

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 631.362.5:621.867.3

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.13\(44\).140-150](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.13(44).140-150)**Е.Б. Алієв**, проф., д-р техн. наук, ст. досл, **О.А. Черній***Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна**e-mail: aliev@meta.ua*

Експериментальні дослідження спірального віброживильника для дозування поодинокого насіння соняшнику

В статті представлено результати експериментальних досліджень проектного спірального віброживильника, що використовуватиметься для дозування поодинокого насіння соняшнику в автоматизованій лінії фенотипування. Розширено наведено дані по методикам проектування та планування експериментальних досліджень чашевих віброживильників. Наведено результати аналізу та систематизації основних факторів, що впливають на процес вібропереміщення насіння соняшнику по жолобу віброживильника. Використовуючи адитивну FDM технологію, методом 3D друку виготовлено експериментальний зразок вібраційного чашевого віброживильника. Описано будову експериментальної установки по дослідженню амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) дослідного віброживильника. Для дослідження впливу маси насіння соняшнику, що міститиметься в чаші віброживильника на зміну його амплітудно-частотних характеристик, підготовлено наважки насіння масою 29 г, 58 г та 116 г. Також, з метою визначення характеру вібропереміщення насіння, сформовані партії наважок насіння з різними його розмірними групами. Результати досліджень представлені у вигляді графічних залежностей зміни вертикальної амплітуди, віброшвидкості та віброприскорення чаші проектного спірального віброживильника, залежно від колової частоти вимушених коливань створюваних дебалансним віброприводом. Відображено дослідні АЧХ залежно від маси завантаженого в чашу віброживильника насіння соняшнику. Оптимальна швидкість транспортування, при дозуванні насіння соняшнику, отримана при значеннях вимушених колових частот ω в діапазоні 150-170 с^{-1} , при значеннях вертикальних амплітуд коливання чаші A 0,35-0,6 мм. Такі вібропараметри отримуються при нарузі живлення вібродвигуна 3,3 В. При всіх варіантах завантаження чаші віброживильника, рух насіння характеризувався, як безвідливий від поверхні жолоба. Факторним експериментом встановлені рівняння регресії другого порядку, що вказують на залежність параметрів оптимізації: вертикальної амплітуди коливань A , мм чаші віброживильника, вертикальної віброшвидкості V , мм/с та віброприскорення a , $\text{м}/\text{с}^2$ від таких незалежних факторів: маси завантаженого в чашу насіння m , г та напруги живлення вібродвигуна U , В.

посівний насіннєвий матеріал, лінія фенотипування, насіння соняшнику, чашевий вібраційний живильник, модель віброживильника, експериментальна установка, робоча частота коливань, амплітудно-частотна характеристика віброживильника, факторний експеримент

Постановка проблеми. Підіймально-транспортувальні та дозувальні машини, які виконують свої функції завдяки коливанням робочих органів достатньо добре зарекомендували себе в різних галузях промисловості. Великого впровадження вібраційні машини досягли в аграрній та харчовій галузях промисловості.

Для розрахунку та проектування вібраційно-транспортувальних машин створено достатньо великий набір теоретичних методик. Кожна намагається врахувати сучасні досягнення наукових досліджень в сфері вібраційного транспортування та зменшити похибки аналітичних досліджень з експериментальними результатами при проектуванні вібраційних машин [1–8].

При цьому важко не згадати великий позитивний вплив використання чисельного моделювання при синтезі та проектуванні різного роду машин включно з вібраційними. Проводити моделювання з використанням комп'ютера дає можливість пакет програмного забезпечення платформи Simcenter Star-CCM+ від компанії Siemens. [9].

Аналіз досягнень в синтезі та проектуванні вібраційних чашевих живильників для транспортування та дозування насіння сільськогосподарських культур, вказує на наявність масиву факторів, які чинять суттєвий вплив на якість процесу вібротранспортування насіння даним типом віброживильників. Для їхнього аналізу створено схему їх класифікації приведену на рис. 1



Рисунок 1 – Схема факторів впливу на процес вібротранспортування насіння спіральним віброживильником

Джерело: розроблено авторами

Зважаючи на таку кількість чинників впливу на якість вібротранспортування насіння, звичайно, при створенні аналітичних залежностей та теоретичних досліджень протікання переміщення частки вантажу при вібрації робочого органу приймають ряд нехтувань або припущень [3]. Це значно спрощує трудомісткість теоретичних досліджень без суттєвого впливу на їх точність.

Але, все ж таки, якою б методикою не користувалися при синтезі та проектуванні спіральних вібраційних живильників насіння, виникає необхідність проведення експериментальних досліджень для перевірки робоздатності конструкції та відповідності експериментальних показників якості до теоретичних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Організація та методика експериментальних досліджень роботи чашевих віброживильників суттєво впливають на достовірність отриманих результатів, що зумовлює значну увагу до цього питання в наукових публікаціях.

У роботі [7] наведено методику та результати експериментальних і чисельних досліджень чашевого віброживильника з електромагнітним приводом. Основними дослідними параметрами були вертикальна та горизонтальна амплітуди коливань чаші, а також кут вібрації. Чисельне моделювання виконано в середовищі MSC ADAMS, а експериментальні дані отримано з використанням вібросенсорів Briel & Kjaer. Порівняння результатів показало розбіжність між моделлю та експериментом у межах 1,12–9,3%, що підтверджує адекватність застосованої методики.

Дослідження [10] присвячене синтезу чашевого віброживильника для транспортування та автоматичного сортування деталей типу «болт» і «гайка». Виконано розрахунок конструкції, модальний аналіз у ANSYS Workbench та симуляцію процесу транспортування в середовищі Algorux Momentum. Експериментальні дослідження

підтвердили результати моделювання, а загальна похибка не перевищувала 5%. Встановлено оптимальний діапазон робочих частот електромагнітного приводу 50–60 Гц.

Алгоритм проектування чашевих віброживильників і методику чисельного моделювання процесу вібротранспортування розглянуто в статті [11]. За допомогою методу кінцевих елементів проведено модальний аналіз конструкції та визначено умови резонансної взаємодії власних і вимушених частот. Отримані результати підтверджено експериментально, що свідчить про можливість достовірної оцінки працездатності та продуктивності віброживильників методами чисельного моделювання.

У роботах [12–13] досліджено віброживильники з п'єзокерамічними віброприводами. Встановлено їх переваги у вигляді низького енергоспоживання, зниженого рівня шуму та мінімальних витрат на обслуговування, водночас відзначено необхідність застосування спеціалізованої керуючої електроніки.

Стаття [14] присвячена дослідженню спірального віброживильника з п'єзоелектричним приводом, у якій проаналізовано амплітудно-частотні характеристики та визначено резонансні режими роботи. Показано, що оптимальна робота віброживильника забезпечується в дорезонансному режимі, а аналітичні результати добре узгоджуються з експериментальними даними.

У роботі [15] виконано комплексне дослідження чашевого віброживильника з метою зниження шуму та покращення якості дозування. Теоретичні амплітудно-частотні характеристики, отримані методом кінцевих елементів, підтверджено експериментально. Встановлено оптимальні режими роботи віброживильника, за яких досягається найбільша плавність транспортування.

Дослідження [16] присвячене впливу додаткової маси на роботу вібраційних живильників. Показано, що використання додаткової маси як резонатора дозволяє знизити енергетичні витрати, підвищити продуктивність та покращити дозуючі характеристики, що є важливим для автоматизованих технологічних ліній.

Отже, аналіз наукових публікацій свідчить, що проектування сучасних вібраційних живильників доцільно здійснювати із застосуванням 3D-моделювання, методу кінцевих елементів та чисельної симуляції процесів вібротранспортування. Водночас експериментальні дослідження залишаються необхідним етапом для перевірки теоретичних моделей, що підтверджує високу актуальність експериментальної частини при синтезі сучасних чашевих і спіральних віброживильників.

Постановка завдання. За мету дослідження прийнято проведення планування комплексу експериментів, створення експериментальної дослідної установки та виконання експериментальних досліджень процесу вібропереміщення та дозування поодинокого насіння соняшнику дослідним зразком чашевого вібраційного живильника.

Виклад основного матеріалу. Плануємий комплекс експериментів націлено на перевірку правильності теоретичних обґрунтувань конструктивно-технологічних параметрів дослідного чашевого віброживильника, а також отримання емпіричних закономірностей впливу основних конструктивно-технологічних параметрів віброживильника на його продуктивність та якість дозування насіння соняшнику. В результаті будуть прийняті рішення по оптимізації конструктивно-технологічних параметрів віброживильника з метою отримання більш якісного проведення дозування насіння соняшнику в лініях автоматичного фенотипування.

Проектування і виготовлення експериментального зразка спірального вібраційного живильника. Аналітичні обґрунтування та проведений комплекс експериментів з використанням чисельного моделювання, що виконані раніше, надали в результаті оптимальні числові значення конструктивно-технологічних параметрів чашевого віброживильника для дозування насіння соняшнику. Використовуючи ці дані, виготовлено комплект робочих креслень деталей проектного віброживильника та створені їх 3D моделі (рис. 2).

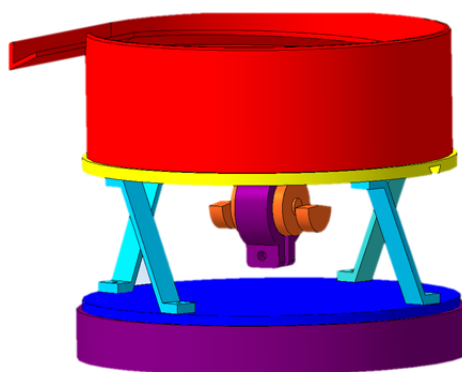


Рисунок 2 – 3D модель експериментального чашевого вібраційного живильника для дозування насіння соняшнику в лініях його автоматичного фенотипування
Джерело: розроблено авторами

Спроектвані 3D моделі деталей віброживильника спочатку оброблювались спеціальною комп'ютерною програмою Creality Print. Метою цього процесу являлось підготовка 3D моделей деталей віброживильника до друку на 3D принтері та створення G-коду моделей. Фрагмент інтерфейсу підготовки до 3D друку чаші віброживильника представлено на рис. 3. Далі, використовуючи 3D принтер Creality K1 Max та філамент ABS+, проводилось завантаження підготовлених файлів в систему 3D принтера, налаштування основних режимів друку та безпосередньо виготовлення проектних деталей методом адитивного FDM друку.

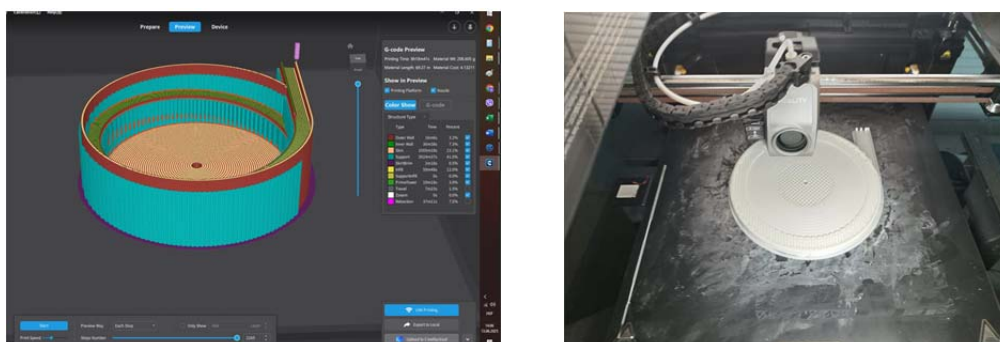
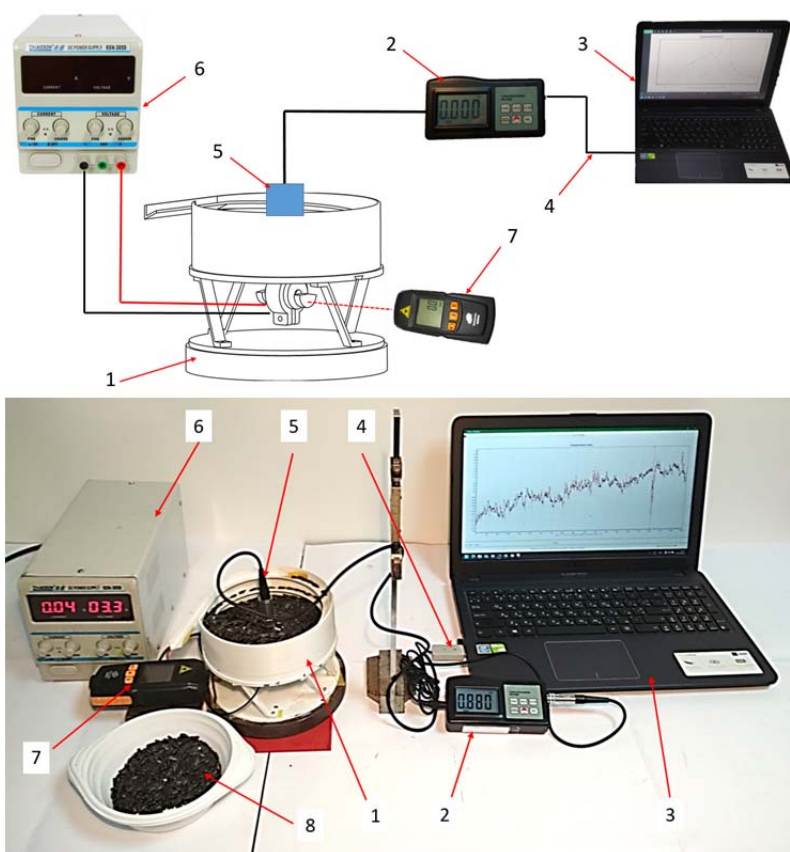


Рисунок 3 – Фрагмент інтерфейсу програми Creality Print і процес 3D друку чаші проектного віброживильника принтером Creality K1 Max філаментом ABS+
Джерело: розроблено авторами

Створення експериментального стенду і налаштування додаткового обладнання. Комплекс експериментальних досліджень проектного чашевого віброживильника планувався з метою встановлення його емпіричних амплітудно-частотних характеристик (АЧХ), характеру руху насіння соняшнику по спіральним доріжкам та продуктивності, а саме якості дозування насіння соняшнику. Для досліджень використовувалось насіння соняшнику трьох фракцій: мілке, середнє та велике. Адже віброживильник буде працювати з різним насіннєвим матеріалом соняшника, який характеризується великою варіативністю розмірів насінин. Створений експериментальний стенд для визначення амплітудно-частотних характеристик віброживильника та визначення характеру руху насіння соняшнику показано на рис. 4.



1–дослідний спіральний віброживильник; 2–віброметр VM 6360; 3–комп'ютер з встановленим програмним забезпеченням RS232 для обробки даних; 4–USB кабель для з'єднання віброметра з ноутбуком; 5– п'єзодатчик для зняття параметрів вібрації чаші віброживильника; 6–лабораторний блок живлення RXN-305D; 7–безконтактний тахометр Benetech GM8905

Рисунок 4 – Схема і загальний вигляд експериментального стенду для дослідження АЧХ віброживильника

Джерело: розроблено авторами

Для отримання дослідних даних вібрації (віброзміщення, мм; віброшвидкість, мм/с; віброприскорення, м/с²; частоти коливань, Гц) чаші віброживильника використовувався віброметр VM 6360 (точність показань – $\pm 5\%$). Для зняття параметрів вібрації чаші віброживильника в реальному часі та створення автоматичних звітів визначених параметрів, віброметр підключався через USB кабель роз'ємом RS232 з ноутбуком. Вимірювання частоти обертання валу вібродвигуна проводилось безконтактним тахометром Benetech GM890 (точність показань – $\pm 0,05\%$). Регулювання та вимірювання параметрів сили струму та напруги, яке споживає електродвигун віброживильника здійснювалось лабораторним блоком живлення RXN-305D.

В експериментальних дослідженнях використовувалось насіння соняшнику гібриду Алькантара (F1) врожаю 2025 року. Насіння мало стандартну для тривалого зберігання вологість $7,7 \pm 0,9\%$, очищене від грубих незернових включень, пошкодженого та неповноцінного насіння. Так, як до незалежних факторів, що використовуватимуться в проведенні факторних експериментів при визначенні якості роботи віброживильника, віднесені маса насіння, що завантажуватиметься в чашу віброживильника та розмір фракції насіння, то дослідне насіння соняшнику було розділене за насипною масою на наважки по 29 г, 58 г та 116 г. Такий розмір мас обумовлений аналітичними розрахунками. За розмірними фракціями насіння розділено на категорії представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики розмірних фракцій дослідного насіння соняшнику

Назва фракції	Мілка	Середня	Крупна
Середня довжина насіння L , мм	11,32	12,37	13,85
Середня ширина насіння b , мм	5,73	7,11	8,62
Середня висота насіння h , мм	3,25	4,0	5,36

Джерело: розроблено авторами

Визначення емпіричних амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) віброживильника. Створений дослідний стенд дозволив визначити фактичні залежності зміни амплітуди коливань чаші експериментального віброживильника, віброшвидкості, віброприскорення від частоти збурювальної сили дебалансного віброприводу та маси завантаженого насіння соняшнику. Отриманні залежності наведені на рис. 5–7.

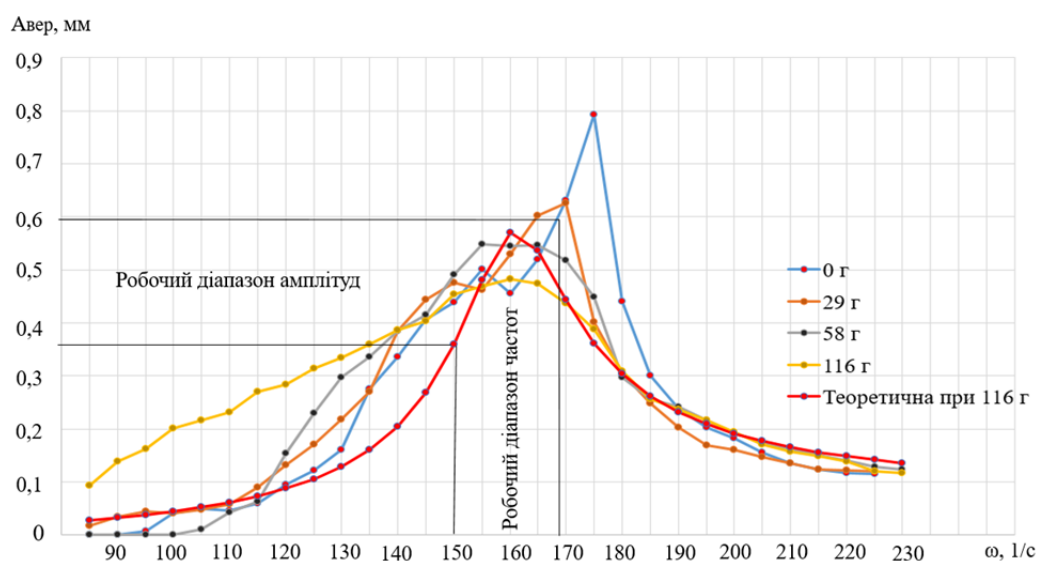


Рисунок 5 – Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) дослідного спірального віброживильника при різних масах насіння соняшнику, що міститься в чаші

Джерело: розроблено авторами

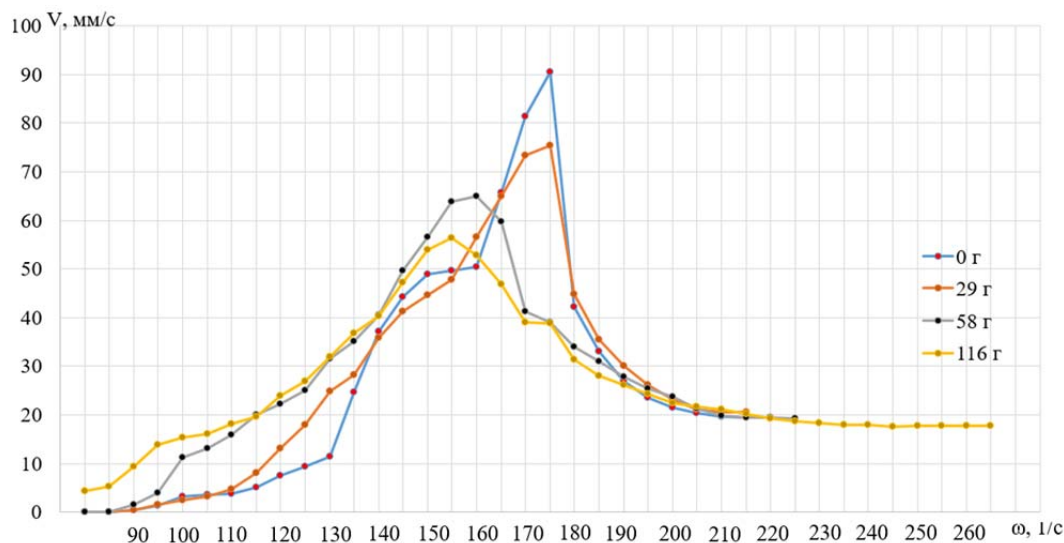


Рисунок 6 – Дослідна залежність зміни вертикальної віброшвидкості від частоти коливань дослідного спірального віброживильника при різних масах насіння соняшнику, що міститься в чаші

Джерело: розроблено авторами

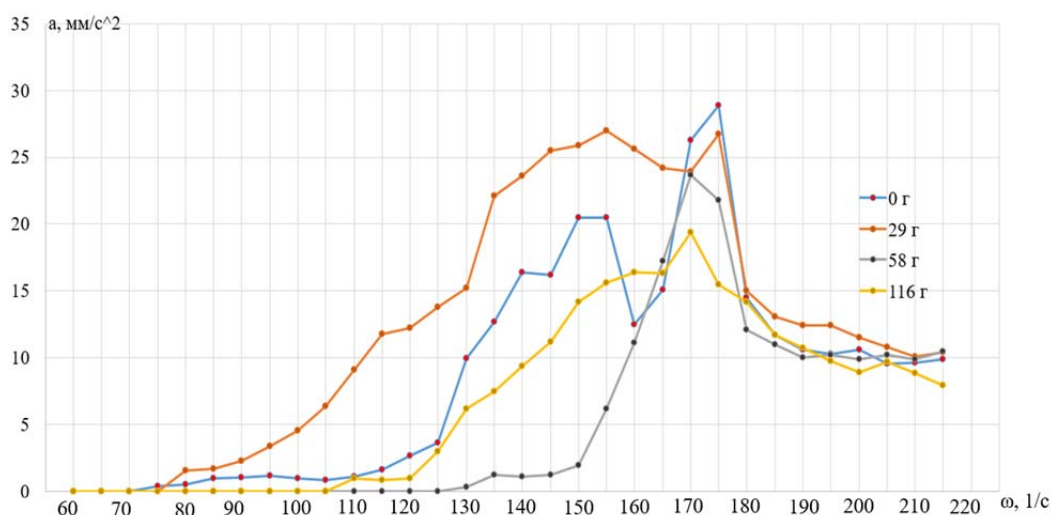


Рисунок 7 – Дослідна залежність зміни вертикального віброприскорення від частоти коливань дослідного спірального віброживильника при різних масах насіння сояшинику, що міститься в чаші
Джерело: розроблено авторами

Для дослідження зміни вертикальної амплітуди коливань чаші віброживильника від величини її завантаження при робочій коловій частоті $\omega = 153 \text{ с}^{-1}$ одержано графічну залежність показану на рис. 8.

Аналізуючи отримані графічні залежності (рис. 5–7) можна стверджувати, що чаша віброживильника має два чітко виражених значення резонансних коливань. Перший резонанс характеризується меншими значеннями вібропараметрів ніж другий резонанс, й, ймовірно, створений завдяки характеристикам пружності віброізоляторів, що встановлені між фундаментом плитою (маса m_2) та опорною поверхнею, на яку встановлено віброживильник. Другий резонанс спричинений жорсткісними характеристиками пружних елементів віброживильника. Також відмічається, що при збільшенні маси завантаженого в чашу віброживильника насіння сояшинику, резонансні частоти коливань зміщуються вліво по осі колових частот. Це відповідає теорії розрахунку вібраційних машин, адже у формулі визначення резонансної частоти вібросистеми, маса чаші з вантажем входить в знаменник. А отже, при незмінній жорсткості пружних елементів, резонансна частота зменшується при збільшенні коливальної маси чаші (маса m_1). Крім того, на АЧХ впливають демпферні властивості насіння сояшинику. Тому при максимальному завантаженні чаші віброживильника (116 г), графіки віброшвидкості та віброприскорення є більш пологішими ніж при відсутності завантаження (0 г). А пікові значення цих параметрів, також зі збільшенням навантаження чаші, зменшуються. Порівнюючи теоретичну АЧХ проєктного віброживильника при масі завантаження чаші 116 г (на рис. 5 зображена червоним кольором) та експериментальну графічну залежність амплітуди коливань чаші від колової частоти дебалансів видно, що резонанс в обох випадках виникає при значенні колової частоти $\omega_p = 160 \text{ с}^{-1}$. А найстабільніший рух насіння сояшинику по лоткам віброживильника спостерігався при значенні вертикальної амплітуди коливань чаші рівній $A = 0,44 \text{ мм}$ та значенні колової частоти $\omega = 153 \text{ с}^{-1}$.

Встановлено, що стабільна оптимальна швидкість руху насіння сояшинику по спіральній навивці віброживильника спостерігається при повному завантаженні чаші віброживильника (116 г) з вертикальною амплітудою 0,4 мм. Поступове зменшення маси завантаження до нуля призводить до збільшення вертикальної амплітуди коливань чаші до 0,6 мм (рис. 8). При цьому швидкість руху також дещо зростає. При всіх варіантах завантаження чаші віброживильника рух насіння характеризувався як безвідривний від поверхні жолоба. Це відповідає проведеним аналітичним розрахункам.

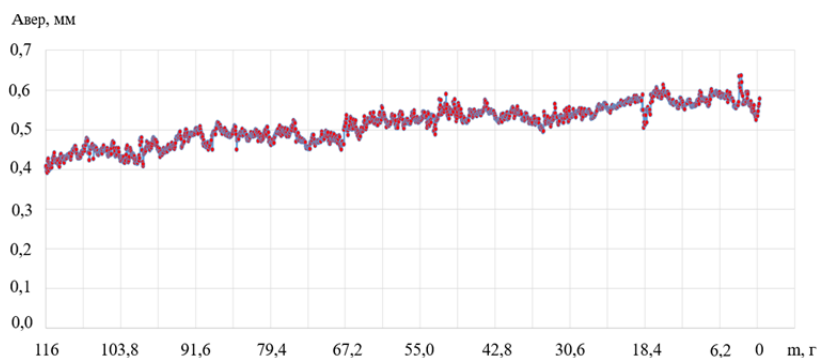


Рисунок 8 – Дослідна залежність зміни вертикальної амплітуди коливань чаші віброживильника від величини її завантаження при робочій коловій частоті $\omega=153 \text{ c}^{-1}$
Джерело: розроблено авторами

Провівши факторні експерименти та обробивши дані в математичній програмі Wolfram Cloud, знайдено регресійні рівняння другого порядку, та отримані графічні поверхні відгуку.

Прийнявши в якості параметру оптимізації вертикальну амплітуду коливань A (мм), вертикальну віброшвидкість V (мм/с), вертикальне віброприскорення a (m/c^2) чаші віброживильника, а незалежними факторами масу завантаженого насіння m , г та напругу живлення вібродвигуна U , В, отримано регресійну залежність:

$$A = 3,8565 - 0,0076m - 3,4861 \cdot 10^{-6}m^2 - 2,35U + 0,0024mU + 0,4018U^2 \quad (1)$$

$$V = 261,56 - 0,62m + 0,0009m^2 - 170,58U + 0,15mU + 32,50U^2 \quad (2)$$

$$a = -704,728 + 0,34m + 0,00004m^2 + 442,511U - 0,13mU + 66,79U^2 \quad (3)$$

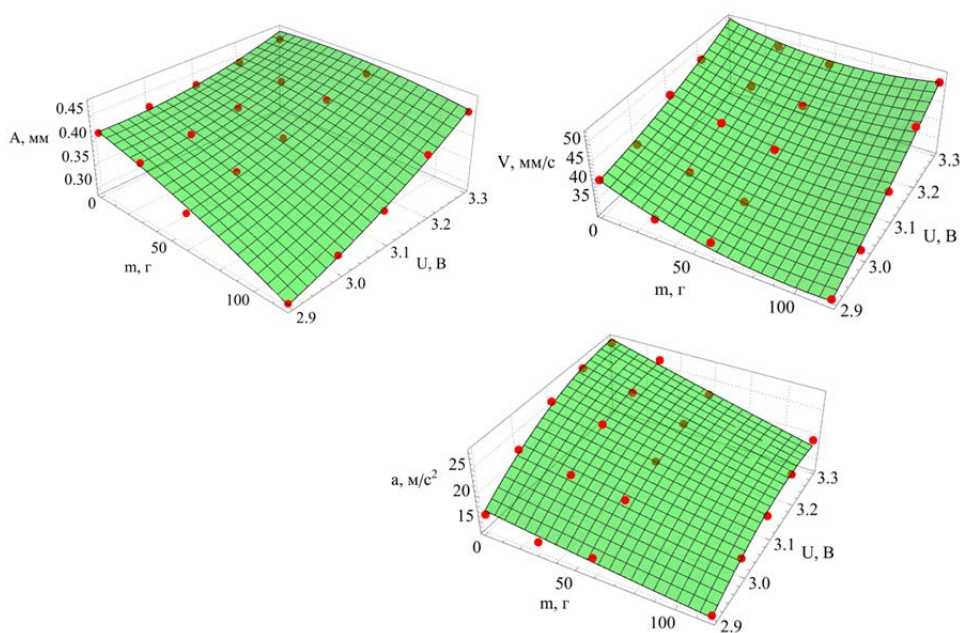


Рисунок 9 – Поверхня відгуку залежності вертикальної амплітуди A , вертикальної віброшвидкості V і вертикального віброприскорення a від маси завантаженого насіння m та напруги живлення вібротвора U (червоними точками відмічені значення експериментальних даних)
Джерело: розроблено авторами

Порівняння з табличним значенням критерію Фішера ($F_{\text{табл}}$), яке для рівня значущості $q = 0,05$ та ступенів вільності $f_1 = 6$; $f_2 = 14$ становить $F_{0,05;6;14} = 2,848$, дає підстави стверджувати, що рівняння регресії (1)–(3) є статистично значущими. Отже,

обрані фактори: маса завантаженого в чашу насіння соняшнику m (г) та напруга живлення вібродвигуна U (В), мають суттєвий вплив на амплітуду коливання, віброшвидкість та віброприскорення чаші дослідного спірального віброживильника.

Висновки. За результатами аналітичних досліджень, створена 3D модель чашевого віброживильника для дозування насіння соняшнику в лініях його автоматичного фенотипування. Методом FDM друку виготовлені деталі проєктного віброживильника. В якості матеріалу виготовлення обрано філамент ABS+. Створена експериментальна установка, дозволила провести експериментальні дослідження процесу вібропереміщення насіння соняшнику по робочим поверхням чаші віброживильника.

Аналізуючи отримані графічні залежності дослідних АЧХ, можна стверджувати, що чаша віброживильника має два чітко виражених значення резонансних коливань. Перший резонанс характеризується меншими значеннями вібропараметрів ніж другий резонанс, й, ймовірно, створений завдяки характеристикам пружності віброізоляторів, що встановлені між фундаментною плитою (маса m_2) та опорною поверхнею, на яку встановлено віброживильник. Другий резонанс спричинений жорсткісними характеристиками пружних елементів віброживильника. Також відмічається, що при збільшенні маси завантаженого в чашу віброживильника насіння соняшнику, резонансні частоти коливань зміщуються вліво по осі колових частот.

Оптимальна швидкість транспортування при дозуванні насіння соняшнику отримана при значеннях вимушених колових частот ω в діапазоні 150–170 с⁻¹, при значеннях вертикальних амплітуд коливання чаші A 0,35–0,6 мм. Такі вібропараметри отримуються при нарузі живлення вібродвигуна 3,3 В. При всіх варіантах завантаження чаші віброживильника рух насіння характеризувався, як безвідривний від поверхні жолоба. Це відповідає проведеним попереднім аналітичним розрахункам віброживильника й чинитиме мінімальний шкідливий вплив на якість посівного насіння.

Факторним експериментом встановлені рівняння регресії другого порядку, що вказують на залежність параметрів оптимізації: вертикальної амплітуди коливань A (мм) чаші віброживильника, вертикальної віброшвидкості V (мм/с) та віброприскорення a (м/с²) від таких незалежних факторів: маси завантаженого в чашу насіння m , г та напруги живлення вібродвигуна U (В). Проведений дисперсійний аналіз даних дав змогу довести, що отримані рівняння регресії значущі, а отже, вплив незалежних факторів на критерії оптимізації суттєвий. Отримані просторові поверхні відгуку графічно вказують на характер закономірностей впливу незалежних факторів на обрані критерії оптимізації. Дані отримані під час експериментальних досліджень роботи проєктного віброживильника добре корелюються з даними отриманими при аналітичних дослідженнях.

Список літератури

1. Підйомно-транспортні машини: підручник/ Кобець А.С. та ін.; за ред. проф. А.С. Кобця та В.І. Дирди. Луганськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013, 218с.
2. Ланець, О.С. Основи розрахунку та конструювання вібраційних машин. Книга 1. Теорія та практика створення вібраційних машин з гармонійним рухом робочого органа: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018, 612 с.
3. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Обладнання автоматизованих виробництв. Частина 2. Автоматичні лінії. Гнучкі виробничі системи. Транспортно-завантажувальні пристрої : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 155 с.
4. Vrublevskiy, I. Optimization of vibratory conveying upward by inclined track with polyharmonic normal vibrations. Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science, 2020, № 6(2), P. 34–42. <https://doi.org/10.23939/ujmems2020.02.034>
5. Vrublevskiy, I. Y. Increasing of elevation angles in vibratory conveyor with electromagnetic drive. Military Technical Collection, 2020, Vol. 0(22), P.48–52. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.48-52>

6. Azhar, S., & Shah, S. I. A.. Modeling and Analysis of a Vibratory Bowl Feeder. 2021 Seventh International Conference on Aerospace Science and Engineering (ICASE), 2021, P. 1–13. <https://doi.org/10.1109/icase54940.2021.9904038>
7. Van-Mui Nguyen, Anh-Tuan Hoang, Ha-Manh Nguyen, Dung-Tien Nguyen. A Method of Validating and Verifying the Digital Model of the Vibratory Bowl Feeder. International Journal of Scientific Engineering and Science. 2020. Volume 4, Issue 4, pp. 18-23. DOI: 10.5281/zenodo.3782378.
8. Han, L., & Gao, J. X.. A Study on the Modelling and Simulation of Part Motion in Vibratory Feeding. Applied Mechanics and Materials, 2010, 34–35, 2006–2010. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.34-35.2006>
9. Aliiev, E. Numerical simulation of agricultural production processes: textbook. Kyiv: Agrarna nauka, 2023. 340 p.]. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-584-9>
10. Chougule, S. M., Murali, G., & Kurhade, A. S.. Dynamic simulation and performance evaluation of vibratory bowl feeders integrated with paddle shaft mechanisms. Advances in Science and Technology Research Journal, 2025, Vol. 19(7), P.179–196. <https://doi.org/10.12913/22998624/203873>
11. Nam, L. G., Mui, N. V., & Tu, D. A. A method to desing vibratory bowl feeder by using FEM modal analysis. Vietnam Journal of Science and Technology, 2019, Vol. 57(1), P.102. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/57/1/12859>
12. Rade, D., De Albuquerque, E., Figueira, L., & Carvalho, J. Piezoelectric Driving of Vibration Conveyors: An Experimental Assessment. Sensors, 2013. Vol. 13(7), P. 9174–9182. <https://doi.org/10.3390/s130709174>
13. Choi, S. B., & Lee, D. H.. Modal analysis and control of a bowl parts feeder activated by piezoceramic actuators. Journal of Sound and Vibration, 2004. Vol. 275(1–2), P.452–458. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2003.10.008>
14. Su, J., Tong, J., & Shen, Y.. Analysis of amplitude-frequency characteristics of spiral vibrating feeder system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. Vol. 612(3), P. 032155. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/612/3/032155>
15. Ms. Samrudhi Ramesh Shelot , Dr. K. K Dhande , Jamadar N. I , Dr. V. Singh, 2014, Modal and Harmonic Analysis in A Stepped Vibratory Bowl Feeder, International journal of engineering research & technology (IJERT). (2014). Volume 03, Issue 07.P. 121-130. DOI : 10.17577/IJERTV3IS070126
16. Czubak, P., & Klemiato, M.. Analysis of the Transport Capabilities of an Energy-Efficient Resonant Vibratory Conveyor of Classical Construction. Energies, 2025. Vol.18(10), P. 2500. <https://doi.org/10.3390/en18102500>
17. Mathiesen, S., & Ellekilde, L.-P. Configuration and validation of dynamic simulation for design of vibratory bowl feeders. 12th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA). 2016. P. 485–492. <https://doi.org/10.1109/icca.2016.7505324>

References

1. Kobets, A.S., Dyrda, V.I., Kozub, Yu.G. (2013), *Pidyomno-transportni mashyny [Lifting and conveying machines]*, Lugansk, Ukraine. [in Ukrainian].
2. Lanets, O. S. (2018). *Osnovy rozrakhunku ta konstruivannia vibratsiinykh mashyn. Knyha 1. Teoriia ta praktika stvorennia vibratsiinykh mashyn z harmoniinyim rukhom robochoho orhana: Navchal'nyi posibnyk*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivs'koi politekhniki. [in Ukrainian].
3. Iskovich-Lototsky, R. D.(2022). *Obladnannya avtomatyzovanykh vyrobnystv. Chastyna 2. Avtomatychni liniyi. Hnuchki vyrobnychi systemy. Transportno-zavantazhival'ni prystroyi : elektronnyy navchal'nyy posibnyk kombinovanoho (lokal'noho ta merezhnoho) vykorystannya [Elektronnyy resurs]*. Vinnytsia: VNTU. [in Ukrainian].
4. Vrublevskiy, I. (2020). Optimization of vibratory conveying upward by inclined track with polyharmonic normal vibrations. Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science, 6(2), 34–42. <https://doi.org/10.23939/ujm2020.02.034> [in English].
5. Vrublevskiy, I. Y. (2020). Increasing of elevation angles in vibratory conveyor with electromagnetic drive. Military Technical Collection, 0(22), 48–52. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.48-52> [in English].
6. Azhar, S., & Shah, S. I. A. (2021). Modeling and Analysis of a Vibratory Bowl Feeder. 2021 Seventh International Conference on Aerospace Science and Engineering (ICASE), 1–13. <https://doi.org/10.1109/icase54940.2021.9904038> [in English].
7. Van-Mui Nguyen, Anh-Tuan Hoang, Ha-Manh Nguyen, Dung-Tien Nguyen. A Method of Validating and Verifying the Digital Model of the Vibratory Bowl Feeder. International Journal of Scientific Engineering and Science. 2020. Volume 4, Issue 4, pp. 18-23. DOI: 10.5281/zenodo.3782378 [in English].
8. Han, L., & Gao, J. X. (2010). A Study on the Modelling and Simulation of Part Motion in Vibratory Feeding. Applied Mechanics and Materials, 34–35, 2006–2010. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.34-35.2006> [in English].

9. Aliiev, E. (2023). Numerical simulation of agricultural production processes: textbook. Kyiv: Agrarna nauka, 2023. 340 p.]. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-584-9> [in Ukrainian]
10. Chougule, S. M., Murali, G., & Kurhade, A. S. (2025). Dynamic simulation and performance evaluation of vibratory bowl feeders integrated with paddle shaft mechanisms. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 19(7), 179–196. <https://doi.org/10.12913/22998624/203873> [in English].
11. Nam, L. G., Mui, N. V., & Tu, D. A. (2019). A method to desing vibratory bowl feeder by using FEM modal analysis. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 57(1), P.102. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/57/1/12859> [in English]
12. Rade, D., De Albuquerque, E., Figueira, L., & Carvalho, J. (2013). Piezoelectric Driving of Vibration Conveyors: An Experimental Assessment. *Sensors*, 13(7), 9174–9182. <https://doi.org/10.3390/s130709174>[in English]
13. Choi, S. B., & Lee, D. H. (2004). Modal analysis and control of a bowl parts feeder activated by piezoceramic actuators. *Journal of Sound and Vibration*, 275(1–2), 452–458. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2003.10.008> [in English]
14. Su, J., Tong, J., & Shen, Y. (2019). Analysis of amplitude-frequency characteristics of spiral vibrating feeder system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 612(3), 032155. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/612/3/032155> [in English]
15. Ms. Samrudhi Ramesh Shelot , Dr. K. K Dhande , Jamadar N. I , Dr. V. Singh, 2014, Modal and Harmonic Analysis in A Stepped Vibratory Bowl Feeder, *International journal of engineering research & technology (IJERT)*. (2014). Volume 03, Issue 07. P. 121-130. DOI : 10.17577/IJERTV3IS070126 [in English]
16. Czubak, P., & Klemiato, M. (2025). Analysis of the Transport Capabilities of an Energy-Efficient Resonant Vibratory Conveyor of Classical Construction. *Energies*, 18(10), 2500. <https://doi.org/10.3390/en18102500> [in English]
17. Mathiesen, S., & Ellekilde, L.-P. (2016). Configuration and validation of dynamic simulation for design of vibratory bowl feeders. 2016 12th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), 485–492. <https://doi.org/10.1109/icca.2016.7505324> [in English]

Elchyn Aliiev, Professor, DSc. Senior Researcher

Olexandr Chernii, recipient of the scientific degree of Doctor of Philosophy

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Experimental Studies of a Spiral Vibrating Feeder for Dosing Single Sunflower Seeds

The article presents the results of experimental studies of the design spiral vibrating feeder, which will be used for dosing single sunflower seeds in an automated phenotyping line. The data on the methods of design and planning of experimental studies of cup vibrating feeders are presented in detail. The results of the analysis and systematization of the main factors affecting the process of vibration movement of sunflower seeds along the trough of the vibrating feeder are presented. Using additive FDM technology, an experimental sample of a vibrating cup vibrating feeder was manufactured by 3D printing. The structure of the experimental setup for studying the amplitude-frequency characteristics (AFC) of the experimental vibrating feeder is described. To study the influence of the mass of sunflower seeds contained in the bowl of the vibrating feeder on the change in its amplitude-frequency characteristics, seed samples weighing 29 g, 58 g and 116 g were prepared. Also, in order to determine the nature of the vibration movement of seeds, batches of seed samples with different size groups were formed. The results of the research are presented in the form of graphical dependences of the change in the vertical amplitude, vibration velocity and vibration acceleration of the bowl of the designed spiral vibrating feeder, depending on the circular frequency of forced oscillations created by the unbalanced vibration drive. The experimental frequency response is displayed depending on the mass of sunflower seeds loaded into the bowl of the vibrating feeder. The optimal transportation speed, when dosing sunflower seeds, was obtained at the values of forced circular frequencies ω in the range of 150-170 s⁻¹, at the values of vertical amplitudes of oscillations of the bowl A of 0.35-0.6 mm. Such vibration parameters are obtained at a supply voltage of the vibration motor of 3.3 V. In all variants of loading the bowl of the vibration feeder, the movement of the seeds was characterized as inseparable from the surface of the chute. A factorial experiment established second-order regression equations indicating the dependence of the optimization parameters: vertical amplitude of oscillations A, mm of the bowl of the vibration feeder, vertical vibration velocity V, mm/s and vibration acceleration a, m/s² on the following independent factors: mass of seeds loaded into the bowl m, g and supply voltage of the vibration motor U, V.

seed material, phenotyping line, sunflower seeds, cup vibratory feeder, vibratory feeder model, experimental setup, operating frequency of oscillations, amplitude-frequency characteristic of the vibratory feeder, factorial experiment

Одержано (Received) 11.02.2026

Прорецензовано (Reviewed) 20.02.2026

Прийнято до друку (Approved) 24.02.2026