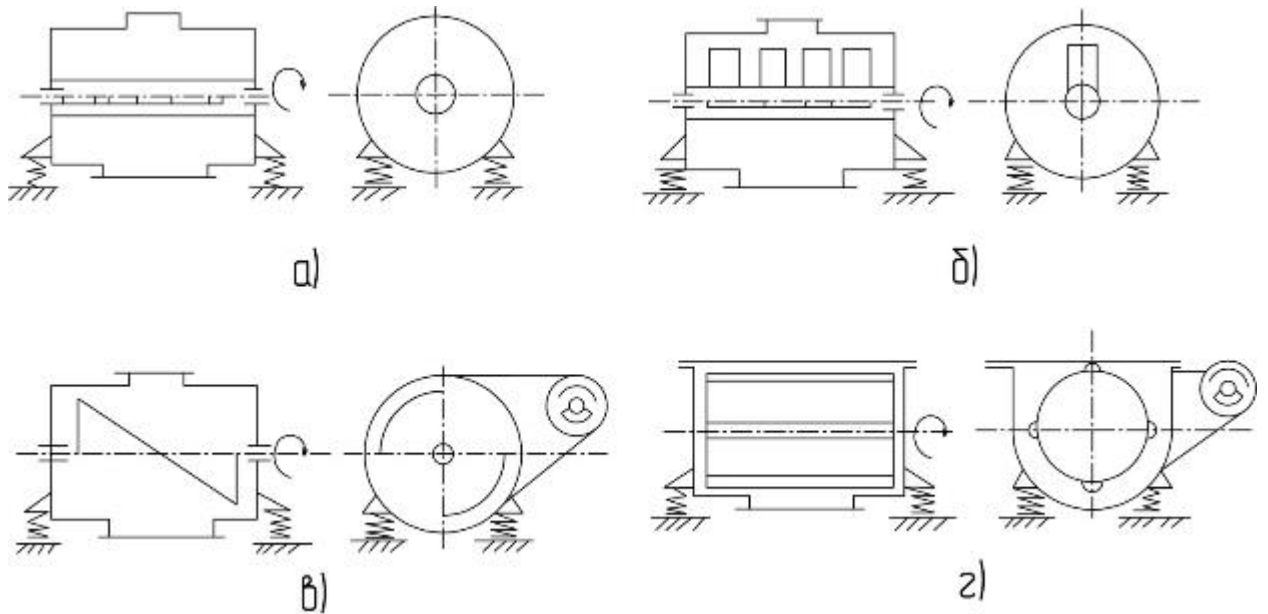


Рисунок 1.2 - Принципові схеми вібромішувачів: а) з дисбалансним вібратором всередині валу; б) з дисбалансним вібратором всередині валу і спрямовуючою гребінкою; в) з виносним вібратором і примусово обертаючим лопатевим валом; г) з виносним вібратором і реактивним шкребком.

Зображені на рис. 1.5 принципові схеми трубних вібромішувачів безперервної дії конструкції мають ряд різновидів:

1) Корпус вібромішувача (рис. 1.5 а) виконаний у вигляді труби діаметром 50...80 мм з довжиною 750... 1000мм і укріплений на вібромайданчику під кутом 10... 12° до горизонту, що полегшує поздовжнє переміщення маси.

2) Аналогічна конструкція (рис. 1.5 б), але всередині труби додатково вмонтовані ланцюги для розбивання великих масивів.

В цих змішувачах переміщення маси і її перемішування відбувається за рахунок вібрації. До переваг відноситься простота конструкції і висока інтенсивність вібрування. До недоліків — слабка циркуляція маси і утворення при перемішуванні великих агрегатів.

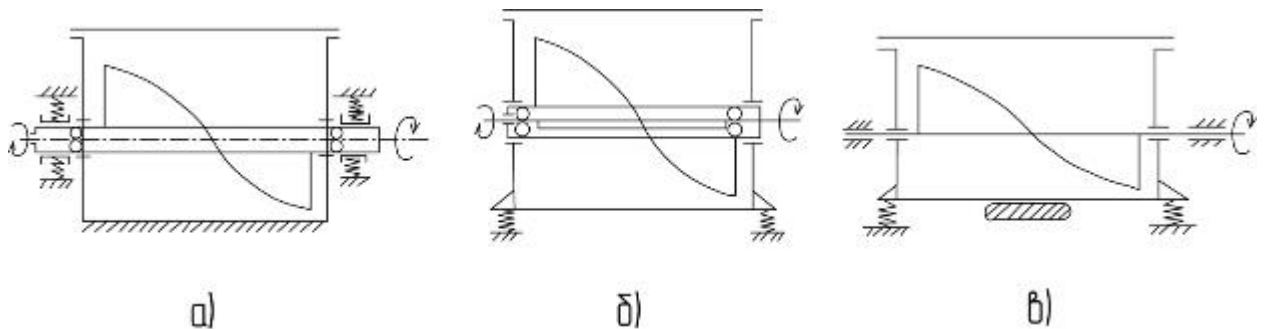


Рисунок 1.3 - Принципові схеми віброзмішувачів: а) з вібруючим змішуючим органом; б) з вібруючим корпусом і валом; в) з вібруючим корпусом і не вібруючим валом.

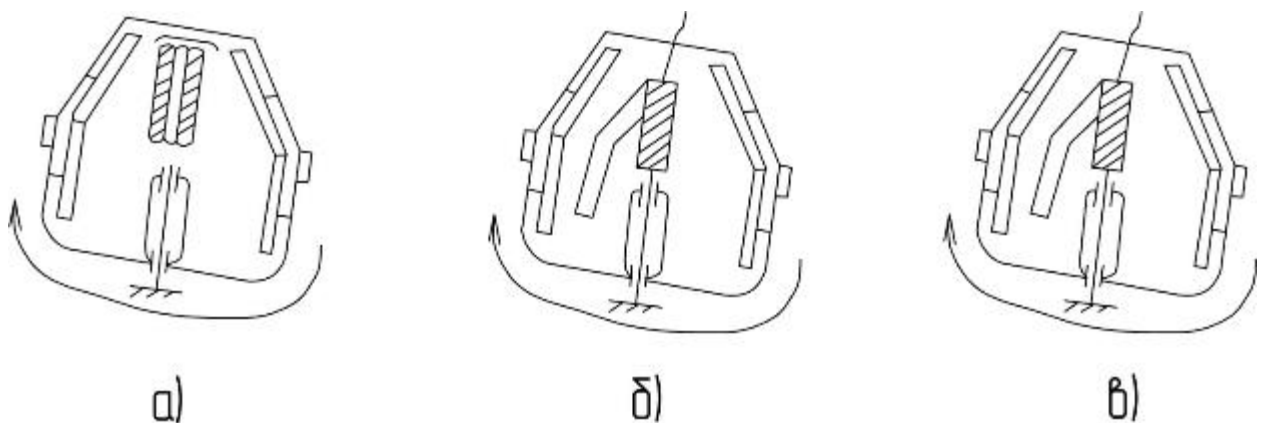


Рисунок 1.4 - Принципові схеми віброзмішувачів: а) з вільно підвішеним пакетом вібраторів; б) з вібратором, укріпленням на нерухомій осі, і з лопатками; в) з вібратором, укріпленням на осі обертається, і з лопатками.

3) трубний віброзмішувач безперервної дії (рис 1.5 В), всередині якого вільно вкладений реактивний" скребок, планетарно обертовий під час роботи і сприяє рівномірному перемішуванню компонентів. Переваги: простота конструкції, очищення стінок корпусу і рівномірне перемішування матеріалу. Недоліки: високий рівень шуму при роботі, знос скребоків і стінок корпусу, підвищена витрата енергії.

4) Віброзмішувач безперервної дії з двома лопатевими валами (рис. 1.5 г), що обертаються в протилежні сторони. Одні лопатки виконують перемішування, а інші служать для просування маси уздовж корпусу змішувача. Виносний дебалансний вібратор забезпечує кругові коливання системи. Вся конструкція встановлена на пружинних опорах. Переваги: по всьому робочому об'єму змішувача створюються зони інтенсивного перемішування, знижуються в'язкості змішуваної маси і забезпечується рівномірний розподіл компонентів, незалежно від різниці в щільності і в розмірах частинок компонентів. Недолік: наявність в камері ділянок з нерівномірним впливом робочих органів на перероблювану масу.

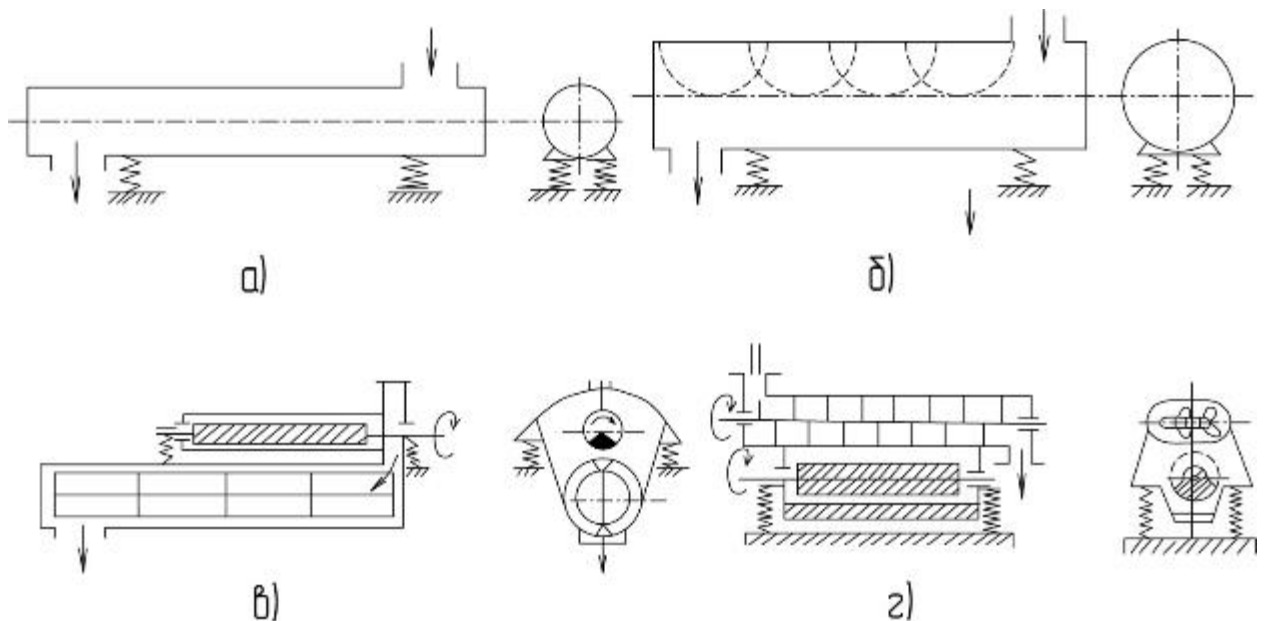


Рисунок 1.5 - Принципові схеми віброзмішувачів безперервної дії: а) трубний змішувач; б) трубний змішувач з підвішеними ланцюгами; в) трубний змішувач з "реактивним" скребком; г) лопатевий змішувачі.

У принциповій схемі віброзмішувача конструкції (рис. 1.6), всередині корпусу 1 розміщена труба 2 з вбудованими валом і дебалансами 3, що створюють кругову або еліпсоїдальну траєкторію руху змішуваної маси з високими прискореннями. Вібраційний вплив передається від змішувального пристрою завдяки амортизаторам 4, закріпленим на рамі 6 за допомогою демпферів 5. Переваги: за рахунок високих прискорень частки компонентів ударяються і контактують з робочими поверхнями, інтенсивно перемішуючись при цьому за порівняно малий проміжок часу. Недоліки: динамічні навантаження в системі і можливість перемішувати вантажі тільки з хорошою сипучістю.

На підставі вищевикладеного аналізу існуючих конструкцій вібраційних змішувачів сипких матеріалів і основних параметрів їх роботи, а також наукових досліджень в області технологічного процесу і попередніх пошукових досліджень, пропонується удосконалена конструкція вібраційного змішувача сипучих кормів.

Основними вузлами вібраційного змішувача (рис. 1.6) є рама 4, змішувальний орган 1, ексцентриковий механізм 5. Змішувальний орган, виконаний у вигляді відкритого жолоба квадратного перетину з однією торцевою стінкою, встановлений на ресорах 3. Для інтенсифікації процесу змішування жолоб забезпечений перемішують елементами 2, що мають конічні робочі поверхні 6. Конуси встановлюються в кілька рядів, а їх основні параметри (висота, діаметр підстави, довжина твірних) можуть мати відмінні значення в залежності від ряду. Кожен перемішуючий елемент (гребінка) потиличною кромкою шарнірно кріпиться до днища жолоба. Передня кромка гребінок має зубчасту пилкоподібну форму. Число і крок перемішують елементів можна змінювати, попередньо послабивши затискачі кріплень (на малюнку не показані). Передача вібраційних впливів змішувальному жолобу здійснюється від ексцентрикового механізму 5 через жорсткий шатун.

Конструкція вібраційного змішувача передбачає виконання основних регулювань: зміна частоти та амплітуди коливань жолоба, його нахилу до

горизонту; зміна числа і кроку перемішувачих елементів, їх нахилу до днища жолоба.

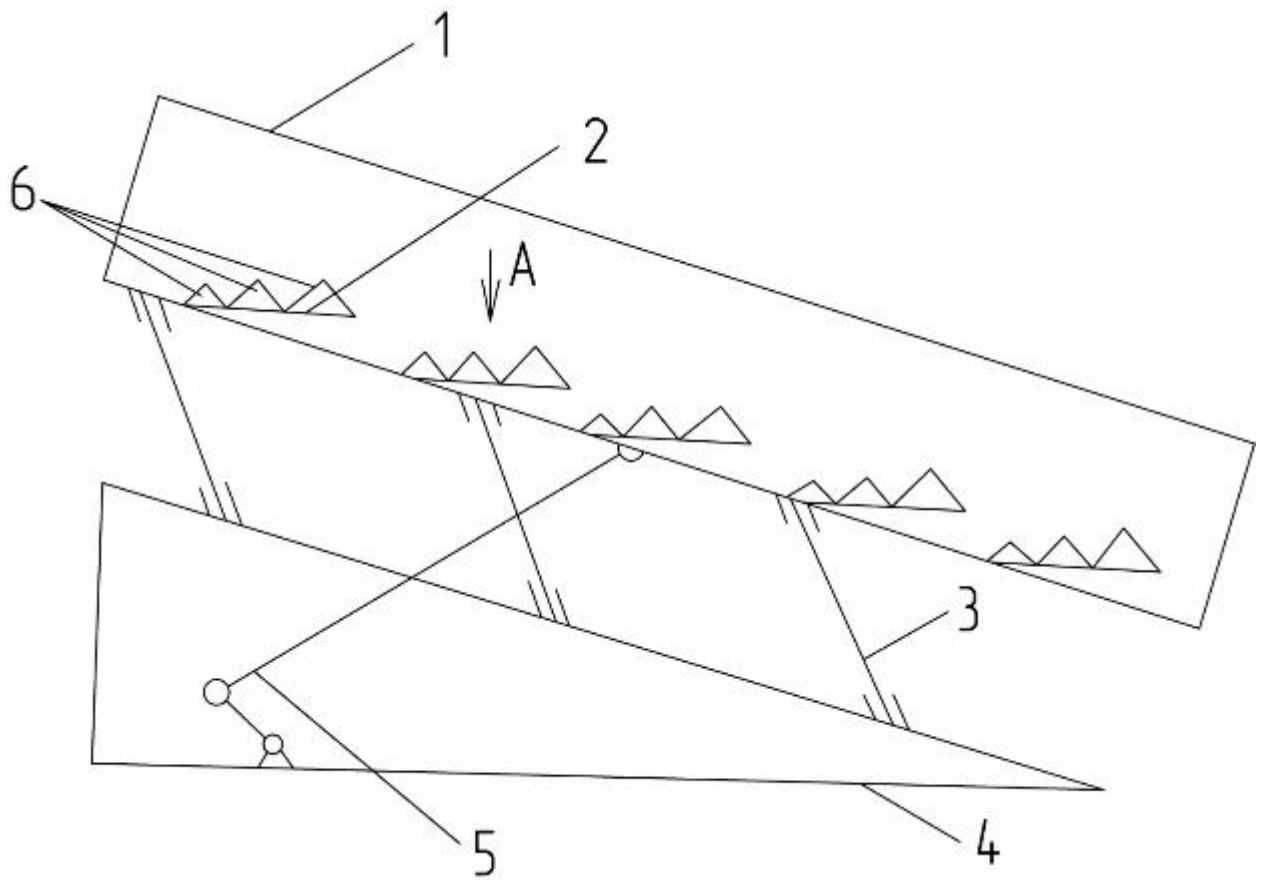


Рисунок 1.6 - Схема вібраційного змішувача безперервної дії з конічними робочими поверхнями: 1 - змішувальний орган; 2 – перемішувачі елементи; 3 - ресори; 4 - рама; 5 — ексцентриковий механізм; 6 - конічні робочі поверхні.

Робочий процес протікає наступним чином. Змішувані компоненти подаються в заданому співвідношенні з дозаторів в приймальну частину жолоба. Під дією вібрації компоненти починають переміщуватися до першого перемішувачого елемента, на якому, завдяки конічних поверхнях віброконтакта, відбувається розпушення і первинне змішування. Далі відбувається вільне падіння матеріалу з зубчастої складової перемішувачого елемента на днище віброжолоба з подальшим переміщенням по конічних

поверхнях, але вже другого і подальшого перемішуючих елементів і т. д. Перемішана маса сходить з розвантажуючого кінця жолоба.

Частинки сипучої маси, що надходять на конічні поверхні на різних відстанях від осей їх підстав, паралельних поздовжньої осі жолоба, отримують в результаті зіткнення з конусами, різні кути відбиття, різні швидкості та напрями руху, що сприяє інтенсифікації процесу змішування.

В момент проходження шару по крайках зубчастих гребінок відбувається сколення шару, тобто від нього відривається мікрооб'єм, що містить в собі інгредієнти приблизно в розрахункових співвідношеннях. Так як довжина активної частини зуба більше його ширини приблизно в 2 - 3 рази, то по умові нерозривності потоку вантажу, товщина сколів буде в 2 - 3 рази менше товщини шару інгредієнтів. Отже, створюються сприятливі умови для попадання частинок одного інгредієнта в простір між частинками іншого.

Зміщення зубів (на $\frac{1}{2}$ кроку) кожного наступного перемішуючого елемента відносно попереднього дозволяє домогтися додаткового руху маси в напрямку, перпендикулярному до поздовжньої осі жолоба. Це призводить до ускладнення траєкторії руху частинок, а значить і до більш якісного змішування.

Внаслідок різного кута нахилу жолоба і зубчастих гребінок по відношенню до горизонту, швидкість переміщення маси по лотку буде більше, ніж на гребінках, тобто вертикальні шари мають істотне відносне ковзання. Так як зуби гребінок мають форму плоских клинів, то частинки матеріалу, що знаходяться ближче до середини зуба, пройдуть більший шлях і будуть значно відставати від частинок, що переміщуються ближче до краю зуба. За рахунок різниці швидкостей шарів маси, виходить поздовжнє відносне їх ковзання у вертикальній площині, яке необхідно для згладжування нерівномірностей в роботі дозаторів. Згладжування визначається за формулою:

$$W_{\phi} = \frac{vt - v_{\phi}t}{vt_{\phi}}, \quad (1.6)$$

де v_1 і v_2 - відповідно швидкість переміщення вантажу по жолобу і по гребінці;

t - час руху вантажу між гребінками;

t_ϕ - період нерівномірної подачі інгредієнта дозатором.

В цілому, при використанні пропонованої конструкції змішувального органу, частинки сипучого матеріалу здійснюють більш складні і різноманітні за своїм характером відносні переміщення. Все це дозволяє порівняно швидко отримати більш якісну сипучу кормову суміш.

1.6 Висновки

1. При виробництві комбікормів та інших кормових сумішей сипучих процес змішування є завершальним і найбільш відповідальним етапом, так як від однорідності суміші істотно залежать продуктивність сільськогосподарських тварин і птиці, а також витрата кормів на одиницю одержуваної продукції.

2. Серійно випускаються змішувачі сипучих кормів, які не забезпечують достатньої якості одержуваної суміші, при цьому вони мають значну енерго- і металоємність.

3. Для підвищення якості суміші доцільно організувати процес змішування сипучих матеріалів з накладенням на сипку середу вібрації, причому складові компоненти суміші повинні перебувати в стані "псевдозрідження".

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО ЗМІШУВАЧА

2.1 Вибір математичної моделі вільного шару сипучого матеріалу при вібраціях

Частинки сипучого корму, що знаходяться в змішувальному органі, взаємодіють один з одним і з активними поверхнями віброконтакту, в результаті чого здійснюють складний рух. Для того, щоб отримати найбільш повне уявлення про характер переміщення всієї перемішуваної маси, необхідно описати процес математичними методами, тобто скласти математичну модель. При цьому функція моделі повинна бути не тільки описовою, але і мати передбачливий характер процесу.

Математичне моделювання складається з наступних основних ступенів:

- 1) раціональне осмислення математичної моделі в залежності від поставленої мети і сформульованих завдань;
- 2) ототожнення моделі за допомогою експерименту;
- 3) адекватність моделі;
- 4) поетапний розрахунок процесу.

Відповідно до структури математичної моделі технологічного процесу, запропонованої А. П. Карташовим і В. Ю. Поліщуком, розглядаються окремі безлічі параметрів: конструктивно-геометричні, технологічні, фізико-механічні, режимні.

Так як рух маси в змішуючому органі відбувається тонким шаром і при не занадто інтенсивній вібрації, то допустимо вважати, що шар коливається як єдине ціле, і його рух можна розглядати як рух матеріальної точки. Тому для опису характеру взаємодії маси з робочими поверхнями обрана модель руху матеріальної точки. Таке припущення виправдовує себе тим, що дозволяє описати процес руху частки поетапно, а значить більш точно. Хоча, слід

визнати, що така модель не повною мірою дає уявлення про характер взаємодії частинок між собою, але при цьому характеризує рух всього шару матеріалу.

2.2 Теоретичний опис процесу змішування сипучих кормів за допомогою перемішуючих елементів конічної форми

Рух частинки умовно можна розділити на чотири етапи: рух по похилій площині, перехід з плоскої поверхні на конічну, рух по конічній поверхні перемішуючих елементів і вільне падіння.

Під час роботи жолоб змішувача здійснює прямолінійний коливальний рух уздовж осі шатуна AB (рис. 2.1) з амплітудою коливань A і круговою частотою ω .

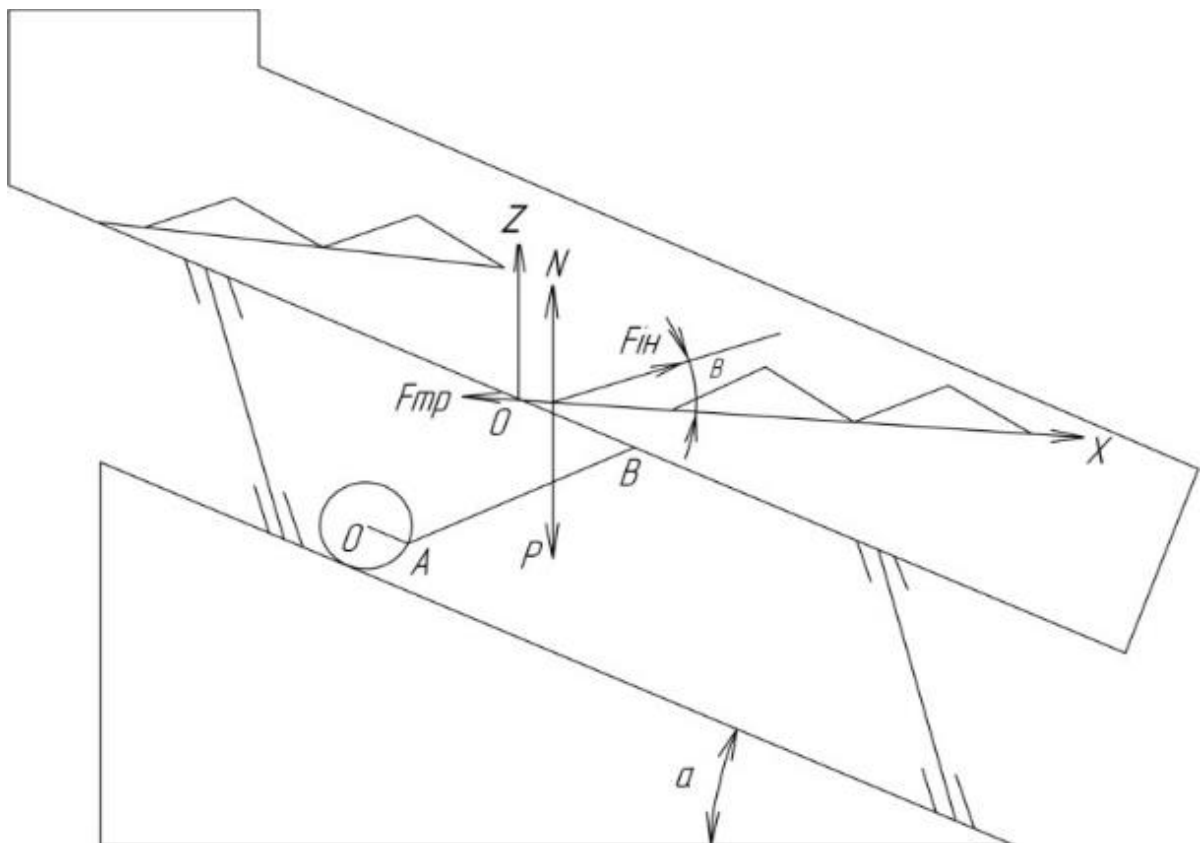


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема сил, що діють на частку при її русі по площині перемішуючого елемента.

Частинки, що знаходяться на площині перемішують елементів, здійснюють відносний рух. Для складання диференціальних рівнянь руху частки побудована розрахункова схема вібраційного змішувача, на якій зображені вектори діючих на частку сил:

1) N - сила нормальної реакції.

2) $F_{тр}$ - сила тертя, яка може бути спрямована по ходу руху потоку частинок або в протилежну сторону, в залежності від напрямку руху частинки у відносному русі. На рисунку 2.1 напрямок $F_{тр}$ відповідає ковзанню частки вниз.

3) P - сила тяжіння.

4) F_{in} - переносна сила інерції, величина якої визначається з виразу:

$$F_{in} = mA\omega^2 \sin \omega t, \quad (2.1)$$

де m - маса частинки.

В даному випадку диференціальні рівняння ковзання (без відриву) руху частинки щодо площини перемішуючого елемента приймуть вигляд:

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = mg \sin \alpha + F_{in} \cos \beta \pm F_{in} \\ m \frac{dv_z}{dt} = N - mg \cos \alpha + F_{in} \sin \beta \end{cases},$$

При вільному падінні частинок з зубів гребінки змішування практично не відбувається. Ці два етапи руху (по плоскій віброуючій поверхні і вільне падіння) досить докладно досліджені в роботах, тому в даній роботі не розглядаються.

2.2.1 Перехід матеріальної частинки з плоскої поверхні на конічну

При переході матеріальної частинки з плоскої поверхні на конічну, виду зламу траєкторії руху можливе виникнення удару. Момент переходу може бути описаний різними моделями:

1) якщо вважати рух матеріальної частки по поверхні (рис. 2.2), виключаючи можливість відриву (модуль переносного прискорення $\bar{\alpha}_n$ малий в порівнянні з модулем прискорення вільного падіння \bar{g}), то наближення частки до конуса обернеться ударом по закону:

$$m\bar{V}_k - m\bar{V}_0 = \int \Delta\bar{F}dt, \quad (2.2)$$

де $\Delta\bar{F} = \bar{N}_k - \bar{N}_0$ - раптова зміна сили, що діє на точку, тобто ударна сила, Н;

$\bar{N}_k = \bar{N}_0 \cos \gamma$ - нормальна реакція конічної поверхні, Н;

\bar{N}_0 - нормальна реакція плоскої поверхні, Н;

γ - кут нахилу утворює конуса до його основи.

$$\cos \gamma = \frac{k}{\sqrt{1+k^2}}, \quad (2.4)$$

де k - коефіцієнт, що представляє собою відношення радіусу R підстави конуса до його висоти H .

При таких умовах вектор дії ударної сили $\Delta\bar{F}$ буде паралельні твірної конуса, тому формально рух точки далі неможливо, так як швидкість \bar{V}_k не реалізується через перешкоди.

2) Якщо вважати, що точка не стосувалася площини в момент удару об конус (рис. 2.3), то ударна сила $\Delta\bar{F} = \bar{N}_k$, тоді вектор V_k буде симетричний $\bar{V}_0 = \bar{V}_\tau + \bar{V}_n$ щодо площини, дотичної до конусу в точці зіткнення. Причому, \bar{V}_τ

лежить в дотичній площині, а значить, дзеркально відіб'ється лише \vec{v}_n , яка потім складається з вектором \vec{v}_t . Звідси можна зробити висновок, що після удару вектор швидкості повернеться на кут 2γ навколо дотичної до паралелі конуса (рис. 2.4).

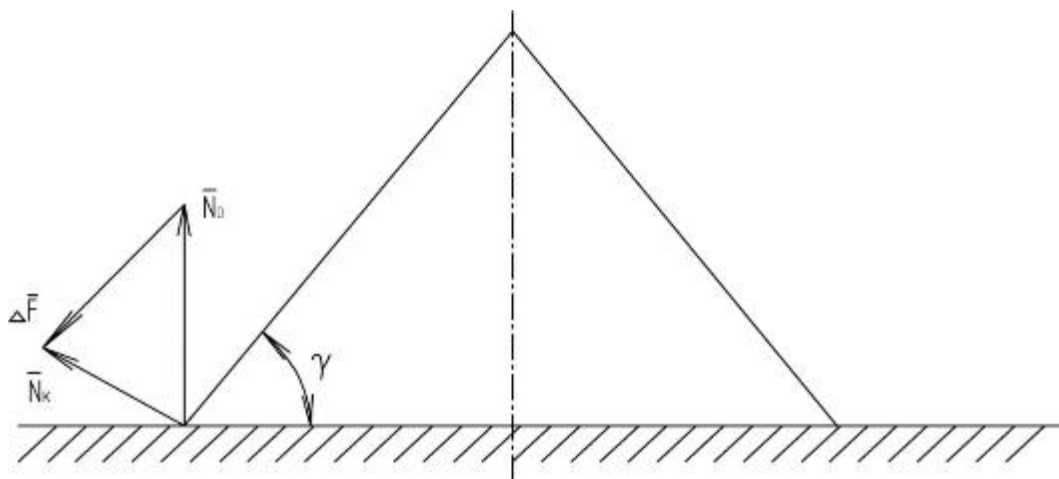


Рисунок 2.2 - Схема сил, що діють на частинку при наближенні її до конуса без відриву від поверхні.

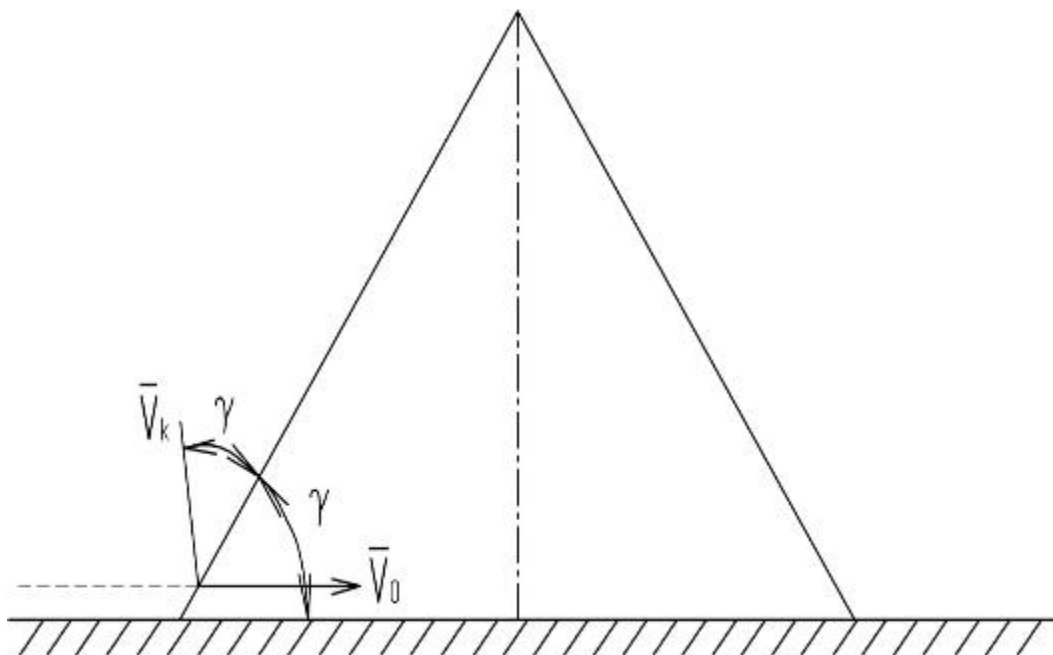


Рисунок 2.3 - Швидкості, що діють на частку при наближенні її до конуса без торкання площини

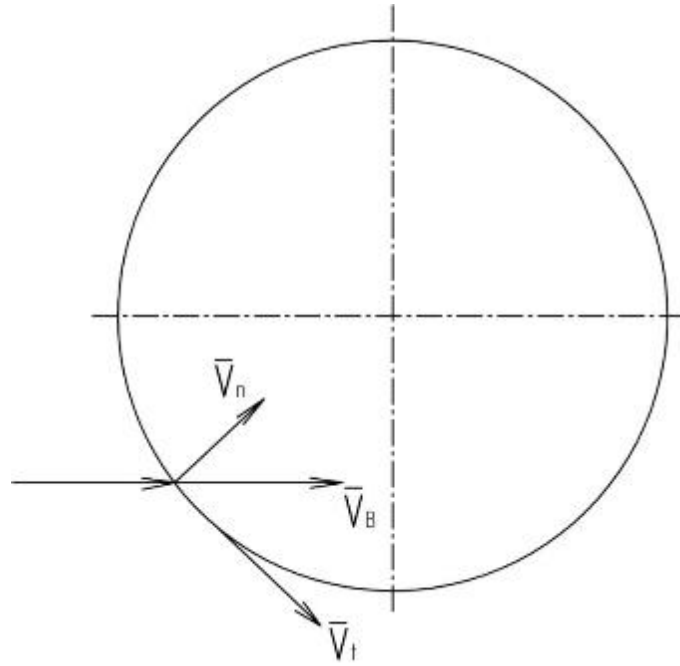


Рисунок 2.4 - Напрямок векторів швидкості частинки (вид зверху) так як відбудеться поворот вектора швидкості на кут 2γ навколо дотичної, то на вигляді зверху побачимо нормальну складову \vec{v}_n укороченої в $\cos 2\gamma$ раз (рис. 2.5):

$$V_{nk} = V_{n0} \cos 2\gamma, \quad (2.5)$$

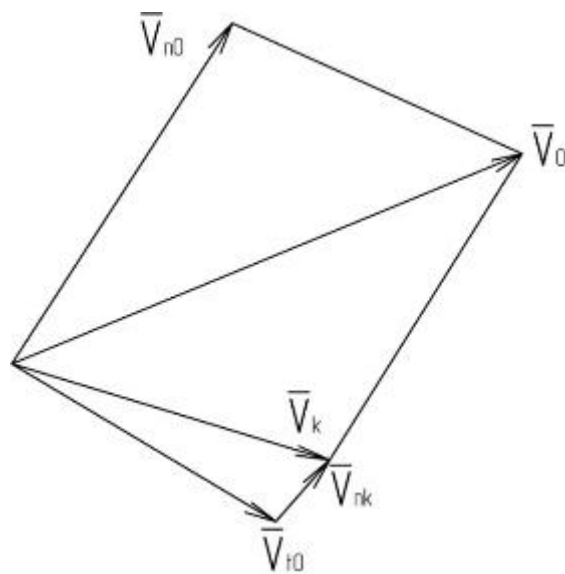


Рисунок 2.5 - Розкладання вектора швидкості частинки на складові

3) Більш точною моделлю буде модель руху з нестримним зв'язком (з відривом), в тому випадку, якщо переносне прискорення \bar{a}_n порівняно велике:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \Phi \cos \alpha \\ m\ddot{z} = \Phi \sin \alpha - mg \end{cases}, \quad (2.6)$$

де $\Phi = mA \sin \omega t$.

У момент удару швидкість змінюється стрибкоподібно. При абсолютно пружному ударі кут падіння буде дорівнює куту відображення:

$$\begin{cases} \ddot{x} = A \sin \omega t \cos \alpha \\ \ddot{z} = A \sin \omega t \sin \alpha \end{cases}, \quad (2.7)$$

З системи рівнянь (2.7) випливає:

$$\begin{cases} x(t) = -\frac{A}{\omega^2} \sin \omega t \cos \alpha + \dot{x}_0 t + x_0 \\ z(t) = -\frac{gt^2}{2} - \frac{A}{\omega^2} \sin \omega t \sin \alpha + \dot{y}_0 t + y_0 \end{cases}, \quad (2.8)$$

У окремому випадку $x_0 = \dot{x}_0 = z_0 = \dot{z}_0 = 0$, тоді:

$$\begin{cases} x(t) = -\frac{A}{\omega^2} \sin \omega t \cos \alpha \\ z(t) = -\frac{A}{\omega^2} \sin \omega t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{cases}, \quad (2.9)$$

Інтегруючи систему, можна обійтися тільки отриманням точок зіткнення з поверхнею.

Умова руху з відривом буде виглядати наступним чином:

$$\begin{aligned} m\bar{a} &= \bar{N} + \bar{P} + \bar{\Phi} \\ m\ddot{y} &= N - P + \Phi_y^n, \end{aligned} \quad (2.10)$$

При цьому має дотримуватися умова $N=0$, отже в момент перед відривом точки від поверхні ще $\dot{y} = 0$, але вже $N=0$:

$$\begin{aligned} mg &= mA \sin \omega t \sin \alpha \\ g &= A \sin \omega t \sin \alpha \end{aligned}, \quad (2.11)$$

Якщо $g = A \sin \alpha$, то стає можливим рух матеріальної частинки з відривом від поверхні. В даному вираженні A - амплітуда прискорення в переносному русі, пропорційна квадрату кутової швидкості.

Режим роботи змішувача, при якому реалізується третій варіант наближення матеріальної частинки до кінчної поверхні, є найбільш оптимальним. Можна припустити, що в цьому випадку будуть створені кращі умови для підйому частинки на кінчну поверхню.

2.2.2 Рух матеріальної частинки по кінчній поверхні переміщуючого елемента

Для опису процесу руху частинки по кінчній поверхні використовуються узагальнені криволінійні Гауссових координати — довгота u (кут вздовж паралелі) і широта v (відстань уздовж меридіани) (рис. 2.6).

У загальному вигляді параметричне рівняння будь-якої поверхні має вигляд [49]:

$$\bar{r}(u, v) = (f_1(u, v), f_2(u, v), f_3(u, v)), \quad (2.12)$$

що рівно сильно системі рівнянь:

$$\begin{cases} x = f_1(u, v) \\ y = f_2(u, v) \\ z = f_3(u, v) \end{cases}, \quad (2.13)$$

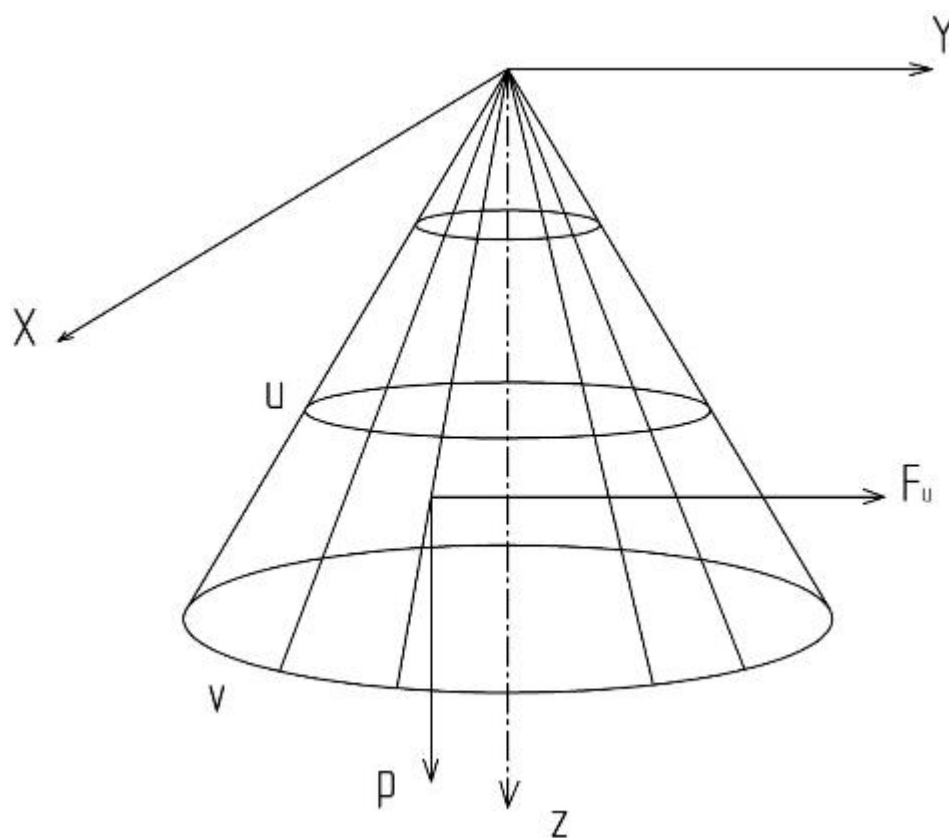


Рисунок 2.6 - Розрахункова схема сил, що діють на частинку при її русі по конічній поверхні

Для кругового конуса $x^2 + y^2 = k^2 z^2$ його параметричне рівняння можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} x = v \sin u \\ y = v \cos u \\ z = v / k \end{cases}, \quad (2.14)$$

Довжину утворює l прямого конуса можна визначити з виразу $l = \sqrt{H^2 - R^2} = H\sqrt{1+k^2}$. Це рівність справедливо, так як коефіцієнт k являє собою відношення радіуса R основи конуса до його висоти, тобто $k=R/H$.

Після перетворення виразу (2.12), з урахуванням системи рівнянь (2.13), параметричне рівняння поверхні прийме вигляд:

$$\bar{r}(u, v) = (v \sin u, v \cos u, v/k), \quad (2.15)$$

Для складання рівняння руху частинки по конічній поверхні використана система рівнянь Лагранжа [50]. Число рівнянь дорівнює числу ступенів свободи:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{u}} \right) - \frac{\partial T}{\partial u} = Q_u \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{v}} \right) - \frac{\partial T}{\partial v} = Q_v \end{cases}, \quad (2.16)$$

де $T = T(v, u, \dot{v}, \dot{u})$ - кінетична енергія механічної системи, виражена через узагальнені координати v , та u їх похідні \dot{v}, \dot{u} .

Q_u, Q_v - узагальнені сили, що відповідають узагальненим координатам.

Узагальнені сили розраховуються як коефіцієнти у виразах для елементарних робіт всіх сил на можливих переміщеннях δu і δv . Для визначення узагальненої сили механічної системі дається таке можливе переміщення, при якому одна координата отримує позитивний приріст, а інші координати залишаються без зміни (принцип «заморожування»). Обчислюючи узагальнену силу Q_u , дається приріст δu координаті u за умови, що $v = \text{const}$ (приріст δ_v) і навпаки. При обчисленні узагальнених сил дотримуються наступного порядку:

1) Виявляються активні сили, що діють на точку

В даному випадку - це: сила \bar{F}_u - умовна переносна сила інерції, нахилена під кутом α до основи конуса і перпендикулярна осі x . У проекції на осі координат вектор $F_{iu} = (0, A \sin \omega t \cos \alpha, -A \sin \omega t \sin \alpha)$

Сила ваги P , вектор якої виражається $\bar{P} = (0, 0, mg)$

2) обчислюються елементарні роботи всіх виявлених активних сил на можливих переміщеннях δu і δv .

2.1) Дається елементарний позитивний приріст δu узагальненій координаті u , при цьому координата v залишається постійною, тобто збільшення $\delta v = 0$.

У цьому випадку довжина нескінченно малого переміщення відповідає довжині вектора $\delta \bar{r}_u = \bar{r}_u \delta u$. Відомо, що приватні похідні, з урахуванням виразів (2.12, 2.13)

$$\frac{\partial \bar{r}}{\partial u} = \bar{r}_u = \left(\frac{\partial f_1}{\partial u}; \frac{\partial f_2}{\partial u}; \frac{\partial f_3}{\partial u}; \right), \quad (2.17)$$

де \bar{r}_u - вектор, дотичний до u - лінії в даній точці. Аналогічно,

$$\frac{\partial \bar{r}}{\partial v} = \bar{r}_v = \left(\frac{\partial f_1}{\partial v}; \frac{\partial f_2}{\partial v}; \frac{\partial f_3}{\partial v}; \right), \quad (2.18)$$

де \bar{r}_v - вектор, дотичний до v — лінії в даній точці.

З огляду на параметричне рівняння (2.14) кругового конуса можна отримати $\bar{r}_u(u, v) = \left(v \sin u, v \cos u, \frac{v}{k} \right)$, тобто:

$$\bar{r}_u = (v \cos u, -v \sin u, 0), \quad (2.19)$$

$$\bar{r}_v = \left(\sin u, \cos u, \frac{1}{k} \right), \quad (2.20)$$

Елементарна робота, за визначенням, дорівнює скалярному добутку вектора сили на вектор нескінченно малого переміщення:

$$\delta A = \bar{F} \delta \bar{r}, \quad (2.21)$$

Тоді, при можливому переміщенні δu в градусах, переміщення в метрах буде дорівнює, $\delta \bar{r}_u = \bar{r}_u \delta u$ тобто буде скалярним твором виразу (2.19) δu :

$$\delta \bar{r}_u = \bar{r}_u \delta u = (v \cos u \delta u, -v \sin u \delta u, 0), \quad (2.22)$$

Елементарна робота сили інерції, відповідно до (2.21), буде являти собою скалярний твір векторів:

$$\begin{aligned} \delta A(\bar{F}) = \bar{F} \delta \bar{r}_u &= 0 \times v \cos u \delta u - A \sin \omega t \cos \alpha \times v \sin u \delta u - \\ &- A \times \sin \omega t \sin \alpha \times 0 = -Av \delta u \sin \omega t \cos \alpha \sin u \end{aligned}, \quad (2.23)$$

Аналогічно обчислюється елементарна робота сили тяжіння:

$$\delta A(\bar{P}) = \bar{P} \delta \bar{r}_u = 0 + 0 + 0 = 0, \quad (2.24)$$

Сумарна елементарна робота на переміщенні δu :

$$\delta A = (-A \sin u \sin \omega t \cos \alpha) \delta u, \quad (2.25)$$

Укладена в дужки твір є узагальнена сила Q_u , яка підставляється в праву частину виразу (2.16) при диференціюванні по координаті u .

2.2) Дається приріст δv при $u = \text{const}$ ($\delta u = 0$). В цьому випадку довжина нескінченно малого переміщення і елементарні роботи активних сил визначаються аналогічно пункту 2.1

$$\delta r_v = r_v \delta v = (\sin u \delta v, \cos u \delta v, \delta v / k), \quad (2.26)$$

$$\delta A(\bar{F}_{in}) = \bar{F}_{in} \delta \bar{r}_v = 0 + A \sin \omega t \cos \alpha \times \cos u \delta v - A \sin \omega t \sin \alpha \times 1 / k \delta v, \quad (2.27)$$

$$\delta A(\bar{P}) = \bar{P} \delta \bar{r}_v = 0 + 0 + \frac{\delta v}{k} mg, \quad (2.28)$$

$$\delta A = \left(A \sin \omega t \left[\cos \alpha \cos u - \sin \alpha \frac{1}{k} \right] + \frac{mg}{k} \right) \delta v, \quad (2.29)$$

Вміст дужок у виразі (2.29) є узагальненою активною силою Q_v , яка підставляється в систему рівнянь Лагранжа (2.16) при диференціюванні по координаті v .

Як було зазначено вище, в рівняннях Лагранжа ліва частина визначається через функцію кінетичної енергії T .

Для окремо взятої точки

$$T = \frac{mV^2}{2}, \quad (2.30)$$

де $V = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ - швидкість руху точки.

2.3 Обґрунтування основних параметрів конічних поверхонь віброконтакту

На підставі проведених досліджень, у джерелі говориться, що з точки зору рівномірного переміщення частинок у вібраційних транспортуючих машинах з прямокутним поперечним перерізом жолоба повинно дотримуватися співвідношення $B = 5h$. Відповідно з принципами ефективної організації процесу змішування необхідно прагнути до досягнення мінімально можливої товщини шару. Виходячи з цього, приймається співвідношення $B = (5...7)h$. Так як конструктивна ширина віброжолоба прийнята $B = 200$ м, то рекомендована товщина шару h буде в межах 28...40 мм. Для забезпечення інтенсифікації процесу змішування, тобто отримання якісної суміші, товщина

шару не повинна бути більше висоти H конусів. Тому $H_{\min} = 28...40$ мм. В першому наближенні приймаємо $H = 30$ мм при товщині шару $h = 28..30$ мм.

Для підвищення ефективності процесу змішування необхідно прагнути до збільшення площі віброконтакта перемішуваних елементів і змішувача матеріалу. У той же час, не можна допустити утворення застійних зон в змішувальному органі, тому кількість контактних поверхонь має бути мінімально можливим, а їх конструкція-мати плавні переходи. Виходячи з вищевикладеного і прийнятих раніше конструктивних параметрів ($B = 200$ мм; $H = 30$ мм) приймаємо максимально можливу кількість конусів в одному ряду. Рівне двом з діаметром підстави рівним 48 мм.

2.4 Теоретичні дослідження руху частинок по конічним поверхням віброконтакту

Завданням теоретичного дослідження руху частинок по конічній поверхні віброконтакту є визначення впливу амплітуди і частоти коливань жолоба на якість змішування за допомогою аналізу розрахованих траєкторій руху частинок. Для вирішення цього завдання передня по ходу руху частинок частина конуса ділилася на сектори з діапазоном 10° . Передбачається, що з правої і лівої сторін від осі симетрії конуса (паралельної поздовжньої осі симетрії змішувача) частинки мають приблизно однакові траєкторії руху, тому для аналізу була обрана права передня чверть конуса. В якості координатних осей обрані довгота u (кут уздовж паралелі) і широта v (відстань уздовж меридіани). За нульові координати частинок приймаються точки, що знаходяться біля основи конуса від 0 до 90° з діапазоном 10° . Для зручності побудови траєкторій руху частинок нульова відмітка координати v перенесена до основи конуса.

2.4.1 Вплив амплітуди коливань жолоба на характер руху частинок

Вплив амплітуди коливань на якість процесу змішування визначався графічно за таких умов: $\beta = 22$; $\alpha = 10^\circ$; $\omega = 3$ Гц; $f = 0,35$; $R = 24$ мм; $H = 30$ мм. амплітуду коливань змінювалася від 8 до 14 мм з інтервалом 2 мм.

На рис. 2.7 представлена залежність $v(u)$ при $A = 8$ мм. З малюнка видно, що частинки спочатку піднімаються по конічній поверхні, а потім відразу скочуються з неї. Переміщення частинок по осі i незначне (в межах $10 - 20^\circ$), що негативно позначається на продуктивності змішувача. Підйом по конічній поверхні також порівняно малий - лише одна частинка підніметься вище позначки 5 мм. Траєкторії руху частинок перетинаються між собою 1-2 рази, що свідчить про недостатній інтенсивності процесу змішування.

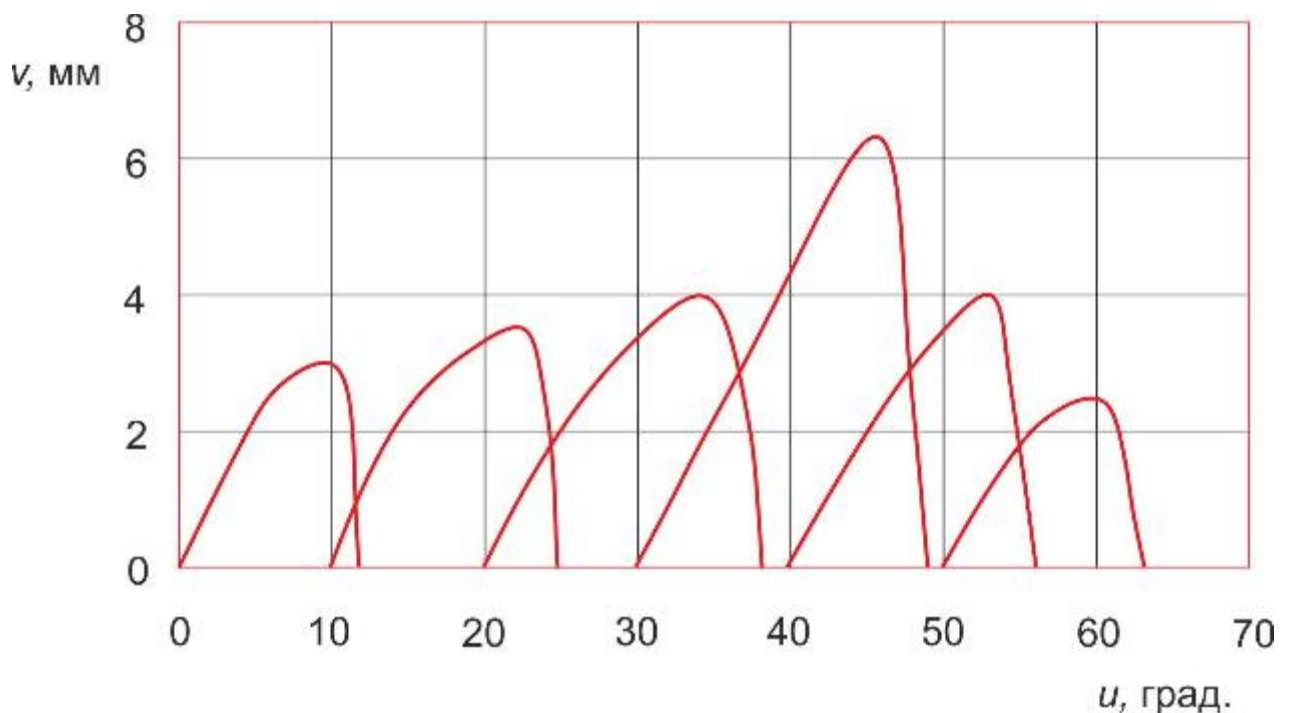


Рисунок 2.7 - Розрахункові траєкторії руху частинок при $A = 8$ мм.

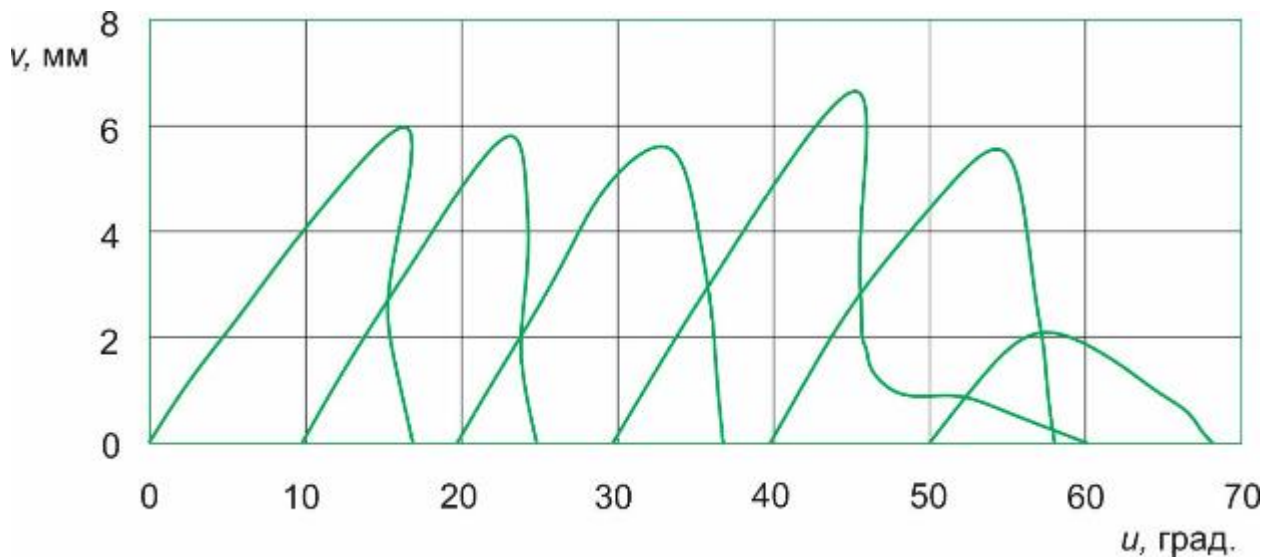


Рисунок 2.8 - Розрахункові траєкторії руху частинок при $A = 10$ мм.

При $A = 10$ мм (рис. 2.8), на відміну від першого випадку, в траєкторії руху частинок починає простежуватися повторний перегин, тому можна припустити, що при такому значенні амплітуди окремі частини-биття встигають отримати другий імпульс коливань за рахунок збільшення часу знаходження на конічній поверхні. Помітно збільшена висота підйому часток по осі v - практично всі частинки досягають позначки в 5 мм. Це дозволяє більш ефективно використовувати корисну площу конуса.

При $A = 12$ мм (рис. 2.9) підйом частинок становить понад 7,5 мм. Траєкторії їх руху перетинаються між собою не менше трьох разів, що сприяє інтенсифікації процесу змішування. Просування кожної частинки вздовж осі u перевищує 30° . Це передбачає підвищення продуктивності вібраційного змішувача.

При $A = 14$ мм спостерігається, що ряд частинок з початковими координатами $u_0 - 30^\circ$ і більше мають нечітко виражені розрахункові траєкторії руху. Мають місце випадки розриву теоретичної траєкторії. Можна припустити, що при такому кінематичному режимі частинки корму лише стосуються конічної поверхні, а не ковзати по ній. Це негативно позначиться на якості суміші.

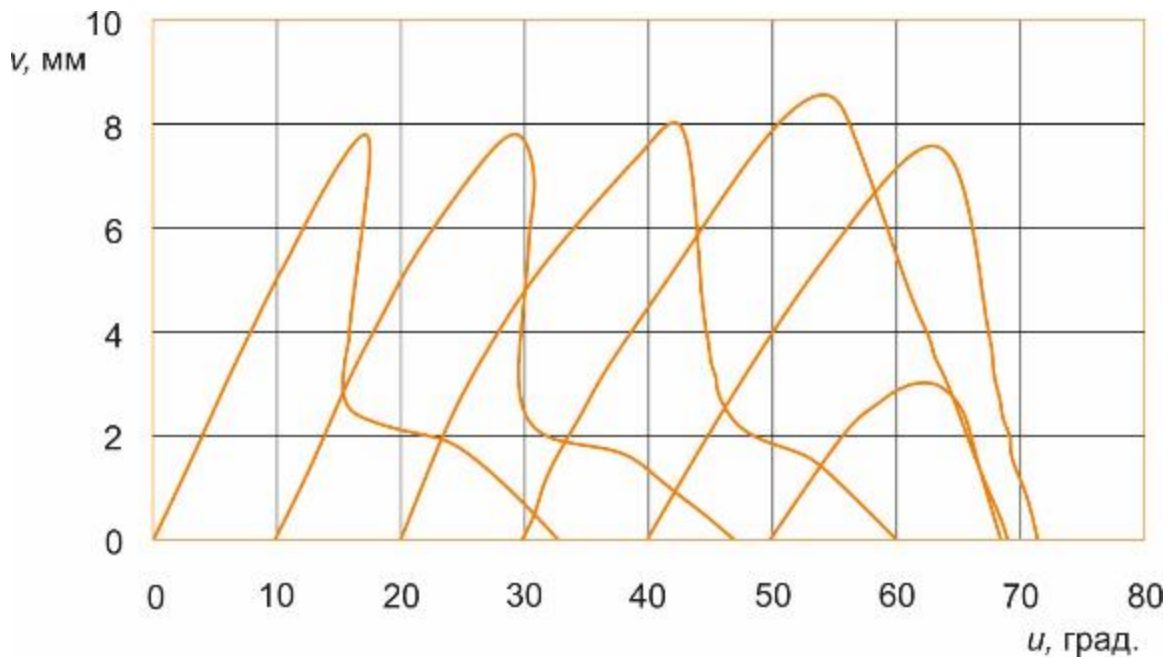


Рисунок 2.9 - Розрахункові траєкторії руху частинок при $A = 12$ мм.

Аналізуючи зміст малюнків 2.7 - 2.9, можна зробити висновок, що найбільш оптимально процес змішування протікає при $A = 12$ мм, так як із збільшенням амплітуди в розглянутому діапазоні (8-12 мм) відбувається наступне:

- 1) збільшується просування частинок по осі i , що сприяє по-вищенню продуктивності змішувача;
- 2) поліпшується якість суміші завдяки інтенсифікації руху частинок по конічних поверхнях віброконтакту за рахунок збільшення кількості частинок, траєкторії руху яких перетинаються між собою, і збільшення висоти підйому частинок по поверхнях конусів;

2.4.2 Вплив частоти коливань жолоба на характер руху частинок

Вплив частоти коливань на якість змішування визначалося графічно при наступних умовах: $\beta = 22^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $A = 12$ мм; $f = 0,35$; $R = 24$ мм; $H = 30$ мм, Частота коливань змінювалася в межах від 4 до 8 Гц з інтервалом 2 Гц.

На рис. 2.10 представлена залежність $v(u)$ при $\omega = 4$ Гц. Траєкторії руху всіх частинок неодноразово перетинаються між собою. Висота підйому по осі v для чотирьох частинок практично однакова і знаходиться в інтервалі 8,5...10,2 мм. Просування вздовж осі u відбувається досить активно: чотири частинки мають бічне зміщення в межах 40° . Одна з кривих має порівняно гострий пік в області екстремального значення. На всіх кривих є повторні перегини.

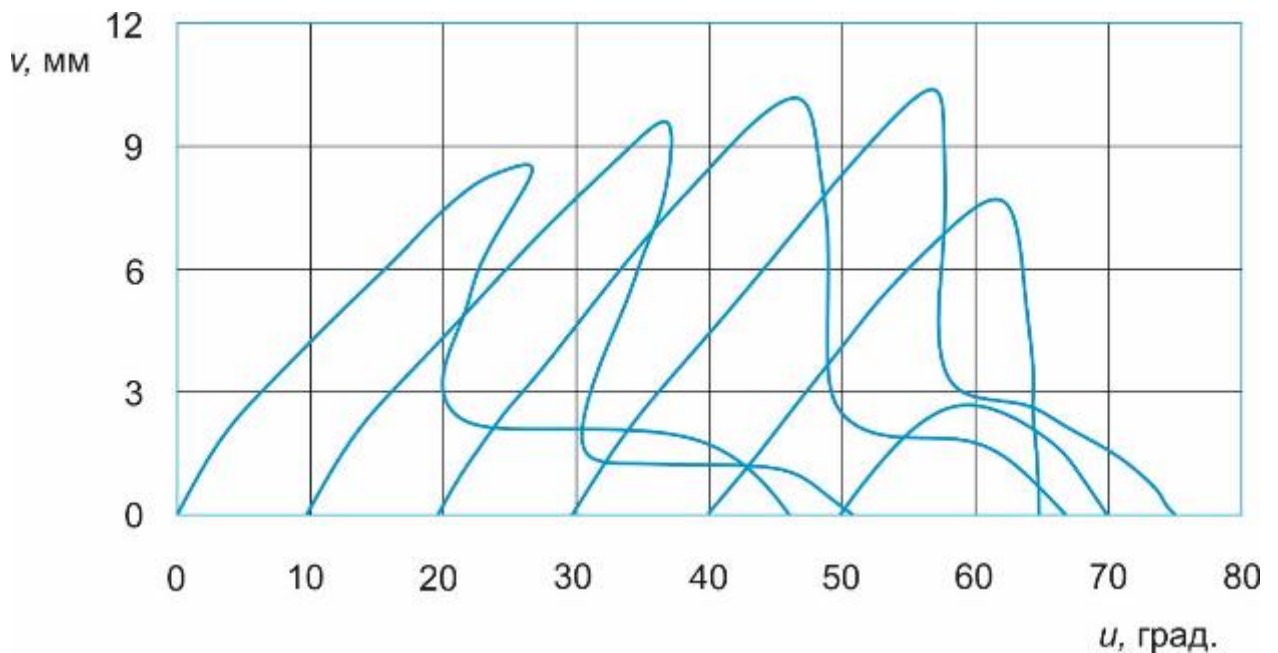


Рисунок 2.10 - Розрахункові траєкторії руху частинок при $\omega = 4$ Гц.

На рис. 2.11 зображена аналогічна залежність $v(u)$ при $\omega = 6$ Гц. Порівняно з попереднім малюнком, істотно згладилися піки в областях екстремуму і в місцях повторного перегину траєкторій. Висота підйому п'яти частинок зросла і практично однакова (13,5... 15,5 мм), що свідчить про відносно рівномірне переміщення частинок. Бічне зміщення цих частинок перевищує 40° , тобто можна говорити про істотне збільшення швидкості частинок, а отже, і про зростання продуктивності вібраційного змішувача сипучих кормів.

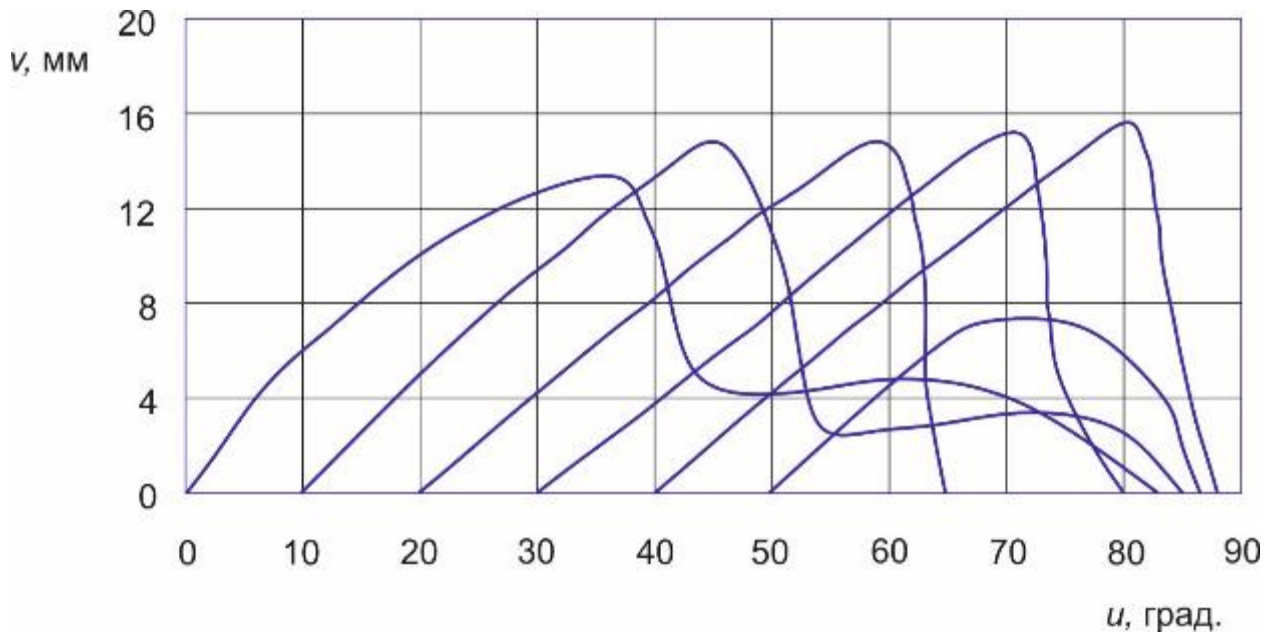


Рисунок 2.11 - Розрахункові траєкторії руху частинок при $\omega = 6$ Гц.

При $\omega = 8$ Гц (рис. 2.12) спостерігаються різкі піки в місцях зміни напрямку руху частинок. У одній з частинок є чотири перегини траєкторії руху. Це свідчить про занадто часту зміну напрямку руху, що може викликати значне збільшення динамічних навантажень на установку. Крім того, в порівнянні з попереднім малюнком, висоти підйому частинок по осі v різко відрізняються. Все це говорить про те, що частота коливань досягла того максимального критичного значення, при якому починається погіршення якості змішування, тобто можливо початок процесу сегрегації.

Аналізуючи вищевикладений матеріал за малюнками 2.10 - 2.12, можна припустити, що найбільш оптимально процес змішування буде протікати при $\omega = 6$ Гц, так як є передумови до підвищення якості змішування і збільшення продуктивності установки за рахунок значної інтенсифікації руху частинок.

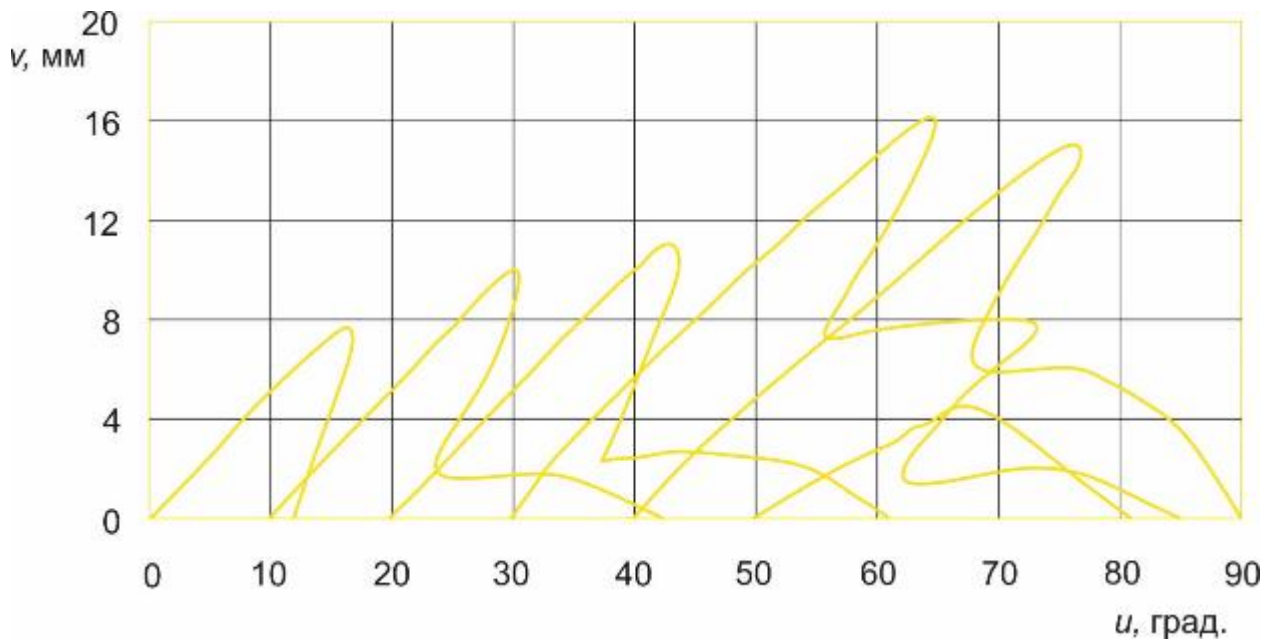


Рисунок 2.12 - Розрахункові траєкторії руху частинок при $\omega = 8$ Гц.

2.4.3 Аналіз теоретичних досліджень руху частинок по конічних поверхнях

За рис. 2.7-2.12 можна зробити наступні висновки. Простежується, що частинки, що мають початкові координати по осі u $30...40^\circ$ мають максимальну висоту підйому по конічній поверхні. Крім цього, вони мають найдовшу траєкторію руху по конусу. Це говорить про те, що ця галузь створює оптимальну лінію підйому частинки на конус на всіх режимах роботи змішувача. Можна припустити, що частинки з початковою координатою $0...30^\circ$ при підйомі на конічну поверхню мають більш круту траєкторію, тому висота їх підйому стає менше. Частинки з початковою координатою $40...50^\circ$ піднімаються на конус на невелику висоту і відразу скочуються з нього незалежно від режиму роботи змішувача. Якщо початкова координата частинки більше 50° , що вона рухається по плоскій поверхні, огинаючи конус біля основи без підйому на нього.

2.5 Висновки

1. Виконано теоретичне обґрунтування кінематичних параметрів вібраційного змішувача: $A = 12$ мм, $\omega = 6$ Гц.

2. Теоретично обґрунтовано основні геометричні параметри конічних поверхонь віброконтакта: $R = 24$ мм; $H=30$ мм, та їх кількість рівну двом.

3. Виконано теоретичні дослідження руху частинок по конічних поверхнях віброконтакта. На підставі даних досліджень визначено ступінь впливу амплітуди та частоти коливань жолоба на характер руху частинок.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ЗМІШУВАЧА

3.1 Загальні положення

Методика проведення науково-дослідних робіт визначає техніку та організацію проведення експерименту відповідно до цілей і завдань найбільш повного розкриття фізичної сутності досліджуваних явищ. На підставі цього і з урахуванням об'єктивних закономірностей, властивих даному процесу, будується кожен розділ методики.

Програмою дослідження передбачається проведення експериментів, які були реалізовані в кілька етапів:

- 1) проектування та виготовлення експериментальної установки для дослідження процесу змішування сипких кормів;
- 2) підготовка обладнання та контрольно-вимірювальної апаратури;
- 3) проведення дослідів і аналіз результатів.

В загальному випадку можуть бути використані різні методики дослідження одного і того ж процесу. Перевагу слід віддавати тій методиці, яка при мінімально допустимому числі вимірів і використанні порівняно нескладного устаткування дозволяє найбільш повно розкрити фізичну суть явища, дає найменші похибки при вимірюванні фізичних величин і не вимагає громіздких обчислень при обробці експериментальних даних.

3.2 Обладнання для проведення експериментальних досліджень

З метою експериментального вивчення процесу змішування сипучих кормів була розроблена і виготовлена лабораторна установка вібраційний змішувач сипучих кормів, загальний вигляд якого представлений на малюнках 3.1 і 3.2.

Відповідно до програми експериментальних досліджень і сучасними тенденціями розвитку кормоприготувальної техніки до лабораторної установки пред'являлися такі вимоги:

- можливість швидкого і зручного варіювання значеннями основних параметрів в допустимих межах;
- простота конструкції, що забезпечує можливість швидкого складання і розбирання, як окремих вузлів, так і всієї установки в цілому;
- порівняно мала метало - і енергоємність;
- можливість безпосереднього спостереження за ходом технологічного процесу;
- вільний доступ до перемішують елементів;
- можливість вимірювання вихідних параметрів за допомогою простих пристосувань;
- стійкість роботи на обраних режимах;

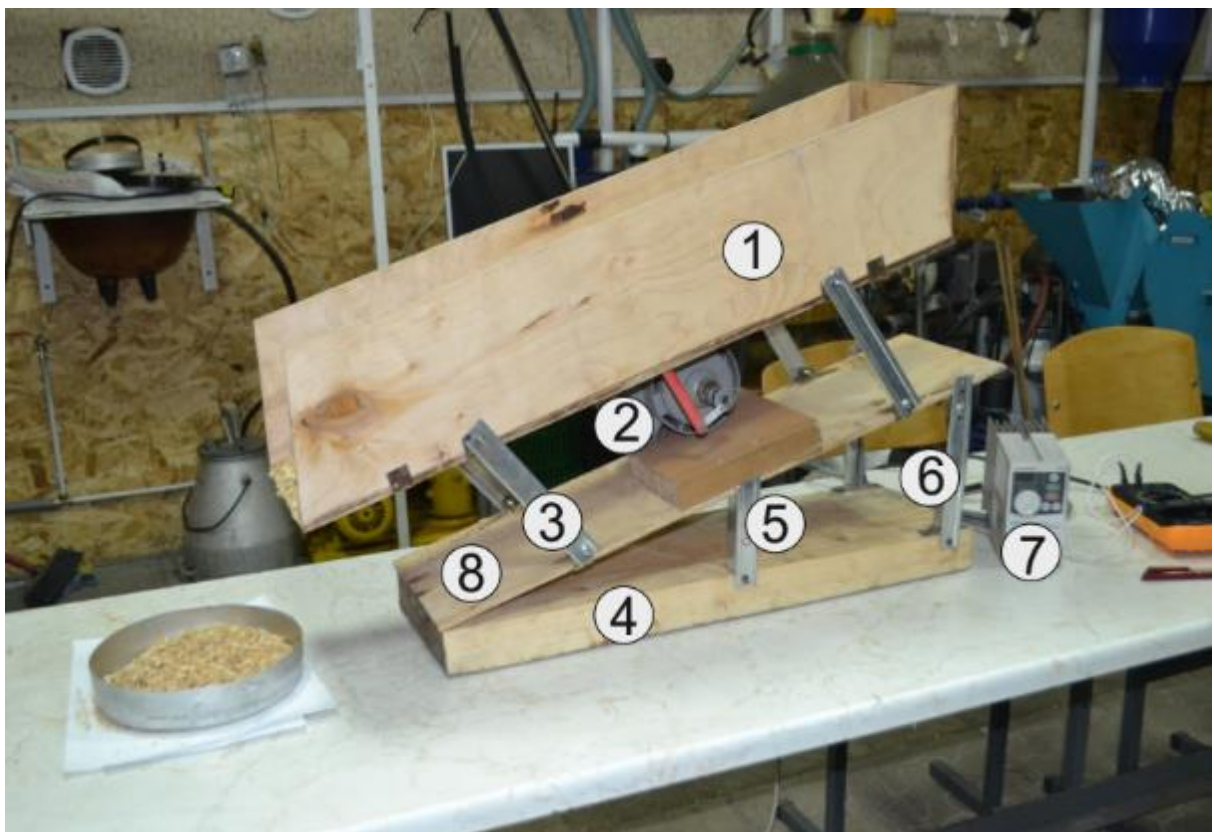


Рис. 3.1 - Загальний вигляд лабораторно-експериментальної установки (вид збоку)

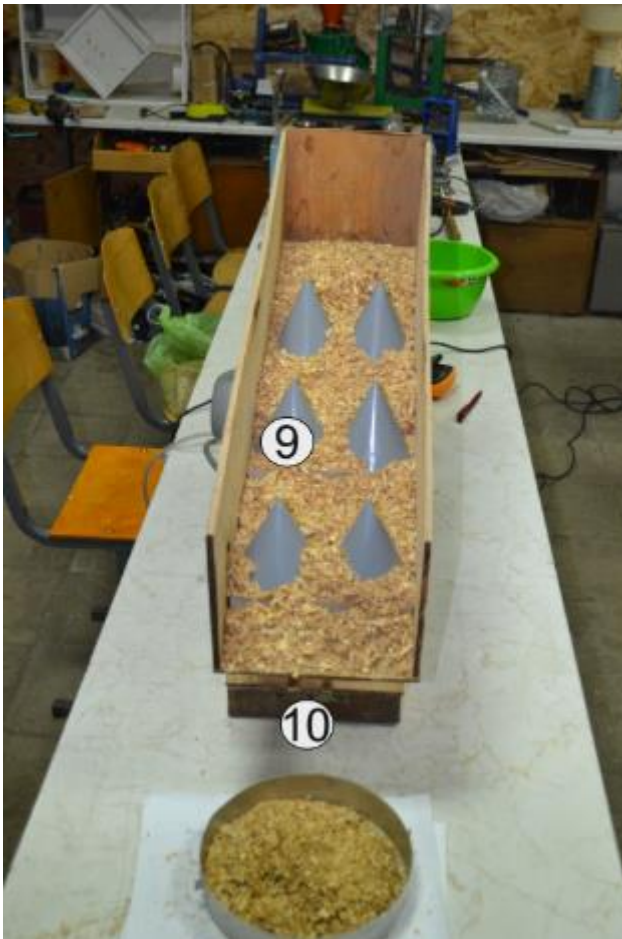


Рис. 3.2 – Загальний вигляд лабораторно-експериментальної установки (вид спереду)

Лабораторно-експериментальна установка складається з наступних основних вузлів: опорної і поворотною рами, ексцентрикового механізму, вібраційного змішувального жолоба з перемішувачими елементами, ресор, електродвигуна.

Опорна рама являє собою нерозбірну конструкцію 4 (рис. 3.1). На ній встановлений поворотний механізм 10, передні 5 і задні стійки 6.

До поворотної рами 8 на перемичках за допомогою болтових з'єднань закріплені ресори 3. Положення поворотної рами можна змінювати, що дозволяє встановлювати віброжолоб 1 по відношенню до горизонту в діапазоні 8-25. До складу привода входять електродвигун 2 і ексцентриковий механізм. Електродвигун встановлений на опорному майданчику поворотної рами. Живлення електродвигуна здійснюється від мережі змінного струму 220 В через випрямну установку. Частоту обертання валу і, отже, частоту коливань жолоба можна міняти за допомогою частотного регулятора Mitsubishi S 500 7.

Змішувальний орган, виконаний у вигляді відкритого жолоба квадратного перетину. Це дозволяє спостерігати характер руху частинок і перемішування шару, а також відбирати проби в будь-якому місці змішувача. Віброжолоб встановлений на ресорах.

Усередині жолоба закріплені перемішуючі елементи 9 (рис. 3.2), що мають конічну робочу поверхню.

3.3 Планування експерименту

Пошук оптимальних параметрів і умов роботи експериментальної установки є однією з найпоширеніших задач інженерних наукових досліджень. Використання математичної теорії планування експерименту значно розширює його можливості. Апарат планування експериментів дозволяє отримати математичну модель конкретного об'єкта дослідження у вигляді рівняння регресії, зазвичай першого або другого ступеня.

При виборі плану експерименту необхідно враховувати, що план повинен забезпечувати максимально можливу точність оцінок коефіцієнтів і всієї моделі в цілому, при цьому кількість дослідів має бути мінімальним.

При оптимізації робочого процесу вибираються найбільш значимі критерії досліджуваних факторів. Основа дослідження робочого процесу подрібнювача з урахуванням траєкторій руху зерна та обґрунтування його конструктивно-кінематичних параметрів лежить аналіз досліджуваних критеріїв оптимізації, в якості яких були прийняті наступні показники.

- а) Питомі витрати енергії E , кВт·год/т.
- б) Однорідність одержаної суміші θ , %.

На основі теоретичних досліджень, було вибрано 3 фактори, які найбільш значимо впливають на перебіг процесу подрібнення.

1. Амплітуда коливань A , мм;
2. Частота коливань ω , Гц;
3. Кут нахилу жолоба до горизонту a , °.

Рівні варіювання факторів і їх кодовані позначення представлені в таблиці 3.1.

Для експериментальних випробувань використовувалася методика планування експерименту з застосуванням плану Бокса-Бенкена, Завдяки цьому плану можна переглянути кореляційні матриці факторів і ефектів. А також вирахувати стандартні оцінки параметрів дисперсійного аналізу, коефіцієнти для перекодованих (-1, 0, +1) чинників і коефіцієнти для не претворених факторів.

Таблиця 3.1 – Рівні варіювання факторів

Найменування факторів	Амплітуда коливань A , мм	Частота коливань ω , Гц	Кут нахилу жолоба до горизонту a , °
Кодоване позначення	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	11,0	6,0	10
Інтервал варіювання	1,0	1,0	2
Верхній рівень ($X_1 = +1$)	12,0	7,0	12
Нижній рівень ($X_1 = -1$)	10,0	5,0	8

Значення інших факторів були прийняті постійними і протягом всього експерименту не змінювалися.

3.4 Результати експериментальних досліджень

Проведення планованого повно факторного експерименту з використанням плану Бокса-Бенкена за допомогою програмного пакету

Statistica передбачає отримання моделі процесу, що описується рівнянням регресії (матриця та результати досліджень приведені в додатку А).

В результаті отримано рівняння регресії, що адекватно на 5%-му рівні значущості ($F^{табл} = 4,20 > F^{роз} = 4,04$), що описує процес зміни якісного показника роботи змішувача в кодованих величинах:

$$Y = 94,93 + 2,415X_1 + 0,490X_2 - 1,635X_3 - 0,54X_1X_2 - 0,394X_1X_3 + 0,99X_2X_3 - 2,183X_1^2 - 1,074X_2^2 - 0,932X_3^2 \quad (3.1)$$

Отримана за результатами експерименту однорідність дисперсій перевірена за критерієм Кохрена на 5%-му рівні значущості ($G^{роз} = 0,4827 < G^{табл(0,05)} = 0,5157$) Розрахункова величина критерію Фішера менше табличних $F^{роз} = 2,85 < F^{табл} = 3,20$ отже; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності.

Аналізуючи отриману модель процесу можна зробити наступні висновки:

1. Так як всі три квадратичні коефіцієнти є статично значущими, то модель є нелінійною і поверхні відгука повинні описуватися кривими другого порядку. Негативні знаки перед цими коефіцієнтами говорять про опуклості кривих, що описують залежності відгуку від відповідних факторів.

2. Найбільш значущим з ефектів взаємодії є коефіцієнт X_1X_2 причому спільне збільшення амплітуди коливань і частоти коливань веде до погіршення якості суміші.

3. Найменший вплив на критерій оптимізації має спільне вплив амплітуди коливань і кута нахилу жолоба до горизонту. Знак «мінус» свідчить про погіршення однорідності суміші при спільному збільшенні даних параметрів.

Після переведення коефіцієнтів з кодованих значень в натуральні, рівняння регресії прийме вигляд:

$$\theta = -641,45 + 65,34A + 20,31\omega + 2,12\alpha - 0,54A\omega - 0,2A\alpha + 0,5\omega\alpha - 2,18A^2 - 1,07\omega^2 - 0,23\alpha^2 \quad (3.2)$$

Аналіз моделі, описуваної рівнянням регресії (3.2), проводиться методом перетинів. В результаті цього отримані поверхні відгуку - залежно однорідності суміші від основних параметрів вібраційного змішувача сипучих кормів. Розглядаючи сукупність статистично значимих параметрів, їх можна розділити на дві групи — кінематичні (амплітуда і частота коливань жолоби) і технологічні (кут нахилу жолоба до горизонту). При оцінці їх впливу на величину відгуку доцільно вести аналіз по виділених групах, по черзі фіксуючи на певних рівнях параметри іншої групи.

При аналізі поверхні відгуку видно, що максимальна однорідність суміші $\theta = 96,5\%$ (рис.3.1) досягається при амплітуді коливань рівній 11 мм і частоті коливань 6,1 Гц. Амплітуда і частота коливань жолоба в рівній мірі відчутно впливають на однорідність одержуваної суміші. У встановленому планом експерименту діапазоні зміни цих параметрів ($A = 10 \dots 12$ мм; $\omega = 6 \dots 7$ Гц) однорідність суміші змінюється в межах 88 ... 96,5% .

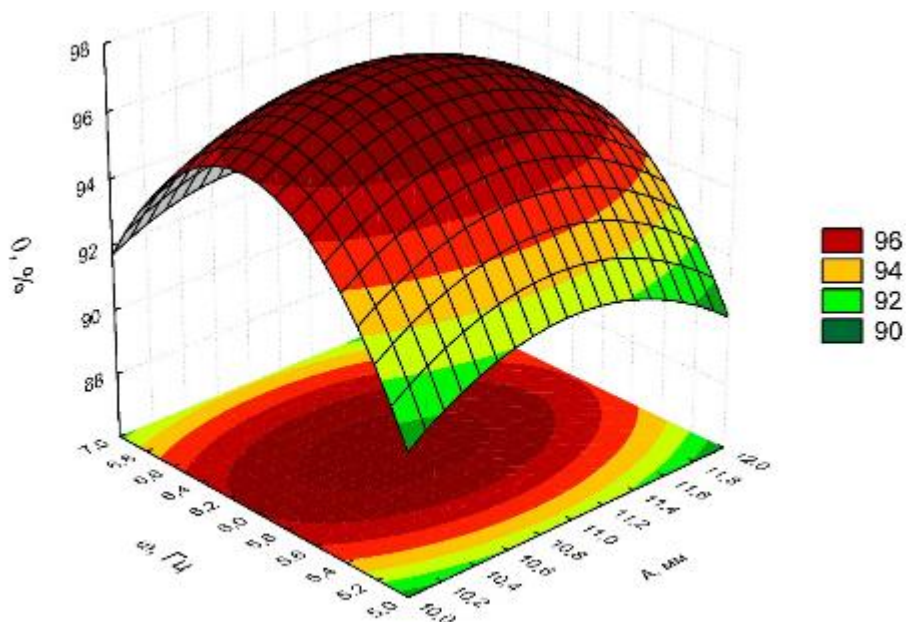


Рис. 3.1 – Залежність однорідності суміші θ від амплітуди і частоти коливань

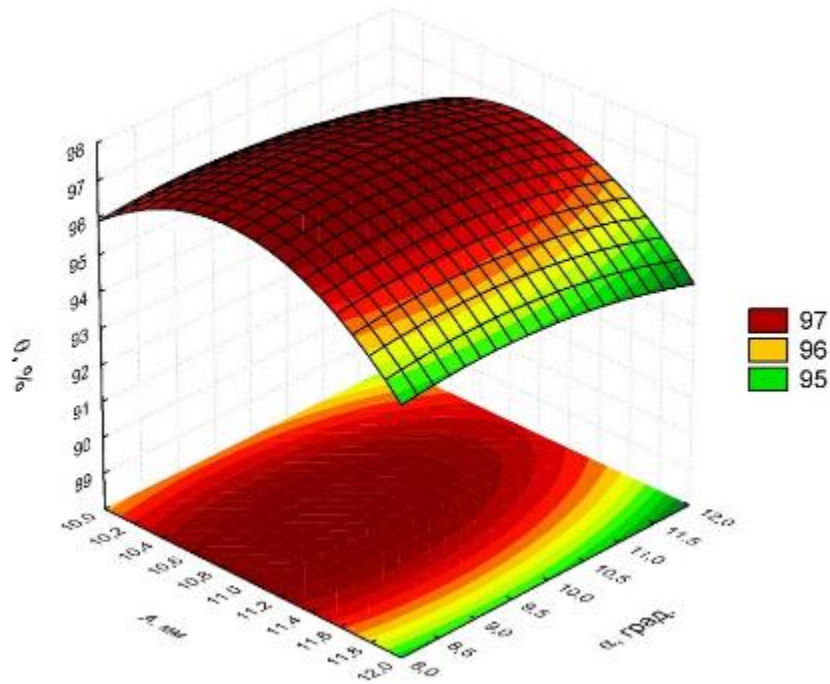


Рис. 3.2 – Залежність однорідності суміші θ від амплітуди коливань і кута нахилу жолоба до горизонту

З аналізу рис. 3.2 можна стверджувати, що кут нахилу жолоба до горизонту впливає на однорідність одержуваної суміші. Але його вплив має майже прямолінійний характер. Амплітуда коливань має значний вплив на однорідність, із збільшенням амплітуди підвищується і однорідність суміші. Найбільша однорідність змішування досягаються при значеннях $A=11$ мм. і $\alpha=10$ град.

Проаналізувавши графік (3.3), робимо висновок, що частота коливань має квадратичний характер и відчутно впливає на однорідність одержуваної суміші. При цьому кут нахилу також має вплив, але не такий вагомий. З збільшенням частоти коливань збільшується і однорідність до певного значення а саме до 6,0, а потім відбувається зменшення якості змішування.

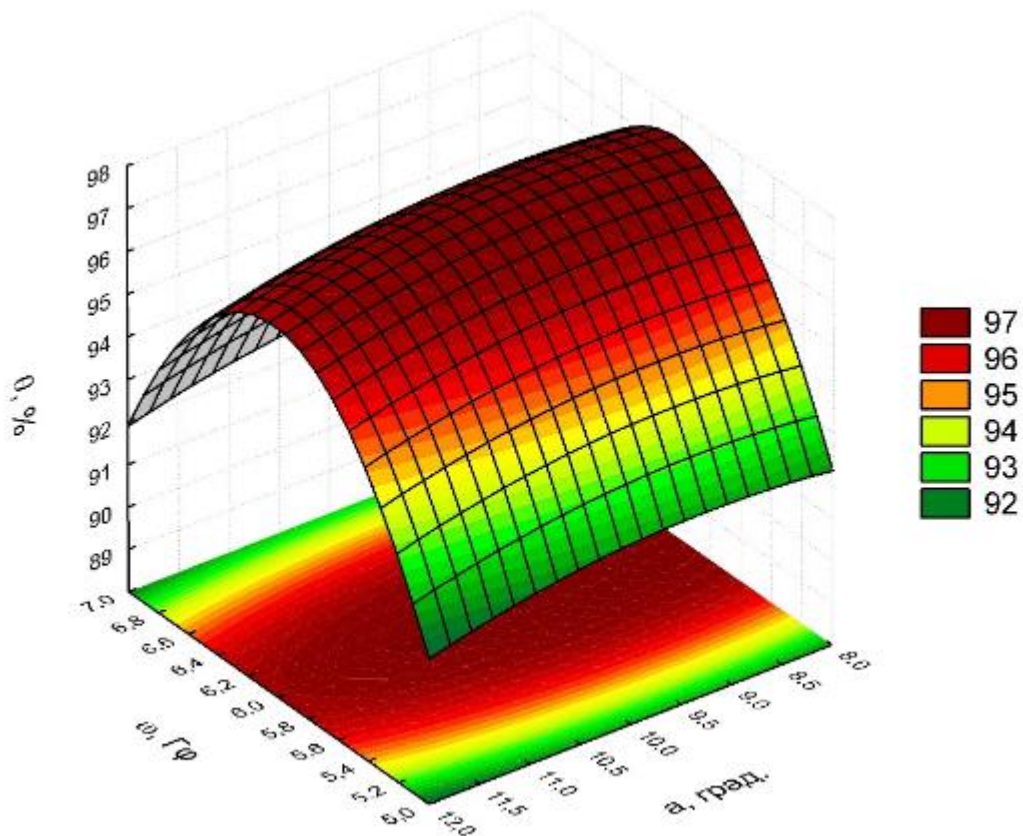


Рис. 3.3 – Залежність однорідності суміші θ від частоти коливань ω і кута нахилу до горизонту α

3.5 Висновки

1. Шляхом проведення експерименту виявлено фактори, що впливають на якість процесу змішування: амплітуда та частота коливань жолоба, кут нахилу жолоба до горизонту.

2. В результаті проведення планованого багатофакторного експерименту отримано рівняння регресії другого порядку (3.2), яке є математичною моделлю залежності якості суміші від основних параметрів вібраційного змішувача.

3. Визначено оптимальні параметри вібраційного змішувача, які знаходяться в межах: амплітуда коливань жолоба $A = 10...12$ мм, частота коливань жолоба $\omega = 6...7$ Гц, кут нахилу жолоба до горизонту $\alpha = 8...12^\circ$, кут спрямованості вібрації жолоба $\beta = 22^\circ$. На цьому режимі роботи однорідність суміші становить 96...97 % при продуктивності 1,3 т/ч.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі в комбікормових цехах

Охорона праці в комбікормових цехах є важливою складовою безпеки на виробництві, оскільки ця сфера пов'язана з ризиками, які можуть загрожувати здоров'ю працівників. В Україні та Європі існує низка нормативно-правових актів, що регулюють вимоги до охорони праці в комбікормових цехах.

В Україні основним документом, що регулює охорону праці, є Закон України «Про охорону праці». Цей закон встановлює обов'язки роботодавців забезпечувати безпечні умови праці, проводити навчання з охорони праці, а також забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).

Державні стандарти України (ДСТУ) містять вимоги до безпеки праці в агропромисловому комплексі, зокрема, в комбікормових цехах. Наприклад, ДСТУ 7348:2015 визначає вимоги до безпечної експлуатації обладнання в цехах з переробки сільськогосподарської продукції.

Європейське законодавство. Основними директивами, що регулюють охорону праці в Європі, є Директива 89/391/ЄЕС про забезпечення безпеки та здоров'я працівників на робочих місцях, Директива 2006/42/ЄС про машини та Директива 98/24/ЄС про захист працівників від хімічних агентів.

Роботодавці повинні проводити регулярну оцінку ризиків на робочих місцях, щоб ідентифікувати потенційні небезпеки, пов'язані з роботою в комбікормових цехах. Працівники зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту, такі як спеціальний одяг, захисні окуляри, респіратори, рукавиці, захисне взуття тощо.

Робочі місця повинні бути організовані так, щоб зменшити ризик травматизму. Необхідно забезпечити вільний доступ до евакуаційних виходів, наявність вказівників безпеки та належне освітлення.

Важливо забезпечити належну вентиляцію в комбікормових цехах для запобігання накопиченню шкідливих газів та пилу, які можуть негативно вплинути на здоров'я працівників.

Працівники повинні проходити регулярне навчання з охорони праці, включаючи первинний та повторний інструктажі, щоб знати, як правильно користуватися обладнанням та уникати небезпечних ситуацій.

Регулярний технічний нагляд за обладнанням і його своєчасне обслуговування є важливими для запобігання аварійним ситуаціям.

У комбікормових цехах, де використовується зерно та інші сільськогосподарські продукти, необхідно вживати заходів для запобігання вибухам, пов'язаним з пилом. Це включає використання системи вентиляції та очищення пилу.

Працівники повинні дотримуватися правил безпеки під час роботи з обладнанням, уникаючи контакту з рухомими частинами машин. У разі виникнення аварійної ситуації, працівники повинні бути поінформовані про план дій та мати доступ до засобів для надання першої допомоги.

Забезпечення охорони праці в комбікормових цехах є необхідною умовою для безпечної роботи працівників і збереження їхнього здоров'я. Дотримання вимог українського та європейського законодавства, а також впровадження сучасних стандартів безпеки, допоможуть знизити ризики травмування та покращити умови праці в цій сфері.

4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі в комбікормових цехах

1. Загальні положення

1.1. Ця інструкція визначає правила безпеки під час виконання робіт в комбікормових цехах та є обов'язковою для всіх працівників, які здійснюють діяльність в даних приміщеннях.

1.2. Інструкція розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці», Державних стандартів безпеки праці та чинних нормативно-правових актів.

1.3. До роботи в комбікормових цехах допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли медичний огляд, інструктаж з охорони праці та мають відповідні навички і знання.

1.4. Працівники зобов'язані проходити регулярні інструктажі (вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий) та дотримуватись правил техніки безпеки.

1.5. Забороняється виконання робіт в комбікормових цехах у випадках, коли виявлено несправності обладнання або виникли інші небезпечні умови.

2. Вимоги до засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

2.1. Працівники повинні використовувати наступні засоби індивідуального захисту під час роботи в комбікормових цехах:

Спеціальний одяг (комбінезон або робочий одяг);

Захисне взуття з антиковзким покриттям;

Рукавиці для захисту рук;

Захисні окуляри для захисту очей від пилу та дрібних часток;

Респіратор або маска для захисту органів дихання під час роботи з комбікормами;

Захисні навушники або беруші для захисту слуху від шуму.

3. Вимоги до безпечної експлуатації обладнання

3.1. Перед початком роботи працівник зобов'язаний перевірити технічний стан обладнання, переконатися в наявності та справності захисних елементів.

3.2. Забороняється запускати обладнання в разі виявлення сторонніх предметів у зоні його дії.

3.3. Під час роботи з обладнанням слід дотримуватись безпечної дистанції та уникати доторкань до рухомих частин.

3.4. У разі виявлення несправностей у роботі обладнання, його необхідно негайно зупинити, відключити від джерела живлення та повідомити відповідальну особу.

3.5. При виконанні робіт у закритих приміщеннях необхідно забезпечити належну вентиляцію для запобігання накопиченню шкідливих газів.

4. Вимоги до безпеки під час роботи

4.1. Під час роботи в комбікормових цехах забороняється:

Працювати без засобів індивідуального захисту;

Залишати працююче обладнання без нагляду;

Очищувати, ремонтувати або проводити технічне обслуговування під час роботи обладнання.

4.2. У разі виникнення аварійної ситуації (пожежа, обрив електрокабелів, виявлення витoku рідин) необхідно:

Негайно зупинити роботу обладнання;

Відключити його від електромережі;

Використати засоби пожежогасіння, якщо це необхідно;

Діяти відповідно до плану ліквідації аварій.

5. Пожежна безпека

5.1. У зоні роботи з комбікормами повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння (вогнегасник, пісок, лопата).

5.2. Паливно-мастильні матеріали повинні зберігатися в спеціально відведених місцях, що відповідають вимогам пожежної безпеки.

5.3. При виникненні пожежі негайно повідомте відповідну службу, зупиніть обладнання та використайте наявні засоби пожежогасіння.

6. Заключні положення

6.1. Після завершення робіт необхідно зупинити обладнання, вимкнути його від джерела живлення, очистити від залишків комбікорму та перевірити технічний стан.

6.2. Робоча зона повинна бути очищена від сміття, комбікорму та інших забруднень.

6.3. У разі травмування або інших надзвичайних ситуацій працівник повинен негайно повідомити керівника робіт та звернутися за медичною допомогою.

4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій під час артобстрілу

Уважно слухайте оповіщення: Будьте уважні до звукових сигналів та інформаційних повідомлень. Якщо ви почули сигнал тривоги, негайно дізнайтеся про ситуацію.

Знайдіть укриття: Якщо ви на вулиці, намагайтеся знайти найближче укриття, таке як: Бомбосховища. Підвали. Будівлі з міцними стінами, подалі від вікон. Природні укриття, такі як ями або канами.

Уникайте небезпечних зон: Уникайте місць з великими скляними вікнами, фасадами та відкритими просторами. Переміщайтеся до місць, де є менше ризику від уламків.

Перебування в укритті: Закрийте двері і вікна, щоб зменшити ризик травм від уламків. Займіть безпечне місце в укритті: Біля внутрішніх стін. У найбільш захищених частинах (наприклад, коридор або ванна кімната).

Дії під час обстрілу: Зберігайте спокій і не панікуйте. Намагайтеся уникати шуму, щоб чути можливі інструкції. Якщо ви перебуваєте в укритті, залишайтеся там до офіційного повідомлення про закінчення обстрілу.

Перевірте свій стан: Після обстрілу перевірте себе і людей поруч на наявність травм. У разі потреби надайте першу допомогу.

Вихід з укриття: Чекайте офіційного повідомлення про закінчення небезпеки перед тим, як виходити. Обережно покидайте укриття, зважайте на можливі уламки, обірвані дроти та інші небезпеки.

Повідомлення про допомогу: Якщо ви стали свідком обстрілу або виявили пошкодження, негайно повідомте про це відповідні служби. За

можливості, надайте першу допомогу постраждалим до прибуття рятувальних служб.

Дотримання інформаційної безпеки: Уникайте публікації інформації про обстріли та ваше місцезнаходження в соціальних мережах або відкритих джерелах.

Будьте готові до повторних обстрілів та дотримуйтесь обережності при виході з укриття. Регулярно оновлюйте свої знання про порядок дій у надзвичайних ситуаціях та слідкуйте за рекомендаціями місцевих органів влади.

4.4 Висновки

Охорона праці в комбикормових цехах є критично важливою для забезпечення безпеки працівників. Вона регулюється українським та європейським законодавством, що передбачає зниження ризиків травмування та професійних захворювань. Працівники зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), проходити навчання та інструктажі, а також дотримуватися вимог пожежної безпеки.

Регулярний технічний нагляд за обладнанням і знання порядку дій у надзвичайних ситуаціях, таких як артобстріл, є важливими для забезпечення безпеки. Впровадження зазначених заходів допоможе знизити ризики травмування та покращити умови праці в комбикормових цехах.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ЗМІШУВАЧА КОМБІКОРМІВ

5.1 Вихідні дані

У цьому розділі аналізується передбачувана економічна ефективність використання розробленого змішувача сипких кормів. Найближчим за характеристиками (зокрема, за продуктивністю та однорідністю змішування не нижче 96%) до розробленої моделі є серійний змішувач сипких кормів ЗСК-1,2, який обрано для порівняння. Порівняння економічних показників розробленого та серійного змішувачів проводитиметься за питомими експлуатаційними витратами (П), грн/т, без врахування конкретних об'ємів змішування. Розрахунки виконуватимуться для однозмінного режиму роботи. Вихідні дані для розрахунків подано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку техніко економічних показників

Показник	Варіанти	
	ЗСК-1,2	розроблений змішувач
1	2	3
Продуктивність, т/год.	1,2	1,3
Споживана потужність, кВт	1,5	0,4
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Тривалість зміни, год.	8	8
Строк служби, років	11	11
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,9	0,9
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт	0,15	0,15
Балансова вартість, грн.	11000	-
Капітальні вкладення, грн.	-	12300

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівняння змішувачів, зокрема базового та удосконаленого, буде проведено за питомими експлуатаційними витратами. До складу цих витрат входять різноманітні компоненти, такі як витрати на заробітну плату працівників, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування, а також витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання. Для виконання розрахунків цих показників будемо використовувати методики та рекомендації, зазначені в [36].

Таблиця 5.2 - Показники економічної ефективності розробленого змішувача

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	ЗСК-1,2	розроблений змішувач	
Продуктивність, т/год.	1,2	1,3	108,3
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100
Балансова вартість, грн.	11000	-	-
Капітальні вкладення, грн.	-	12300	-
Питомі приведені витрати, грн./т	32,93	29,45	89,4
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	32,31	28,76	89
в т.ч.: заробітна платня	25,94	24,86	92,3
витрати на електроенергію	2,1	0,51	24,6
амортизаційні відрахування	2,8	2,89	103,2
витрати на ТО та ремонт	0,46	0,48	104,3
Строк окупності, років	-	1,3	-
Річний економічний ефект, грн.	-	9238,7	-

5.3 Висновки

Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що він має переваги в експлуатаційних витратах у порівнянні з базовим ЗСК-1,2. Річний економічний ефект від впровадження розробленого змішувача за 100% завантаження становить 9238,7 грн. У цьому випадку строк окупності складе всього 1,3 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу стану питання встановлено, що найбільш ефективно процес змішування сипких кормів протікає в стані «псевдозрідження» при накладенні на сипку середу вібрації.

2. Теоретично обґрунтовано оптимальні розміри і кількість конічних поверхонь віброконтакта: висота конусів $H = 30$ мм; діаметр основи конусів $D = 48$ мм; кількість конусів в одному ряду — 2 шт.

3. Отримана за результатами експериментальних досліджень математична модель (3.2), на 5 %-му рівні адекватно описує процес змішування сипучих кормів. Експериментально отримані оптимальні значення параметрів

вібраційного змішувача: амплітуда коливань жолоба $A = 11...12$ мм, годину частота коливань жолоба $\omega = 6...7$ Гц, кількість перемішують елементів $n = 3$ шт, кут нахилу жолоба до горизонту $\alpha = 7...12$, Кут спрямованості вібрації жолоба $\beta = 22^\circ$. На цьому режимі роботи однорідність суміші становить 96...97 % при продуктивності 1,3 т/ч.

4. Проведено дослідження стану охорони праці на кафедрі МВІТ та проаналізовано травматизм на ній. Було проведене обстеження розробленого доїльного апарату, що дало змогу встановити дію небезпечних та шкідливих факторів оператора. Також розглянуто необхідні дії при виникненні надзвичайних ситуацій.

5. Виконані техніко-економічні розрахунки показали, що експериментальний вібраційний змішувач дозволяє отримати: питому енергоємність процесу 0,35...0,4 кВт-год/т;. При використанні віброзмішувача, в порівнянні з базовою моделлю, знижуються такі показники: питоме споживання електроенергії - на 24,6 %. Річний економічний ефект склав 9238,7 грн., термін окупності витрат – 1,3 роки.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Єгоров, Б.В. Технологія виробництва комбікормів [Текст]: підруч. для вищ. навч. закладів/Б.В. Єгоров.–Одеса.: Друкарський дім, 2011.– 448 с.
2. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.
3. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5
4. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p
5. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш //Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.
6. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

7. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка // *Materialy XV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019»*, Volume 10 *Przemysł: Nauka i studia*– 36-39 s.

8. Дудін В.Ю. Дослідження подрібнювача фуражного зерна сколюючої дії / В.Ю. Дудін, О.М. Антіпов // *Materialy XV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019»*, Volume 10 *Przemysł: Nauka i studia* -33-35 s.

9. Suhadi, W. Die Schecke als Arbeitsorgan in verarbeitungs - maschinen. / W.Suhadi. // *-Maschinenbautemechnik* –№5, 1967, – P. 41-56. (англ)

10. Oyama J., Ayaki K. Kagaki Kikai, 1956, №20, – P. 6.

11. Lacey. P.M. Development in the Thery of Particfl mixing. *J. Appl. Chem.* 1954, №4, – P. 257

12. Duschek K. Optimierung der Produktion in einem bolivianischen Ziegelwerk / *Ziegelindustrie International*. Wiesbaden: Dauerlag

13. <https://www.youtube.com/watch?v=EDiCLSN6sUc>

14. http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf

15. <https://www.youtube.com/watch?v=uVjg2cnGbMg>

16. https://downloads.skiold.dk/downloads/leaflets/engelsk/disc-mill_gb.pdf

17. <https://downloads.skiold.dk/downloads/feed/psheet/130986003949.pdf>

18. <https://agrostory.com/ua/info-centre/agronomists/mobilnyy-kombikormovyuy-zavod-i-perspektivy-ego-ispolzovaniya-/>

19. <https://propozitsiya.com/ua/kombikorm-na-kolesah>

20. <https://www.youtube.com/watch?v=QGzboM0oPas>

21. <https://riela.com.ua/peresuvna-ustanovka-kombikormiv/>

22. Magnus, K. Schwingungen: Eine Einführung in die physikalischen Grundlagen und die theoretische Behandlung von Schwingungsproblemen [Text] / Kurt Magnus. - Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2008. – 74p.

23. Parkinson, A.G. Vibration and balancing of rotating continuous shafts [Text]/A.G. Parkinson, R.E.V. Bishop // Proc. IMechE, Part C: J. Mechanical Engineering Science. – 1961. – No.3. – P. 200-213.

24. Баранецька О.Р. Вібраційне змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / О.Р. Баранецька // Машинознавство. – 2000. – № 3 (33). – С. 60–63.

25. Афтаназів, І.С. Вибір технології і обладнання для змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / І.С.Афтаназів, О.Р.Баранецька, О.М. Сімчук// Машинознавство. – 1999. – № 5 (23). – С. 55–62.

26. Берник, М.П. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача [Текст] / М.П. Берник, О.В. Цуркан, Л.Д. Величко // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – № 2(18). – С. 3–7.

27. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation doctor of philosophy: 05.2003/ O.Sarang // USA: New Jersey. – 2016. – P.1-8 (140).

28. Берник М.П., Цуркан О.В. Обґрунтування технологічних та конструктивних схем енергозберігаючих віброзмішувачів барабанного типу // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – №1 (17). – С. 34–37.

29. Цуркан О.В., Величко Л.Д. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – №2 (18). – С. 3–7.

30. Берник П.С., Берник М.П., Цуркан О.В. Енергозберігаючі змішувачі для приготування сипучих кормів // Техніка АПК. – 2003. – №8. – С. 16–18.

31. Регресійний аналіз [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://libfree.com/114811945_ekonomikaregresiyniy_analiz.html- Назва з екрану.

32. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: Дис.- докт. техн. наук: 05.20.01. - К., 1997.- 425 с.

33. Гевко І.Б., Гурик О.Я. Дослідження конструкторсько-технологічних параметрів зони перевантаження гвинтових транспортно-технологічних систем. Збірник наукових праць Національного аграрного університету

"Механізація сільськогосподарського виробництва". - Том VII. - К.: Видавництво НАУ. - 2000. - с. 184-190.

34. Григор'єв А.М., Преображенський П.А. Комплексна механізація і автоматизація вантажорозвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні. К.: Наукова думка, - 1967. - 116 с.

35. Радик Д.Л., Гурик О.Я. Дослідження енерговитрат шнекового змішувача. - Тернопіль: Вісник ТДТУ, 2001, Том. 6, №3 - С56-61.

36. Оришка Х.О., Гончаров В., Кравцова Г., Артюхов А.. Процес взаємодії з сипкими матеріалами у постачальному пристрої гравітаційно-роторного типу. Вісник ТДТУ, Т.6., №4., 2001. С. 88-95.

37. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. Навч. посібник. -К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.

38. Стадник І.Я. Науково-технічні основи дискретної дії на компоненти при перемішуванні : монографія / І.Я. Стадник. – Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2015. – 240 с.

39. Strenk F. Mieszanieimieszalniki (Mixing and mixingequipment) / F.Strenk. – Warszawa : Wydawnictwa NaukowoTechniczne, 1971. – 367 p.

40. Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста : дис ... д.т.н. : 05.18.12 / І.Я. Стадник. – Київ. – 2013. – 487 с.

41. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition / I.Stadnyk, J.Pankiv, P.Navrylko, H.Karpyk // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13. – № 1. – P. 581–592. DOI: 10.5219/1129. 5

42. Корнієнко Я.М. Процеси переносу в дисперсних системах : навч. посіб. / Я.М. Корнієнко, Р.В. Сачок. – Київ, 2011. – 132 с. 10. Расслоение в псевдоожигеном слое [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://repetitora.com/rassloeniev-psevdoozhizhenom-sloe>.

43. Drobot V.I. Technological calculations in baking production / V.I. Drobot. – Condor, 2010. – 440 p.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Удосконалення технічного забезпечення процесу приготування комбікорму

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-23
Похилинський Андрій Станіславович

Керівник: к.т.н., доцент
Івлєв Віталій Володимирович

Дніпро 2024

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета досліджень: підвищення якості змішування сипучих кормів за рахунок застосування вібраційного змішувача безперервної дії.

У відповідності до поставленої мети було визначено основні **задачі**, що необхідно вирішити:

- провести аналіз сучасних технологічних процесів та конструкцій змішувачів сипких компонентів при виробництві комбікормів;
- теоретично обґрунтувати оптимальні розміри і кількість конічних поверхонь віброконтакту;
- експериментально обґрунтувати і отримати оптимальні значення конструкційно-технологічні параметрів вібраційного змішувача;
- провести аналіз розробленого змішувача з точки зору охорони праці;
- виконати техніко-економічну оцінку розробленої конструкції вібраційного змішувача.

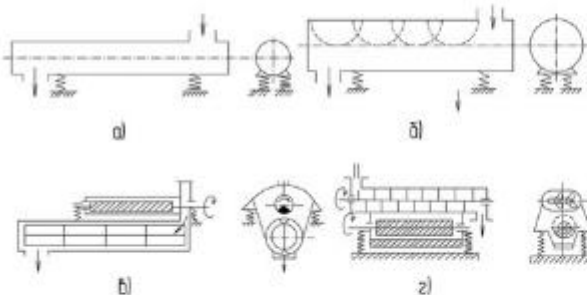
Об'єкт дослідження - процес змішування сипучих кормів у віброжолобі з перемішуваними елементами, що мають конічні поверхню віброконтакту.

Предмет дослідження - закономірності процесу взаємодії сипучих кормів з робочими органами змішувача.



Рисунок 1 – Класифікація вібраційних змішувачів кормів

3



4

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

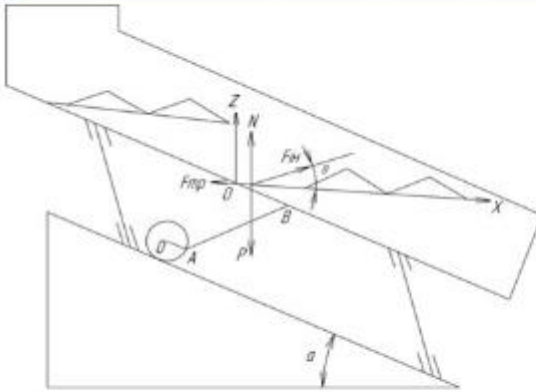


Рисунок 4 - Розрахункова схема сил, що діють на частку при її русі по площині перемішувачого елемента.

- 1) N - сила нормальної реакції.
- 2) F_{mp} - сила тертя, яка може бути спрямована по ходу руху потоку частинок або в протилежному напрямі, в залежності від напрямку руху частинки у відносному русі. На рисунку 4 напрямом F_{mp} відповідає ковзання частки вниз.
- 3) P - сила тяжіння.
- 4) F_{in} - переносна сила інерції.

Диференціальні рівняння ковзання (без відриву) руху частинки щодо площини перемішувачого елемента приймуть вигляд:

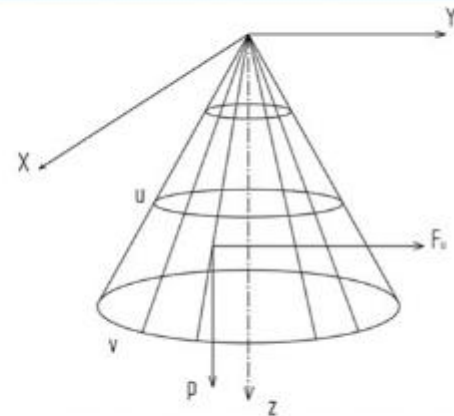


Рисунок 5 - Розрахункова схема сил, що діють на частинку при її русі по конічній поверхні

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = mg \sin \alpha + F_{in} \cos \beta \pm F_n \\ m \frac{dv_z}{dt} = N - mg \cos \alpha + F_{in} \sin \beta \end{cases}$$

Параметричне рівняння будь-якої поверхні:

$$\vec{r}(u, v) = (f_1(u, v), f_2(u, v), f_3(u, v))$$

Параметричне рівняння поверхні конуса:

$$\vec{r}(u, v) = (v \sin u, v \cos u, v / k)$$

5

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

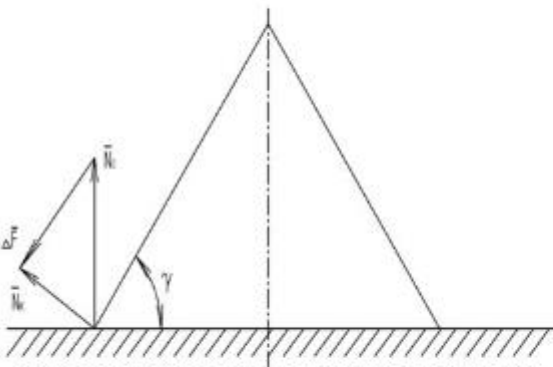


Рисунок 6 - Схема сил, що діють на частинку при наближенні її до конуса без відриву від поверхні.

Якщо вважати рух матеріальної частки по поверхні (рис. 6), виключаючи можливість відриву, то наближення частки до конуса обернеться ударом по закону:

$$m \vec{V}_k - m \vec{V}_0 = \int \Delta \vec{F} dt$$

У момент удару швидкість змінюється стрибкоподібно. При абсолютно пружному ударі кут падіння буде дорівнювати куту відбиття.

$$\begin{cases} \dot{x} = A \sin \alpha \cos \alpha \\ \dot{z} = A \sin \alpha \sin \alpha \end{cases}$$

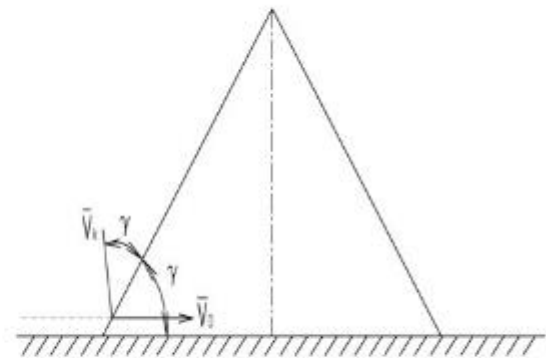


Рисунок 7 - Швидкості, що діють на частку при наближенні її до конуса без торкання площини

$$\begin{aligned} x(t) &= -\frac{A}{\omega^2} \sin \alpha t \cos \alpha + \dot{x}_0 t + x_0 \\ z(t) &= -\frac{gt^2}{2} - \frac{A}{\omega^2} \sin \alpha t \cos \alpha + \dot{y}_0 t + y_0 \end{aligned}$$

Якщо $g = A \sin \alpha$, то стає можливим рух матеріальної частинки з відривом від поверхні. В даному вираженні A - амплітуда прискорення в переносному русі, пропорційна квадрату кутової швидкості:

$$\begin{aligned} mg &= mA \sin \alpha \sin \alpha \\ g &= A \sin \alpha \sin \alpha \end{aligned}$$

6

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

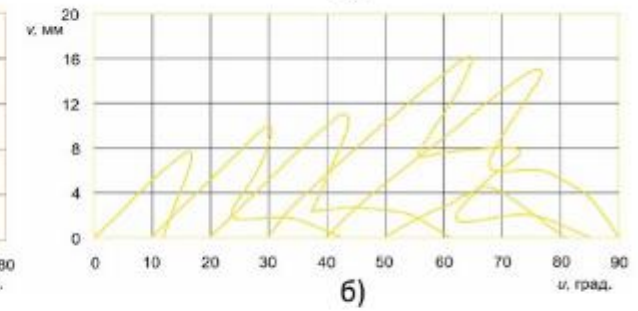
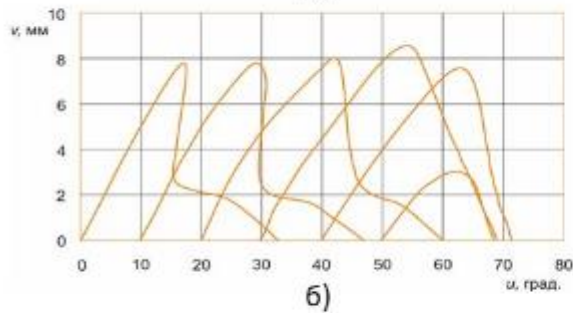
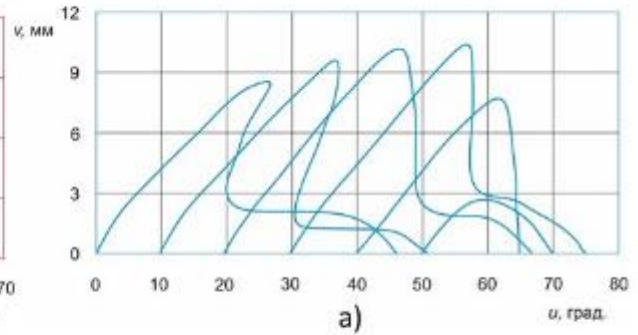
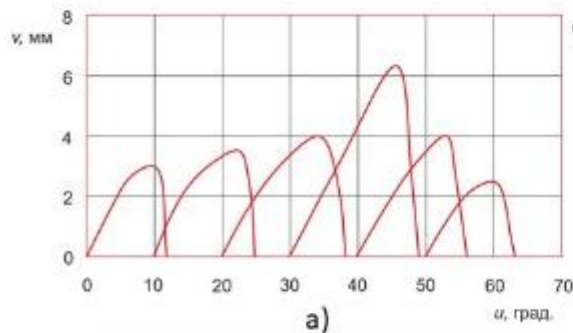


Рисунок 8 - Розрахункові траєкторії руху частинок при $A = 8$ (а) та 12 (б) мм.

Рисунок 9 - Розрахункові траєкторії руху частинок при 4 (а) та 8 (б) Гц.

7

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

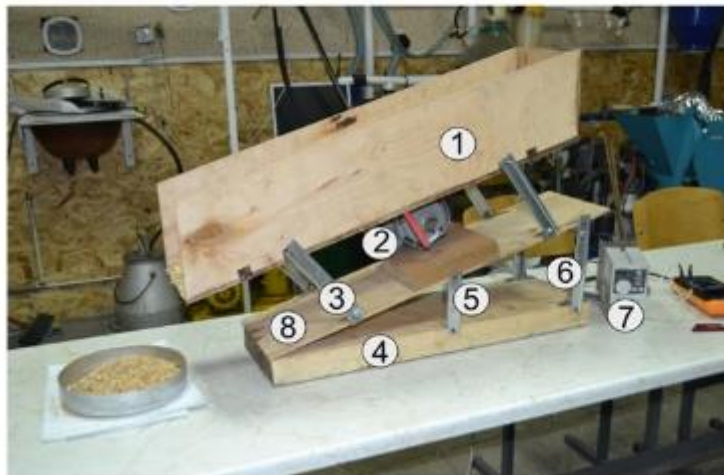


Рисунок 10 – Вібраційний змішувач вид збоку (а) та вид з переду (б): 1 – віброжолоб; 2 – електродвигун АІР 56 А2; 3 – ресора; 4 – опорна рама; 5 – передня стійка; 6 – задня стійка; 7 – частотний регулятор Mitsubishi S 500; 8 – поворотна рама; 9 - змішуючі органи конічної форми; 10 – поворотний механізм.

8

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

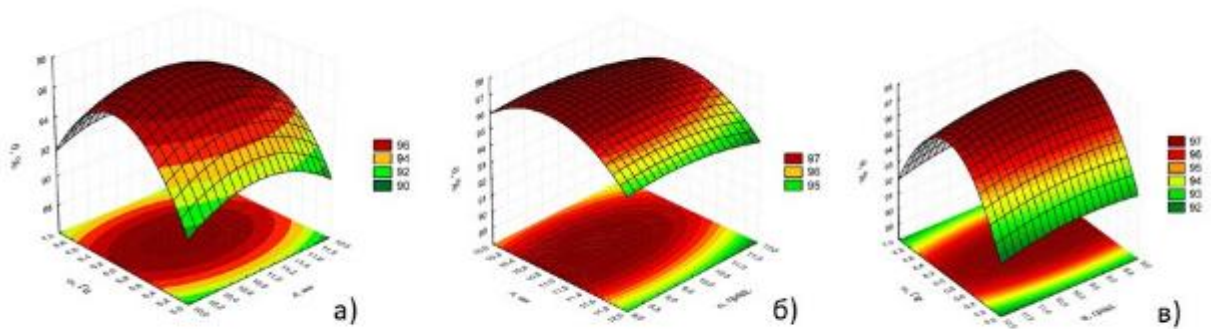


Рисунок 11 – Залежність однорідності змішування від: а - амплітуди та частоти коливань; б – амплітуди коливань і кута нахилу жолоба до горизонту; в – частоти коливань і кута нахилу до горизонту

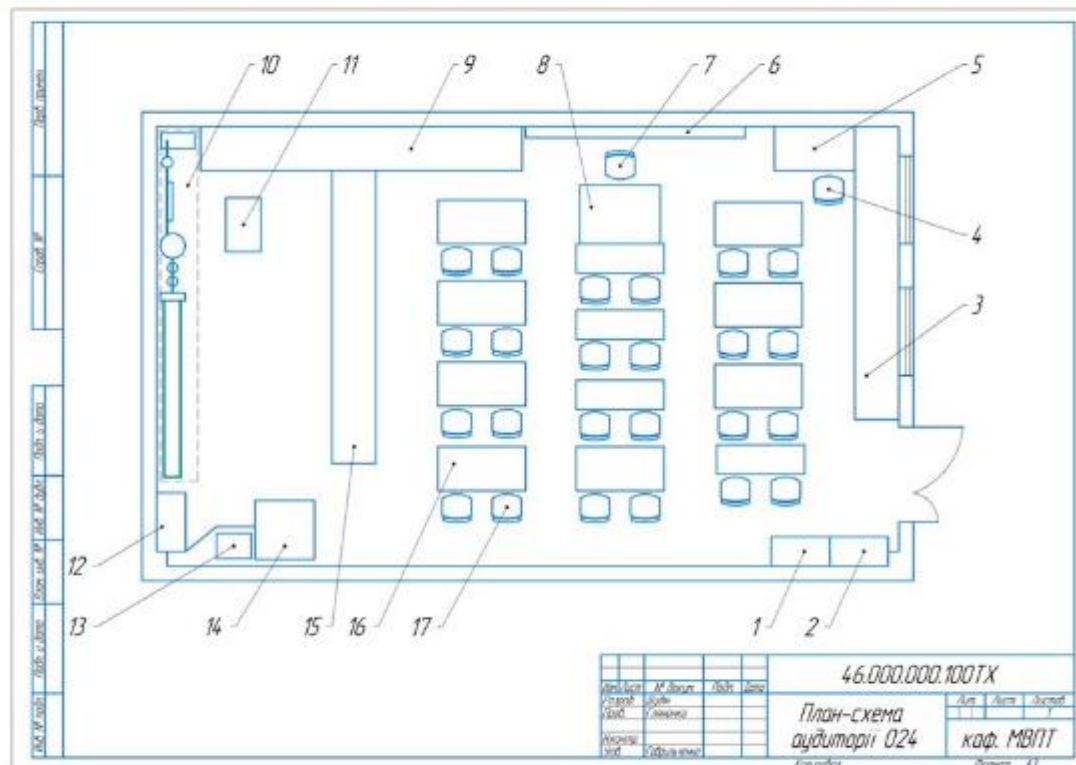
Після переведення коефіцієнтів з кодованих значень в натуральні, рівняння регресії набуде вигляду:

$$\theta = -641,45 + 65,34A + 20,31\omega + 2,12\alpha - 0,54A\omega - 0,2A\alpha + 0,5\omega\alpha - 2,18A^2 - 1,07\omega^2 - 0,23\alpha^2$$

Визначено оптимальні параметри вібраційного змішувача, які знаходяться в межах: амплітуда коливань жолоба $A = 10 \dots 12$ мм, частота коливань жолоба $\omega = 6 \dots 7$ Гц, кут нахилу жолоба до горизонту $7 \dots 12^\circ$, кут спрямованості вібрації жолоба $B = 22^\circ$. На цьому режимі роботи однорідність суміші становить $96 \dots 97\%$ при продуктивності $1,3$ т/ч.

9

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ



10

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Таблиця 1 - Показники економічної ефективності розробленого змішувача

Показники	Варіанти		Проектова ний у % до базового
	ЗСК-1,2	розроблений змішувач	
1	2	3	4
Продуктивність, т/год.	1,2	1,3	108,3
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100
Балансова вартість, грн.	11000	-	-
Капітальні вкладення, грн.	-	12300	-
Питомі приведені витрати, грн./т	32,93	29,45	89,4
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	32,31	28,76	89
в т.ч.: заробітна платня	25,94	24,86	92,3
витрати на електроенергію	2,1	0,51	24,6
амортизаційні відрахування	2,8	2,89	103,2
витрати на ТО та ремонт	0,46	0,48	104,3
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	1,3	-
Річний економічний ефект, грн.	-	9238,7	-

11

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу стану питання встановлено, що найбільш ефективно процес змішування сипких кормів протікає в стані «псевдозрідження» при накладенні на сипку середу вібрації.

2. Теоретично обґрунтовано оптимальні розміри і кількість конічних поверхонь віброконтакта: висота конусів $H = 30$ мм; діаметр основи конусів $D = 48$ мм; кількість конусів в одному ряду — 2 шт.

3. Отримана за результатами експериментальних досліджень математична модель (3.2), на 5 %-му рівні адекватно описує процес змішування сипучих кормів. Експериментально отримані оптимальні значення параметрів вібраційного змішувача: амплітуда коливань жолоба $A = 11...12$ мм, годину частота коливань жолоба $w = 6...7$ Гц, кількість переміщують елементів $n = 3$ шт, кут нахилу жолоба до горизонту $\alpha = 8...12$, кут спрямованості вібрації жолоба $B = 22^\circ$. На цьому режимі роботи однорідність суміші становить 96...97 % при продуктивності 1,3 т/ч.

4. Проведено дослідження стану охорони праці на кафедрі МВПП та проаналізовано травматизм на ній. Було проведено обстеження розробленого доїльного апарату, що дало змогу встановити дію небезпечних та шкідливих факторів оператора. Також розглянуто необхідні дії при виникненні надзвичайних ситуацій.

5. Виконані техніко-економічні розрахунки показали, що експериментальний вібраційний змішувач дозволяє отримати: питому енергоємність процесу 0,35...0,4 кВт-год/т. При використанні віброзмішувача, в порівнянні з базовою моделлю, знижуються такі показники: питоме споживання електроенергії - на 24,6 %. Річний економічний ефект склав 9238,7 грн., термін окупності витрат – 1,3 роки.

12