

METHODS OF RESEARCH THE COEFFICIENTS OF STIFFNESS AND VISCOUS RESISTANCE TO THE DEFORMATION COMPONENTS MANUAL VIBRO SHOCK SHAKER OF THE FRUIT

O. Krupych¹, R. Shevchuk¹, R. Krupych², S. Levko¹

¹Lviv National Agrarian University, Lviv, Ukraine

²Limited Liability Company “Hydraulic Service”, Lviv, Ukraine



ABSTRACT

The article proposes methods and devices for determining the coefficients of stiffness and viscous resistance to deformation of the components of a manual vibratory shock shaker of fruits to solve a system of differential equations that describe the shaking process and justify the basic parameters and modes of shaker. For fruit and nut harvesting, it is proposed to supplement the existing manual vibrating fruit shakers with a percussion mechanism that generates shocks when the shaker rod oscillates. The transition to vibro-shock mode requires a theoretical study of the process of interaction of the shaker with the fruit tree to select the basic parameters. Mathematical models are offered in the form of differential equations of the system “manual vibratory shock shaker – fruit branch”. The data of systems of differential equations are very complex and their solution is possible by numerical methods using computer programs. The developed programs introduce parameters that describe the physical and mechanical properties of elements of the manual vibratory shock shaker. The proposed methods allow determining the coefficients of stiffness and viscous resistance to deformation of the components of the manual vibratory shock shaker.

Key words:

fruit picking,
manual shaker,
stiffness,
viscous resistance to
deformation,
vibration shock

Article history:

Received 02.04.2020

Accepted 27.05.2020

Corresponding author:

krupycholeh@gmail.
com

УДК 631.358

МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ КОЕФІЦІЄНТІВ ЖОРСТКОСТІ ТА В'ЯЗКОГО ОПОРУ ДЕФОРМУВАННЮ СКЛАДОВИХ РУЧНОГО ВІБРОУДАРНОГО СТРУШУВАЧА ПЛОДІВ**О.М. Крунич¹, Р.С. Шевчук¹, Р.О. Крунич², С.І. Левко¹**¹Львівський національний аграрний університет, Львів, Україна²ТзОВ “Гідравлік Сервіс”, Львів, Україна

У статті запропоновані методи та прилади для визначення коефіцієнтів жорсткості та в'язкого опору деформуванню складових ручного віброударного струшувача плодів для розв'язання системи диференціальних рівнянь, що описують процес струшування та дозволять обґрунтувати основні параметри та режими роботи струшувача. Для збирання фруктів та горіхів існуючі ручні вібраційні струшувачі плодів пропонується доповнити ударним механізмом, що генерує удари під час коливання штока струшувача. Перехід на віброударний режим роботи вимагає теоретичного дослідження процесу взаємодії струшувача з плодовим деревом, щоб вибрати основні параметри та режими роботи струшувачів. Математичні моделі пропонуються у вигляді диференціальних рівнянь системи “ручний віброударний струшувач – плодова гілка”. Дані систем диференціальних рівнянь дуже складні і їх розв'язок можливий числовими методами із використанням комп'ютерних програм. У розроблені програми вводять параметри, що описують фізичні та механічні властивості таких елементів ручного віброударного струшувача: пружини ударного механізму; вузлів та деталей механізму утримування та управління струшувачем, зокрема, амортизаційних пружин, пружної вставки задньої ручки, пружини передньої ручки, еластичної вставки утримуючої планки; еластичної подушки захвату. Запропоновані способи дозволяють визначити коефіцієнти жорсткості та в'язкого опору деформуванню складових елементів ручного віброударного струшувача.

Ключові слова: збирання плодів, ручний струшувач, жорсткість, в'язкий опір деформуванню, віброудар.

Стан питання та постановка проблеми

Для збирання плодових та горіхоплідних культур використовують ручний, напівмеханізований та механізований способи збирання. Основоположником плодозбиральних машин Г.П. Варламовим [1]

запропоновано теоретичні основи розрахунку різних типів струшувачів та методики визначення параметрів віброзбурювачів коливань плодів дерев, до яких відносяться жорсткісні та демпфірувальні властивості.

Розробка ударних та віброударних струшувачів [2, 3] передбачала модернізацію існуючих вібраційних збурювачів коливань, що дозволило перейти на ударні та віброударні режими роботи. Запропоновані режими суттєво підвищили повноту знімання без пошкодження кори дерев у місці передачі збурювальних зусиль. Струшувачі обладналися розробленими віброударними механізмами та захватами із гумовими еластичними подушками чи із пустотілими оболонками [2, 3]. Розробниками, у першу чергу, були запропоновані методики дослідження фізико-механічних властивостей елементів запропонованих струшувачів. Ці методики частково можна використати для ручних віброударних струшувачів.

Науковцями пропонуються математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь системи “ручний віброударний струшувач – плодова гілка”. Ці системи диференціальних рівнянь є дуже складними і їх розв’язування можливе числовими методами із використанням комп’ютерних програм. У розроблені програми заносять параметри, що описують фізико-механічні властивості елементів струшувачів, тому дослідження цих параметрів є актуальною задачею для обґрунтування основних параметрів та режимів роботи ручних віброударних струшувачів.

Ураховуючи зазначене вище, необхідно розробити нові чи удосконалити існуючі методики для визначення фізико-механічних властивостей елементів ручних віброударних струшувачів плодів із метою обґрунтування їх оптимальних значень. Ці дані можна буде використати під час теоретичного аналізу процесу знімання плодів із використанням ручних струшувачів, що передають збурювальні зусилля скелетним гілкам. Для теоретичного аналізу пропонуються математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь системи “ручний віброударний струшувач – плодова гілка”. Ці системи рівнянь є дуже складними і їх розв’язування можливе числовими методами із використанням комп’ютерних програм. У розроблені програми заносять параметри, що описують фізико-механічні властивості елементів струшувачів, тому дослідження даних параметрів є актуальною задачею для обґрунтування основних параметрів та режимів роботи ручних віброударних струшувачів.

Мета дослідження – розробити методики визначення коефіцієнтів жорсткості та в’язкого опору деформуванню складових ручного

віброударного струшувача плодів для розв'язування системи диференціальних рівнянь, що описують процес знімання плодів і дозволяють обґрунтувати основні параметри та режими роботи запропонованого струшувача.

Матеріали і методи

Використано методи проведення експериментів для визначення фізико-механічних параметрів гумових та пружних елементів машин та засобів, що характеризуються пружньо-демпфірувальними властивостями. Досліджувалися елементи ручного віброударного струшувача, створеного на базі серійного вібраційного струшувача SC-105 італійської фірми Cifarelli (рис. 1) [4], який використовується для збирання оливок. Базовими елементами серійного вібраційного струшувача є: двигун внутрішнього згоряння, збурювач кривошипно-повзунного типу, штанга, механізм утримання та управління.

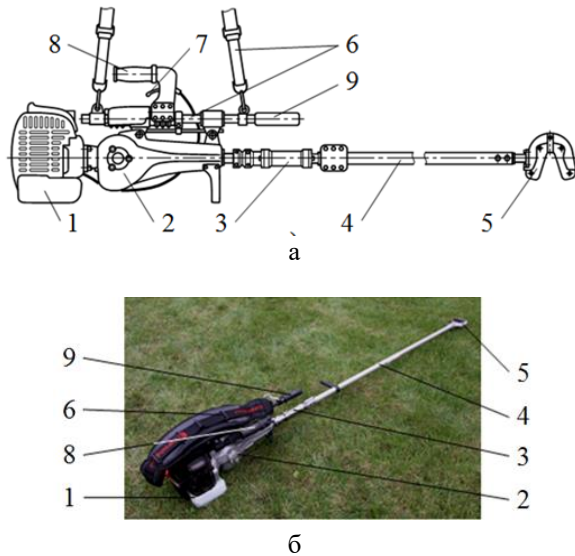


Рис. 1 – Ручний віброударний струшувач плодів:

а – схема; б – загальний вигляд:

- 1 – двигун внутрішнього згоряння; 2 – збурювач коливач кривошипно-повзунного типу; 3 – ударний механізм; 4 – штанга;
- 5 – вилчастий захват; 6 – механізм утримання та управління струшувачем; 7 – важілець управління системою подачі палива двигуна внутрішнього згоряння; 8, 9 – рукоятки

Цей серійний струшувач доповнено розробленими вилчастим захватом та ударним механізмом [5], що дозволило використовувати ручний струшувач на збиранні плодкових та горіхоплідних культур.

Ударний механізм генерує ударний імпульс під час гармонічних вібраційних коливань скелетних гілок. Накладання імпульсу на гармонічні коливання супроводжується значним зростанням прискорення гілок у місці їх захвату. Цим також забезпечується широкий спектр частот струшування гілок, який охоплює діапазон необхідних частот струшування, і досягається висока повнота знімання плодів [5]. Розроблений вилчастий захват містить гумові еластичні подушки для захисту кори гілок від пошкоджень.

Для аналізу процесу знімання плодів ручним віброударним струшувачем і визначення його основних режимів роботи розроблена математична модель із шести рівнянь [6]. Дані щодо жорсткісних та демпфірувальних показників складових частин струшувача заносяться в програму для розв'язування системи диференціальних рівнянь числовим методом Рунге-Кутта.

Результати дослідження та обговорення

Необхідно дослідити такі складові частини ручного віброударного струшувача (рис. 1): пружину ударного механізму; вузли та деталі механізму утримання і управління струшувачем, зокрема, демпферні пружини кріплення до збурювача коливань, еластичну вставку задньої рукоятки, пружну передню демпферну рукоятку, еластичну вставку утримувальної лямки; еластичні подушки вилчастого захвату.

Коефіцієнти жорсткості визначались за загальноприйнятою методикою. Згідно методики до досліджуваних елементів ступінчасто прикладаються статичні навантаження стиску, розтягу або згину і одночасно вимірюються як навантаження, так і деформація. Значення коефіцієнтів жорсткості розраховуються за залежністю [7]:

$$c = \left(\sum_{i=1}^n P_i x_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right), \quad (1)$$

де P – прикладена сила, Н; x – деформація досліджуваного елемента, мм; i – індекс вимірювання у досліді; n – число вимірювань, що відповідає числу ступенів навантаження.

Для проведення експериментів використовуються: серійний прилад КИ-40 для перевірки жорсткості пружин (рис. 2) [8]; механічна машина розтягу із пресовим пристосуванням для перетворення зусилля розтягу в зусилля стиску (рис. 3) [3].

На приладі КИ-40 досліджуються жорсткість пружин ударного механізму та механізму утримання і управління струшувачем. Для

цього на столик встановлюється (рис. 2), а потім ступінчасто стискається досліджувана пружина шляхом переміщення кронштейна за допомогою поворотного важеля. На кожному послідовному ступені стиску гвинтом фіксується положення кронштейна на стійці і реєструється сила стиску пружини за показами вагового механізму та деформація – штангенциркулем. Реалізується сім ступенів навантаження, після чого пружина повністю розвантажується й експерименти трикратно повторюються. Коефіцієнти жорсткості досліджуваних пружин розраховуються за виразом (1).

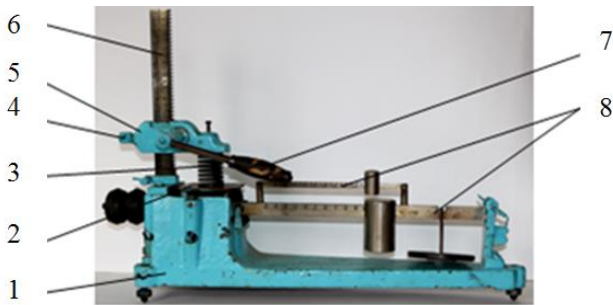


Рис. 2 – Дослідження жорсткості пружин на приладі КИ-40:
1 – станина; 2 – столик; 3 – досліджувана пружина; 4 – затискний гвинт; 5 – рухомий кронштейн; 6 – зубчаста стійка; 7 – поворотний важіль; 8 – ваговий механізм

Значення жорсткості еластичних подушок вилчастого захвата та еластичних вставок утримувальної лямки струшувача досліджуються на механічній машині розтягу (рис. 3), що забезпечує прикладання значних зусиль для деформації вказаних елементів [3]. Подушки захвата стискається із використанням пресового пристосування, причому сила стиску збільшується ваговим механізмом вказаної машини від 0 до 5000 Н із кроком 250 Н. За кожного навантаження штангенциркулем реєструється деформація подушок і коефіцієнт жорсткості розраховується за виразом (1).

В аналогічній послідовності визначається жорсткість еластичної вставки утримувальної лямки струшувача. Вставка кріпиться до вух машини розтягу і розтягується зусиллям від 0 до 150 Н із кроком 15 Н. Верхня межа зусилля розтягу вибирається із урахуванням сили тяжіння ручного віброударного струшувача та ймовірних додаткових навантажень у процесі коливань.

Еластична вставка задньої рукоятки струшувача під час досліджень на згин розташовується горизонтально і одна її сторона нерухомо затискається. До іншої вільної сторони вертикально прикладається сила, під дією якої вставка згинається й одночасно реєструється сила і лінійна деформація вставки.

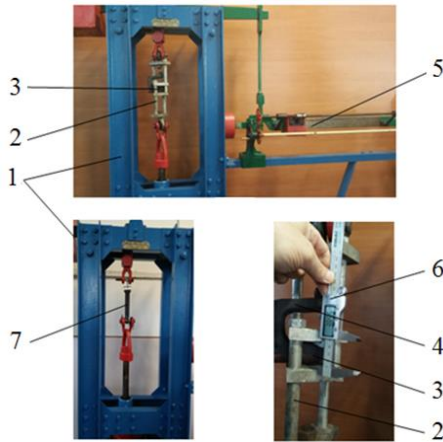


Рис. 3 – Дослідження жорсткості утримувальної лямки та подушок захвата струшувача:

- 1 – машина розтягу; 2 – пресове пристосування; 3, 4 – еластичні подушки захвата; 5 – ваговий механізм; 6 – штангенциркуль; 7 – еластична вставка утримувальної лямки

Для дослідження жорсткості передньої рукоятки струшувача, змонтованої на напрямній штанзі, остання встановлюється вертикально із рукояткою на вершині і нерухомо затискається. До рукоятки вертикально прикладається сила, яка реєструється, й одночасно вимірюється зміщення рукоятки, тобто деформація її пружин.

Експеримент із вставкою задньої рукоятки та передньою рукояткою струшувача проводиться у п'ятикратній повторності зі збільшенням сили, що зумовлює деформацію, від 0 до 250 Н. За отриманими значеннями сили і деформації за виразом (1) розраховується коефіцієнт жорсткості.

Коефіцієнти в'язкого опору n_v (Н·с/м) елементів ручного віброударного струшувача визначаються шляхом запису згасаючих коливань за формулою [9, 10]:

$$n_g = -2m_g \frac{2\pi}{T_1} \ln \frac{a_{i+1}}{a_i}, \quad (2)$$

де m_g – маса, що коливається, кг; T_1 – період згасаючих коливань згідно із записаними осцилограмами, с; a_i, a_{i+1} – послідовні значення амплітуди однаково спрямованих згасаючих коливань, мм.

Для дослідження еластичної вставки утримувальної лямки струшувача використовуються лещата (рис. 4), що закріплюються в Т-подібних пазах робочого стола фрезерного верстата, та вимірювальна апаратура запису осцилограм прискорень згасаючих коливань. Еластична вставка утримувальної лямки вертикально верхнім кінцем кріпиться до лещат, а до вуха нижнього кінця кріпиться акселерометр та металевий стрижень з додатковою масою (рис. 4). Еластична вставка задньої рукоятки струшувача в горизонтальному положенні кріпиться одним кінцем у лещатах (рис. 5).

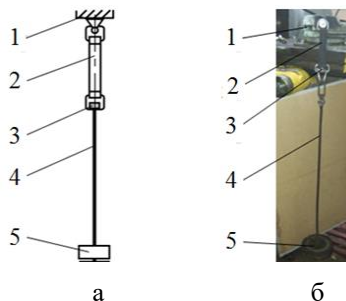


Рис. 4 – Визначення згасаючих коливань еластичної вставки лямки струшувача:

а – схема коливної системи; б – загальний вигляд вставки:

1 – лещата; 2 – еластична вставка утримувальної лямки;

3 – акселерометр; 4 – металевий стрижень; 5 – додаткова маса

Коливання реєструються акселерометром, закріпленим на іншому кінці вставки. Маса m_g у коливній системі еластичної вставки лямки (рис. 4) визначається як сумарна маса вставки, акселерометра, стрижня і додаткової маси, а для коливної системи еластичної вставки задньої рукоятки (рис. 5) – сума маси самої вставки та маси акселерометра.

До досліджуваних елементів миттєво прикладається зусилля, що забезпечує вільні згасаючі коливання, запис яких здійснюється за допомогою обладнання вимірювання прискорень. Обробка отриманих осцилограм дозволяє визначити послідовні значення амплітуди та

період однаково спрямованих згасаючих коливань, необхідні для встановлення значень коефіцієнтів в'язкого опору n_6 , які розраховуються за залежністю (2).

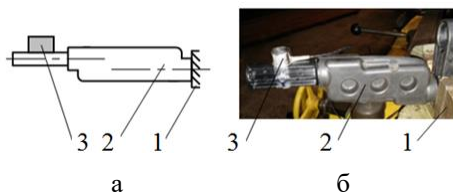


Рис. 5 – Визначення згасаючих коливань

еластичної вставки задньої рукоятки струшувача:

а – схема коливної системи; б – загальний вигляд вставки:

1 – лещата; 2 – еластична вставка задньої рукоятки; 3 – акселерометр

Висновки

Для підвищення ефективності ручного збирання плодів доцільно використовувати ручні віброударні струшувачі плодів, що забезпечують знімання плодів шляхом передачі збурювальних зусиль скелетним гілкам. Для обґрунтування оптимальних параметрів та режимів струшувача запропоновано математичну модель у вигляді диференціальних рівнянь, розв'язування яких можливе лише числовими методами із використанням комп'ютерних програм. Початковими даними для цих програм є параметри елементів ручного струшувача плодів: пружини ударного механізму; вузлів та деталей механізму утримання і управління струшувачем, зокрема, демпферних пружин, еластичної вставки задньої рукоятки, пружини передньої демпферної рукоятки, еластичної вставки утримувальної лямки; еластичної подушки вилчастого захвата. Запропоновані методики дозволяють визначити коефіцієнти жорсткості та в'язкого опору деформуванню складових ручного віброударного струшувача плодів.

Список посилань

1. Варламов, Г. П. Машини для уборки фруктів / Г. П. Варламов. – Москва : Машиностроение, 1978. – 216 с.
2. Гошко, З. О. Дослідження технологічного процесу збирання плодів тросовим струшувачем віброударної дії : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.11 / З. О. Гошко; Луцький індустріальний інститут. – Луцьк, 1995. – 263 с.
3. Семен, Я. В. Обґрунтування параметрів і режимів роботи плодозбирального агрегату з акумулятором енергії : дис. на

- здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / Семен Ярослав Васильович; Львівський держ. аграрний ун-т. – Львів, 2007. – 202 с.
4. Shaker SC105. Cifarelli SpA. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.cifarelli.it/documenti/depSC105_GB.pdf
 5. Шевчук, Р. С. Ручний віброударний струшувач плодів / Р. С. Шевчук, Р. О. Крунич // Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. – Луцьк, 2011. – Вип. 21. Том II. – С. 238–243.
 6. Крунич, Р. О. Математична модель системи “ручний віброударний струшувач – плодова гілка” / Р. О. Крунич, І. І. Ніщенко, Р. С. Шевчук, С. О. Крунич // Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодержавний збірник. – ННЦ “ІМЕСГ”, Глеваха, 2019. – Вип. №9(108). – С. 210–223. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2019-9-27>
 7. Хайліс, Г. А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин : навч. посібник / Г. А. Хайліс, Д. М. Коновалюк. – Київ : НМК ВО, 1992. – 320 с.
 8. Практикум з ремонту машин / О. І. Сідашенко та ін.; за ред. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. – Київ : Урожай, 1995. – 224 с.
 9. Иориш, Ю. И. Виброметрия / Ю. И. Иориш. – Москва : Машгиз, 1963. – 569 с.
 10. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. 2. / А. А. Яблонский. – Москва : Высшая школа, 1977. – 411 с.