

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ
«ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки
імені Михайла САМОКИША

ДИПЛОМНА РОБОТА
НА ТЕМУ:
**«ОБГРУНТУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ
ВІБРОСЕПАРАЦІЇ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти освітнього ступеня
«Магістр» освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності 208
«Агроінженерія» денної форми навчання
Богдан КИРИЛЕНКО

Керівник:

професор, заслужений
працівник освіти
України

Анатолій РУДЬ

Оцінка захисту:

Національна шкала _____
Кількість балів _____
Шкала ECTS _____

«___» грудня 2024 р.

Допускається до захисту:

«___» грудня 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності
208 «Агроінженерія», доцент

Василь ДУГАНЕЦЬ

ЗМІСТ

	Стор.
ЗАВДАННЯ.....	5
АНОТАЦІЯ.....	7
РЕФЕРАТ.....	8
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.	13
1.1. Огляд існуючих проблем в дослідженнях вібраційних сепараторів для сипких середовищ.....	13
1.2. Класифікація вібросепараторів та їх основні характеристики	15
Висновки до першого розділу.....	25
РОЗДІЛ 2. ДИНАМІКА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ЇХ ПОЗДОВЖНЬОГО РУХУ ВЗДОВЖ СИТА	26
2.1. Модель динаміки сипких матеріалів під час їх поздовжнього руху вздовж сита.....	26
2.2. Метод дослідження динаміки сипких матеріалів у випадку їх малої швидкості руху	30
2.2.1. Нерезонансний випадок.....	33
2.2.2. Резонансний випадок.....	35
Висновки до другого розділу.....	43
РОЗДІЛ 3 ДИНАМІКА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ЇХ ПОЗДОВЖНЬОГО РУХУ ВЗДОВЖ РЕШИТА.....	44
3.1. Диференціальне рівняння поздовжніх коливань середовища, матеріал якого задовольняє нелінійний закон пружності	44
3.2 Одночастотні нелінійні коливання сипких матеріалів під час їх руху вздовж решита	45

3.2.1. Випадок консервативних коливань сипких матеріалів.....	46
3.2.2. Вплив нелінійних та періодичних сил на процес вібросепарації.....	51
3.3. Математична модель поперечних коливань сипких матеріалів.....	57
3.4. Методика визначення основних динамічних характеристик сипких матеріалів.....	62
Висновки до третього розділу.....	65
РОЗДІЛ 4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІБРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА...	66
4.1. Розрахункова схема вібраційного сепаратора	66
4.2. Розрахунок вибору приводу вібраційної до сепаратора.....	68
4.3. Устаткування та постановка експерименту із перевірки теоретичних результатів.....	70
Висновки до четвертого розділу.....	73
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	74
5.1. Загальні відомості.....	74
5.2. Розрахунок економічної ефективності.....	74
Висновки до п'ятого розділу.....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДОТКИ.....	83

ПЕРЕЛІК ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ

1. Тема дипломної роботи
2. Актуальність теми та мета роботи
3. Вібраційний сепаратор фірми SWEKO.
4. Схеми руху сипких матеріалів у вібросепараторах.
5. Схеми вібраційних сепараторів.
6. Вібраційний сепаратор з горизонтальним коливаннями.
7. Залежність частоти коливання сипкого коливання від швидкості позовжнього руху та амплітуди коливання.
8. Залежність частоти коливань сипкого матеріалу від амплітуди.
9. Закони зміни частоти коливань сипких матеріалів від амплітуди.
10. Розрахункова схема узагальненого вібраційного сепаратора.
11. Динамічна схема узагальненого сепаратора з горизонтальним рухом решіт.
12. Економічна ефективність
13. Загальні висновки і пропозиції
14. Завершення доповіді

ВСТУП

Особливо ефективне застосування вібраційного обладнання в технологічних процесах, що пов'язані з обробленням різноманітних сипких сумішей, таких як транспортування, дозування, перемішування, розділення, та ущільнення. В цьому випадку, поряд із інтенсифікацією технологічних процесів при вібраційному впливі на матеріал, що обробляється, покращується якість кінцевої продукції: за рахунок постійного струшування досягається висока степінь поділу суміші за її фізико - механічними властивостями [13,14 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 24, 25, 26, 27].

Вібросепараторам керованого типу характерна відсутність переходу через проміжні резонанси під час пуску та зупинки дебалансного віброзбуджувача. Це значно підвищує надійність окремих вузлів і машини в цілому. Оскільки пуск та зупинка віброзбуджувача відбуваються в динамічно зрівноваженому стані, то потужність приводного двигуна в порівнянні з некерованими вібраційними машинами зменшується, зокрема для важких машин - у декілька разів.

Тому є важливим дослідити вплив зовнішніх чинників (характеристик приводу та робочого контейнера) та фізико - механічних характеристик сипкого середовища, зокрема пружних властивостей, густини, швидкості руху на його амплітуду та частоту коливань, дослідити та описати основні параметри при взаємодії системи сипке середовище - контейнер - привід вібраційного сепаратора. Останні характеристики динаміки системи є визначальними для розрахунку ефективності сепарації [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] .

Актуальність роботи. Вібросепарація є важливим етапом обробки сипкого середовища в промисловості та потребує детальнішого вивчення. Попередні дослідження встановили, що існує тісний взаємозв'язок у системі сипке середовище – контейнер – привід. Тому є важливим розглянути вплив динамічних характеристик сипкого середовища на основні параметри приводу та корпусу вібросепаратора.

До того ж, у довідниковій літературі відсутня інформація щодо основних фізико - механічних характеристик сипкого середовища. В рамках прийнятих

фізичних та відповідних їм математичних моделей динаміки середовища розроблено аналітико-експериментальний спосіб визначення основних динамічних характеристик середовища.

Із наведеного випливає актуальність та практична цінність роботи.

Мета та завдання дослідження. Мета дослідження:

- побудувати у параметризованій формі математичні моделі динаміки сипкого середовища у вібросепараторі у випадках його поздовжніх та поперечних

коливань;

- дослідити вплив основних фізико-механічних характеристик контейнера з віброзбудником, сипкого середовища, його швидкості руху вздовж сита, способів збурення коливань на ефективність сепарації;

- у рамках запропонованих математичних моделей, розробити методику визначення основних динамічних характеристик сипкого середовища.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести математичне моделювання динаміки вібросепаратора та відносного руху сипкого середовищаньому;

- адаптувати існуючі аналітичні методи дослідження динаміки систем із розподіленими параметрами стосовно нових класів динамічних систем;

- експериментально підтвердити адекватність фізичних та математичних моделей динамічних процесів у вібросепараторі.

Об'єкт дослідження. Вібраційні сепаратори пофракційного поділу оброблюваного матеріалу з дебалансним приводом та сипке середовище.

Предмет дослідження. Динамічні процеси, що мають місце у системі контейнер з віброзбудником - сипке середовище під час його сепарації.

Методи дослідження. Для побудови математичних моделей динаміки сипкого середовища використано класичні методи теорії нелінійних коливань.

Основні розрахункові формули, які стосуються визначальних параметрів приводу вібросепаратора та динамічних характеристик сипкого середовища, отримані на основі адаптації асимптотичних методів нелінійної механіки, методу

Ван-дер-Поля, апарату спеціальних Ateb - функцій стосовно нових класів динамічних систем.

Експериментальні дослідження динамічних процесів у вібросепараторі проводились за допомогою персональної обчислювальної техніки та стробоскопічного приладу.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

із єдиної позиції побудовано математичні моделі динаміки сипкого середовища за поздовжніх та поперечних його коливань;

— описано, на основі використання аналітичних методів нелінійної механіки та апарату спеціальних Ateb - функцій, закони зміни визначальних параметрів у вібросепараторах;

— отримано, для сильнонелінійних моделей динаміки сипкого середовища, співвідношення, яке визначає амплітуду резонансу. Описано динаміку сипкого середовища в околі вказаного значення амплітуди;

— побудовано залежності, що характеризують вплив характеристик сипкого середовища на параметри приводу та контейнера вібросепаратора.

Практична цінність роботи полягає в тому, що побудовані математичні моделі та отримані на їх базі розрахункові залежності дають можливість комплексно оцінити вплив зовнішніх та внутрішніх чинників на динамічні процеси у вібросепараторі і в подальшому вирішити завдання оптимізації вібраційних сепараторів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Дослідження динамічних процесів у вібраційних сепараторах на основі математичного моделювання є актуальною прикладною задачею - воно уможливорює вивчення комплексного впливу параметрів вібраційного сепаратора та сипкого середовища, яке необхідно сепарувати (за різних їх комбінацій між собою) на інтенсивність сепарації, що дозволяє на стадії проєктування вібраційних сепараторів скоротити експериментальні дослідження, які відрізняються значними матеріальними і часовими витратами.

2. В даній дипломній роботі, зокрема, для моделювання обрано вібраційний

сепаратор з двома незалежно приводними дебалансами та пружньою, який має ряд переваг перед іншими сепараторами, характеризуються простотою конструкцій та обслуговування, малою чутливістю до властивостей середовища, що сепарується, різноманітністю форм коливань, можливістю вивантаження суміші після її сепарації окремо за фракціями та автоматизації процесу

3. Розроблена уніфікована параметризована модель вібраційного сепаратора може бути використана (шляхом зміни її параметрів або їх занулення) для широкого спектру конструкцій вібраційних сепараторів. Використання баз даних готових уніфікованих математичних моделей дає змогу скоротити тривалість досліджень та проєктування вібраційних сепараторів, зменшити матеріальні витрати в цілому.

4. Проведено зіставлення основних теоретичних та експериментальних результатів, що отримані на вібраційному сепараторі обґрунтованої в даній дипломній роботі конструкції.

5. Із стогектарної площі господарство отримає прибуток 75 000 гривень лише за умови, що для очистки зернової суміші буде використано вібраційний сепаратор обґрунтований в даній дипломній роботі конструкції, а з площі 1 000 гектарів прибуток становитиме 750 000 гривень.

Отже, запровадження у виробництво вібраційного сепаратора обґрунтованої в даній дипломній роботі конструкції є доцільним та необхідним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Земельний кодекс України: Закон України від 25 жовтня 2001 року № 2768 – III // Відомості Верховної Ради України, 2002, № 3-4. С. 42-88.
2. Про внесення змін в Земельний кодекс України: Закон України від 11 липня 2003 року № 1119 – IV // Голос України, 2003. 12 серпня.
3. Про внесення змін до Земельного кодексу України: Закон України від 6 жовтня 2004 року № 2059 – IX // Все про бухгалтер, 2004, № 116. С. 11.
4. Про внесення змін до Земельного кодексу України: Закон України від 6 жовтня 2004 року № 2059 – IX // Відомості Верховної Ради України, 2005, № 2.
5. Земельний кодекс України. Сільський час. П'ятниця, 16 листопада 2001 року, №66 (268) – (м. Київ, 25 жовтня 2001 року. № 2768-III).
6. Дипломне проектування у вищих навчальних закладах Мінагрополітики України: Навчально-методичний посібник / За ред.. Т.Д. Іщенко, І.М. Бендери. Київ: Аграрна освіта, 2006. 256 с.
7. Методичні рекомендації з організації виконання та захисту дипломних робіт освітнього ступеня «Магістр». Для студентів із спеціальності 208 - «Агроінженерія» та керівників дипломних робіт / А.В. Рудь, І.О. Мошенко; за ред. А.В. Рудя. - Кам'янець-Подільський, 2018. 28 с.
8. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 ..Агроінженерія” / А.В. Рудь, В.І. Дуганець, Ю.І. Панцир, П.П. Федірко, Ю.Ф. Павельчук. За ред. А.В. Рудя. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2019. 51 с.
9. Борисова В.А. Підвищення конкурентоспроможності підприємства АПК / В.А. Борисова // Економіка АПК, 2000 № 5. С. 75-78.
10. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. У 2 т: Т. 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. Київ: Агроосвіта, 2012. 584 с.
11. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. У 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. Київ: Агроосвіта, 2012. 434 с.

12. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред.. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.

13. І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 „Процеси, машини та обладнання агропромислового аиробництва”. І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. / За редакцією І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. Кам’янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. 640 с.

14. Гащук П.М. Лінійні моделі дискретно-неперервних механічних систем \ Гащук П.М., Зорій М.М. Львів: Українські технології, 2020. 372 с.

15. Гащук П.М. Вимушені коливання рухомих одновимірних нелінійно-пружних систем і метод Ван-дер-Поля у їх дослідженні / Гащук П.М., Назар І.І. // Наук. вісник: Зб. наук.-техн. праць. Львів: НЛТУУ, 2007. Вип. 17.1. С. 300-304.

16. Ліщинська Х.І. Застосування Ateb-функції для дослідження нелійних коливань одновимірних систем / Ліщинська Х.І. Хмельницький: Вісник Хмельницького держ. ун-ту, 2006. Т. 2 (79), №2. С. 29-32.

17. Ліщинська Х.І. Застосування Ateb-функції і метод Ван-дер-Поля у дослідженні одночастотних коливань двовимірних нелійно пружних систем / Ліщинська Х.І., Сеник А.П. // Наук. вісник: Зб. наук.-техн. праць. Львів: НЛТУУ, 2007. Вип. 17.6. С. 275-280.

18. Ліщинська Х.І. Методика дослідження впливу видовження гнучких елементів систем приводу на їх поперечні коливання / Ліщинська Х.І., // Наук. вісник: Зб. наук.-техн. праць. Львів: НЛТУУ, 2009. Вип. 19.1. С. 248-252.

19. Малєжик І.Ф. Процеси і апарати харчової і переробної промисловості / І.Ф. Малєжик Київ: НУХТ, 2006. 280 с.

20. Митропольський Ю.О. Методи нелінійної механіки / Ю.О. Митропольський. Київ: Наукова думка, 2005. 528 с.

21. Митропольський Ю.О. Нелінійна механіка. Коливання / Ю.О. Митропольський. Київ: Ін-т математ. НАН України, 2000. 385 с.

22. Плахтієнко М.П. Ромбічні функції: початки теорії та прикладні задачі / М.П. Плахтієнко. Київ: Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, 2005. 135 с.

23. Повідайко В.А. Вібраційні процеси та обладнання В.А. Повідайло. Львів, 2004. 2487 с.

24. Ребот Д.П. динаміка сипкого середовища при вібросепарації / Д.П. Ребот // ПНТУ Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво, 2000, вип. 3(25). С. 188-192,

25. Ребот Д.П. Динаміка сипкого середовища при вібросепарації / Д.П. Ребот // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Динаміка та міцність машин, будівель, споруду». Полтава: ПНТУ, 2009. С. 36.

26. Сокіл Б.І. . Про один спосіб побудови одночастотних розв'язків для нелінійного-хвильового рівняння / Б.І. Сокіл // Укр. мат. журнал, 2004, № 6. С. 782-785.

27. Топільницький В.Г. Моделювання руху шару середовища робочого контейнера вібраційної машини об'ємної обробки виробів / В.Г. Топільницький // Укр. зб. Автоматизація виробничих процесів і виробництв в машинобудуванні та приладобудуванні, 2000. С. 104-110.

28. Попов С.В., Бучинський М.Я., Гнітько С.М., Чернявський А.М. Теорія механізмів технологія машин: підручник для студентів механічних спеціальностей закладів вищої вищої освіти .Харків: НТМТ, 2000. 268 с.

29. Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. Технологічні машини підручник для студентів спеціальностей механічної інженери закладів вищої освіти. Харків: НТМТ, 2020. 258 с.

30. Експлуатація та обслуговування машин : підручник Кравченко В.М., Іщенко А.О., Сидоров В.А., Буцукін В.В., Донецьк: Донбас, 2014. 543 с.

31. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки Автор Валерій орлов, Александр Строков, Андрій Головчук Видавництво Грамота. 2009. 336 с.

32. Скобло Ю.С., тіщенко Л.М., Цапко В.Г. Безпека життєдіяльності. Вінниця, Нова книга, 2000. 368 с.

33. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, В.М. Сторожук та ін. За ред. кан. техн. наук, доцента В.Ц. Жидецького. Львів: Афіша, 2000. 352 с.

34. Шевчук В.Я. 'Глобальні зміни клімату: економіко-правові механізми імплементації Кіотського протоколу в Україні / За ред. В.Я. Шевчука. Київ: Геопринт, 2005. 150 с.

35. Указ Президента України «Про Положення про державну екологічну інспекцію України» від 13 квітня 2011 року.

36. Указ Президента України «Про державну інспекцію сільського господарства України» від 13 квітня 2011 року.

37. Методичні рекомендації щодо підвищення вартості робочої сили в сільському господарстві та подолання міжгалузевої і міжрегіональної диференціації в оплаті праці / І.М. Демчук, Г.М. Адаменко, В.В. Петрик, В.П. Слупський, О.С. Філоненко. Київ: НДІ «Украгромапродуктивність», 2010, 32 с.

38. Технологічні карти на витрати на вирощування сільськогосподарських культур / За ред, П.Т. Саблука, Д.І. Мазаренка, Г.Є. Мазнева. Київ: ННЦІАЕ, 2005. 402 с.

39. Кириленко Б.В. Проблеми в дослідженнях вібраційних сепараторів сипких матеріалів. Збірник наукових праць XVIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки – 2024» м. Кам'янець-Подільський. Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2024.

40. Кириленко Б.В. Вібраційний сепаратор сипких матеріалів. Збірник наукових праць XVIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки – 2024» м. Кам'янець-Подільський. Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2024.

41. Optimizing vibratory screen separator performance [Troy, Mich., etc., Business News Pub. Co., etc.]: Ceramic industry. 158, no. 4. 2008. P. 6-12/

42. Stoisko Z. The influence of the loose medium parameters on the process of vibratory separation // Z. Stotsko, D. Rebot, V. Topilnytsky // Часопис Кошицького

технічного університету (Slovenska republika) „Manufacturing and industrial engineering”, cislo 1 Volume, 2013.

43. Saxton, K.E., Baker. C.J. The Cross Slot drill opener for conservation tillage. Proceedings of the Great Plains Conservation Tillage Symposium / Bismark, North Dakota. – USA. 2020.P. 65-72.

44. Baker. C.J. An investigation into the techniques of direct drilling seeds into undisturbed sprayed pasture. (Thesis) Massey University Library / New Zealand, 2020. 186 p.

45. Country Study on Climate Change in Ukraine. Development of Greenhouse Gas Emissions Inventory / Agency for Rational Energy Use and Ecology. Kyiv, 2000. 138 c.