

**В.Г. Топільницький, к.т.н., доц.
Д.П. Ребот, к.т.н., асистент
М.В. Бойко, ст. викладач**

Національний університет «Львівська політехніка»

Дослідження впливу параметрів машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом на інтенсивність її функціонування

Розроблено конструкцію машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом, яка може застосовуватися для їх різних видів та розмірів. Машина використовує енергію вібраційних коливань для забезпечення процесу очищення за рахунок тертя поверхонь коренеплодів між собою та ситом робочого контейнера. Процес очищення може бути неперервним або періодичним. Конструкція машини забезпечує виконання функції транспортування коренеплодів під час їх очищення. Розроблено математичну модель такої машини нелінійного виду, що описує її динаміку. Модель побудовано з використанням асимптотичних методів нелінійної механіки та рівняння Лагранжа. Усі параметри машини (геометричні, силові та кінематичні) відображено в моделі у символічному форматі. Їх числові значення у реальному діапазоні зміни можна підставляти безпосередньо у модель, яка опише колильний рух довільної точки машини, побудує траєкторію її руху та визначить амплітуду її коливань. З математичної точки зору модель відображено у системі аналітичних залежностей узагальнених координат опису руху робочого контейнера машини (сита з коренеплодами). На основі моделі проведено дослідження впливу параметрів машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом на інтенсивність її функціонування. Побудовано графічні залежності амплітуди коливного руху машини від параметрів, які можна змінювати у процесі експлуатації машини. Зроблено висновки щодо вагомості впливу того чи іншого параметра на характер та амплітуду коливань робочого контейнера машини. Отримані результати можна застосовувати як під час проектування машин такого виду, так і під час вибору оптимальних режимів очищення коренеплодів.

Ключові слова: коренеплоди; сухий спосіб очищення; математична модель; робоча камера; сито; транспортування; вібраційні коливання; забруднення.

Постановка проблеми. Одним із перспективних напрямів розвитку України є сільське господарство та переробне харчове виробництво. Маючи сприятливий клімат та чорноземні ґрунти на своїх великих площах, Україна може стати одним зі світових лідерів виробництва та постачання продуктів харчування – від сировини (зерна, овочів, фруктів, продуктів тваринництва, птахівництва, бджільництва) до напівфабрикатів та готової продукції з них (соків, консервів, хлібобулочних виробів, виробів з м'яса та молока). Українські виробники можуть забезпечити всі ланки виготовлення продуктів харчування, створити повний замкнутий цикл виробництва, що неодмінно вплине на зростання економіки нашої країни. Однак такий процес виробництва складається з багатьох елементів, до кожного з яких ставляться високі вимоги. Процес «з лану – до столу» полягає не тільки у вирощуванні «сировини» для харчового виробництва, а й у її підготовці до перероблення, транспортування, зберігання, власне перероблення, виготовлення продукції, знову ж таки її зберігання, транспортування та реалізації, враховуючи експорт.

Цю роботу присвячено одному з важливих етапів підготовки зібраної сільськогосподарської продукції до подальшого перероблення та зберігання. Це етап очищення від забруднень, зокрема – сухе очищення коренеплодів овочевих культур (моркви, буряка, редьки, редиски, картоплі тощо). Урожай коренеплодів збирають на фермерських господарствах автоматизовано за різних погодних умов. Через це на їх поверхнях може накопичуватися багато бруду (зокрема ґрунту, патогенної флори тощо). Для транспортування коренеплодів на переробні підприємства чи до споживача їх потрібно очистити поверхнево, посортувати та запакувати. Звичайно коренеплоди можна мити водою [1–3]. Однак такий спосіб очищення вимагає вирішення трьох завдань: підведення та відведення води, витрати води, наступне якісне сушіння помитих овочів (адже зберігання повністю не висушених овочів призведе до їх швидкого псування). Вирішення цих завдань є досить вартісним, що неодмінно відобразиться на ціні кінцевого продукту, виготовленого з такої сировини, або ж на відпускній ціні самих овочів. Суттєво дешевшою альтернативою миттю водою є сухе очищення коренеплодів, за якого витратні операції з водою та подальшим їх сушінням відсутні [4]. Обладнання такого очищення забезпечує відносний рух коренеплодів у насипному об'ємі та видалення забруднень з їх поверхонь за рахунок тертя між собою. Розроблення нових універсальних конструкцій обладнання очищення овочів сухим способом є актуальним прикладним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Спектр конструкцій машин для очищення овочів та фруктів є досить широким [1]. Очищення сухим способом має низку переваг перед «мокрим», тобто миттям [4]. Відповідно очищення коренеплодів сухим способом слід проводити перед їх складуванням і зберіганням, а вже миття можна застосовувати безпосередньо перед обробленням – виготовленням продуктів харчування на переробних підприємствах. Якщо ж сировина буде без зберігання йти на переробку, то процес очищення можна безпосередньо поділити на два етапи – сухе очищення, яке допоможе зняти великий відсоток бруду з поверхонь сировини, а потім – миття. При цьому буде зекономлено і кошти на використання води (вартість води, подача води, її фільтрування, відведення), і час та кошти на проведення сушіння мокрих овочів та фруктів.

Недоліком сучасного обладнання сухого способу очищення є його вузьконаправленість, тобто воно призначене для очищення сировини або певного виду, або певного розміру [5–7]. Актуальним завданням сьогодення є розроблення універсального обладнання для сухого способу очищення коренеплодів різного виду. Оптимальні конструкції обладнання можна буде отримати за допомогою попереднього теоретичного дослідження як самого процесу очищення, так і устаткування для його реалізації шляхом математичного моделювання його роботи. Попередні дослідження такого типу або вирішували ці задачі в лінійній постановці [8], або були, знову ж таки, вузьконаправленими. Саме розроблення математичних моделей у нелінійній постановці опису динаміки обладнання сухого способу очищення коренеплодів дасть змогу швидко та економічно вигідно отримати його оптимальну конструкцію і режими оптимального функціонування.

Мета дослідження – проведення аналізу впливу параметрів машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом на інтенсивність її функціонування для визначення найвагоміших з погляду раціональності їх зміни у процесі експлуатації машини.

Викладення основного матеріалу. Авторами статті запропоновано конструкцію машини очищення коренеплодів сухим способом, в якій очищення їх поверхонь відбувається через взаємне тертя коренеплодів між собою. Машина є вібраційного типу з регульованою амплітудою коливань. Відносний рух коренеплодів у їх насипному об'ємі забезпечується за рахунок енергії коливного руху робочого контейнера машини, в якій вони розміщені. Машина є універсальною з точки зору очищення різних коренеплодів як за видом, так і за розміром. Рівнем коливної енергії машини можна варіювати, таким чином вибираючи режим очищення того чи іншого виду коренеплодів. Також машина характеризується великою продуктивністю. Вона може забезпечувати одночасне очищення сухим способом та переміщення у просторі сировини, яка підлягає очищенню. Тобто ця машина виконує функцію і транспортного обладнання, що є дуже важливим показником у технологічному ланцюжку перероблення сільськогосподарської продукції.

На рисунку 1 зображено схему запропонованої конструкції машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом. До складу машини входить робочий контейнер 1 у формі циліндра, в середині якого розміщена циліндрична сітка, яка має дрібне вічко (в межах кількох міліметрів). Сітка складається з трьох основних частин:

- а) внутрішньої сітки 2 (вона обмежує простір робочого контейнера машини, де інтенсивність очищення є найменшою);
- б) зовнішньої сітки 3, яка розміщена із зазором до внутрішньої стінки робочого контейнера;
- в) системи з'єднувачів 4, які розділяють об'єм коренеплодів між сітками для їх кращого очищення та формують єдиний каркас із двох сіток 2 і 3.

Основне призначення сіток: очищення поверхонь коренеплодів, які безпосередньо контактують з нею; пропускання через вічка сітки видалених забруднень у простір зазора між сіткою 3 та нижньою внутрішньою частиною робочого контейнера.

Завантаження забруднених коренеплодів відбувається насипом через горловину 5. Акумуляовані на дні робочого контейнера видалені забруднення з поверхонь коренеплодів, які пройшли через вічка сітки, вивантажуються через горловину 6. Вивантаження очищених коренеплодів відбувається через горловину 12, розміщену в нижній частині торцевої стінки робочого контейнера. Колильний рух робочого контейнера машини, яка розміщена на системі пружин 8, забезпечується чотирма неврівноваженими обертовими масами 7 через пружні муфти 10 від електродвигунів 11. Уся машина змонтована на зварній рамі 9 з металевого профілю. Завдяки різній величині обертових мас 7 або величині зміщення їх центра мас від осі обертання можна досягнути різної амплітуди коливань частин робочого контейнера машини та внутрішньої сітки. Це забезпечить направлений рух сукупності коренеплодів від зони завантаження 5 до зони вивантаження 12. При цьому коренеплоди будуть інтенсивно перемішуватися між собою, тертися взаємно своїми поверхнями та об поверхню сітки й очищуватимуться. Тобто, матимемо накладання двох технологічних операцій – сухого виду очищення та переміщення (транспортування). Залежно від необхідної відстані транспортування, робоча камера може мати різну довжину. Слід наголосити на тому, що направлена коливна енергія паралельно переміщатиме видалені забруднення днищем робочого контейнера до горловини 6.

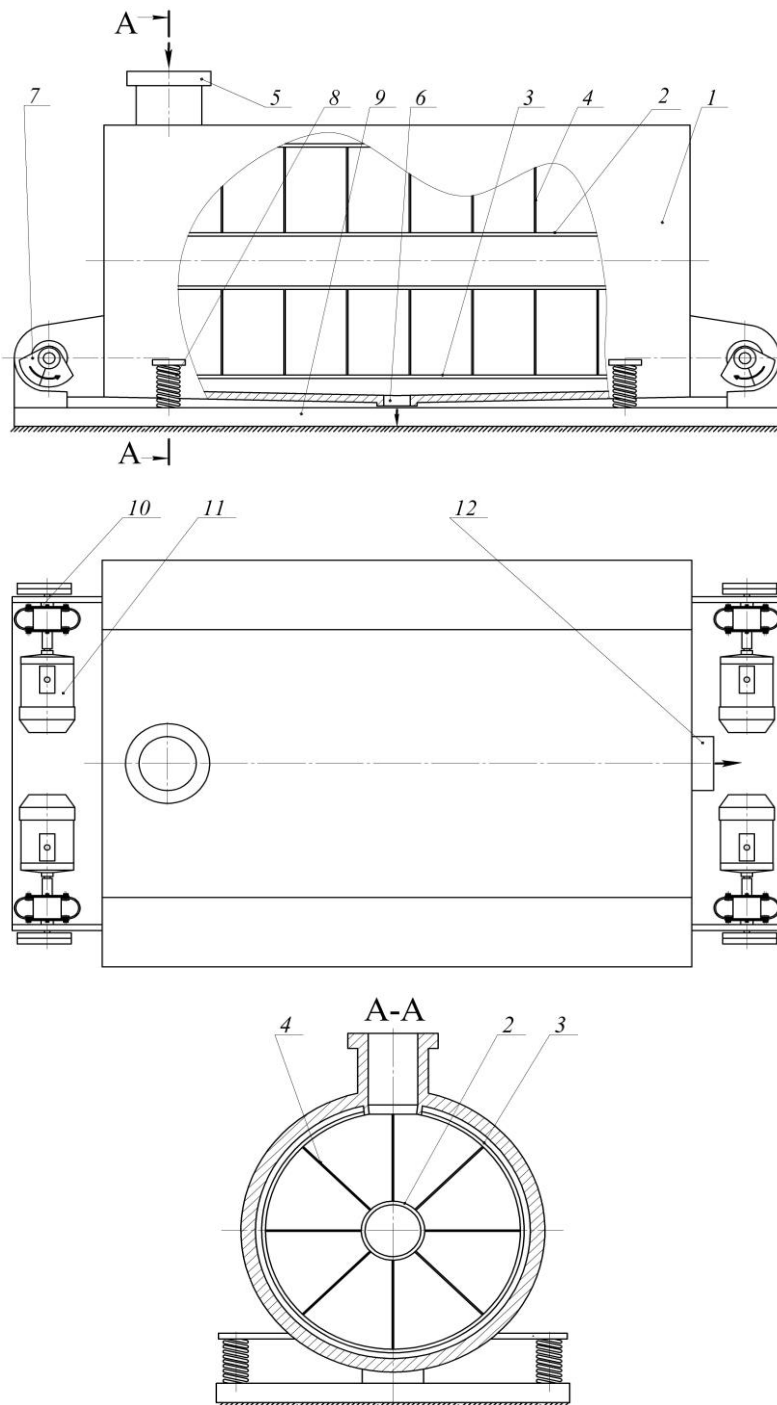


Рис. 1. Схема машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом

Дослідження впливу параметрів розробленої конструкції машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом на інтенсивність її функціонування проводилося на розробленій авторами математичній моделі такої машини, що описує її динаміку. Модель побудовано з використанням асимптотичних методів нелінійної механіки та рівняння Лагранжа [9, 10]. Всі параметри машини, а вони є трьох видів – геометричні, силові та кінематичні, відображено в моделі у символічному форматі. Тобто їх числові значення в реальному діапазоні зміни можна підставляти безпосередньо в модель, яка опише коливний рух довільної точки машини, побудує траєкторію її руху та визначить амплітуду її коливань.

Остання величина буде одним із ключових чинників, який визначатиме інтенсивність процесу очищення коренеплодів сухим способом та швидкість їх переміщення вздовж робочого контейнера машини – інтенсивність функціонування машини. З математичної точки зору модель буде відображено у системі аналітичних залежностей узагальнених координат опису руху робочого контейнера машини сухого очищення коренеплодів від забруднень x_{o3} , y_{o3} та φ від параметрів машини виду (1), (2) та (3).

$$\begin{aligned}
 x_{o3} = & x_0 \sin\left(\sqrt{\frac{c}{M}}t + \alpha_x\right) + \frac{\varepsilon}{\sqrt{\frac{c}{M}}} \int_0^t \left[-\ddot{\varphi} \left(M_K S \cos \varphi + M_{\Delta 1} \left(r_1 \cos(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) + \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + l_1 \sin \varphi - k_1 \cos \varphi \right) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + M_{\Delta 2} (r_2 \cos(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) - l_2 \sin \varphi - k_2 \cos \varphi) \right) \right] - \\
 & - (\ddot{\varphi})^2 \left(-M_K S \sin \varphi + M_{\Delta 1} (-r_1 \sin(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) + l_1 \cos \varphi + k_1 \sin \varphi) + \right. \\
 & \left. + M_{\Delta 2} (-r_2 \sin(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) - l_2 \cos \varphi + k_2 \sin \varphi) \right) + \\
 & + M_{\Delta 1} r_1 \sin(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) (\omega_1^2 + 2\omega_1 \dot{\varphi}) + M_{\Delta 2} r_2 \sin(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) (\omega_2^2 + 2\omega_2 \dot{\varphi}) - \\
 & - C_1 \left(\sqrt{(x_{o3} - b \cos \varphi + f \sin \varphi + b)^2 + \left(y_{o3} - b \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c} \right)^2} - L_{np} \right) \times \\
 & \times \left[\frac{x_{o3} - b \cos \varphi + f \sin \varphi + b}{\sqrt{(x_{o3} - b \cos \varphi + f \sin \varphi + b)^2 + \left(y_{o3} - b \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c} \right)^2}} \right] - \\
 & - C_2 \left(\sqrt{(x_{o3} + q \cos \varphi + f \sin \varphi - q)^2 + \left(y_{o3} + q \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c} \right)^2} - L_{np} \right) \times \\
 & \times \left[\frac{x_{o3} + q \cos \varphi + f \sin \varphi - q}{\sqrt{(x_{o3} + q \cos \varphi + f \sin \varphi - q)^2 + \left(y_{o3} + q \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c} \right)^2}} \right] \times \\
 & \times \sin \left(\sqrt{\frac{c}{M}}(t - u) \right) du ;
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 y_{o3} = & y_0 \sin\left(\sqrt{\frac{c}{M}}t + \alpha_y\right) + \frac{\varepsilon}{\sqrt{\frac{c}{M}}} \int_0^t \left[-\ddot{\varphi} \left(M_K S \sin \varphi + M_{\Delta 1} \left(r_1 \sin(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. - l_1 \cos \varphi - k_1 \sin \varphi \right) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + M_{\Delta 2} (r_2 \sin(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) + l_2 \cos \varphi - k_2 \sin \varphi) \right) \right] - \\
 & - (\ddot{\varphi})^2 \left(M_K S \cos \varphi + M_{\Delta 1} (r_1 \cos(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) + l_1 \sin \varphi - k_1 \cos \varphi) + \right. \\
 & \left. + M_{\Delta 2} (r_2 \cos(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) - l_2 \sin \varphi - k_2 \cos \varphi) \right) + \\
 & - M_{\Delta 1} r_1 \cos(\omega_1 t + \varphi + \alpha_0) (\omega_1^2 + 2\omega_1 \dot{\varphi}) - M_{\Delta 2} r_2 \sin(\omega_2 t + \varphi + \psi_0) (\omega_2^2 + 2\omega_2 \dot{\varphi}) - \\
 & - \frac{C_1}{2} 2 \left(\sqrt{(x_{o3} - b \cos \varphi + f \sin \varphi + b)^2 + \left(y_{o3} - b \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c} \right)^2} - L_{np} \right) \times \\
 & \times \left[\frac{y_{o3} - b \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c}}{\sqrt{(x_{o3} - b \cos \varphi + f \sin \varphi + b)^2 + \left(y_{o3} - b \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c} \right)^2}} \right] - \\
 & - C_2 \left(\sqrt{(x_{o3} + q \cos \varphi + f \sin \varphi - q)^2 + \left(y_{o3} + q \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c} \right)^2} - L_{np} \right) \times \\
 & \times \left[\frac{y_{o3} + q \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c}}{\sqrt{(x_{o3} + q \cos \varphi + f \sin \varphi - q)^2 + \left(y_{o3} + q \sin \varphi - f \cos \varphi + f + L_{np} - \frac{Mg}{c} \right)^2}} \right] + Mg \times \\
 & \times \sin \left(\sqrt{\frac{c}{M}}(t - u) \right) du ;
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\varphi(t) = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \theta(t)). \tag{3}$$

У цій системі математичних виразів виокремимо такі основні параметри: M – маса робочого контейнера; $M_{ди}$ – величина відповідної неврівноваженої обертової маси приводу з кутовою швидкістю ω_i ; r_i – величина зміщення центра мас неврівноваженої обертової маси від осі її обертового руху; C_i – жорсткість пружин кріплення робочого контейнера. Також у моделі присутня низка геометричних параметрів, які відображають розміщення підвіски, кріплення обертових мас приводу, розміри робочого контейнера та сит тощо.

Всі параметри досліджуваної машини сухого способу очищення було поділено на три групи за складністю зміни у процесі експлуатації: параметри, які легко змінювати; можливо змінювати; складно змінювати. Ці параметри було взято в числовому форматі у діапазонах їх зміни та підставлено за різних комбінацій у математичну модель у середовищі автоматизованої програми математичних розрахунків Mathcad.

Вхідні значення для проведення досліджень деяких параметрів (можливий діапазон їх зміни) для отримання відповідних графічних залежностей із визначення їх впливу на характер руху робочого контейнера будуть, наприклад: а) $r_1 = r_2 = 0-0,095$ м – діапазон зміни величини зміщення центра мас неврівноваженої обертової маси від осі її обертового руху; б) $\omega_i = 50-150$ с⁻¹ – діапазон зміни кутових швидкостей неврівноваженої обертової маси приводу; в) $M_{ди} = 1-7$ кг – діапазон зміни величини відповідної неврівноваженої обертової маси; г) $M = 110-200$ кг – діапазон зміни маси робочого контейнера; д) $C_i = 10-19$ кН/м – діапазон зміни жорсткості пружин кріплення робочого контейнера.

У результаті проведених досліджень отримано графічні залежності амплітуди коливного руху машини очищення коренеплодів сухим способом від параметрів, які можна змінювати в процесі експлуатації машини. З огляду на наведені графічні залежності зроблено висновки щодо вагомості впливу того чи іншого параметра на характер та амплітуду коливань робочого контейнера машини.

На рисунках 2 і 3 показано, як впливає на амплітуду коливань робочого контейнера коливна маса із завантаженням (при зміні величини кутових швидкостей обертання неврівноважених мас приводу та значення жорсткості пружин кріплення робочого контейнера).

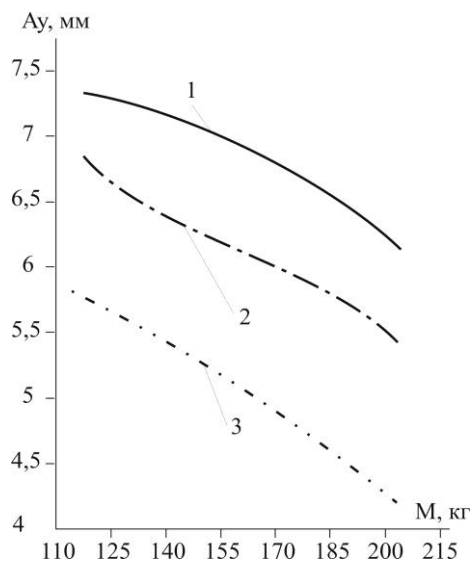


Рис. 2. Залежність амплітуди коливань робочого контейнера машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом від коливної маси при кутовій швидкості обертання неврівноважених мас $\omega_1 = \omega_2 = 140$ с⁻¹.

1 – жорсткість пружин кріплення робочого контейнера 12 кН/м; 2 – 15 кН/м; 3 – 18 кН/м

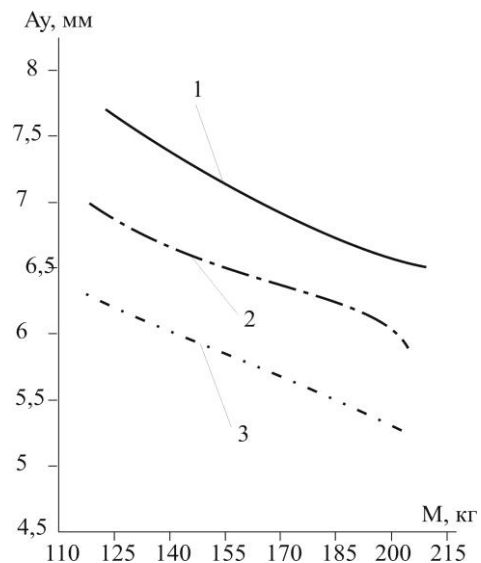


Рис. 3. Залежність амплітуди коливань робочого контейнера машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом від коливної маси при кутовій швидкості обертання неврівноважених мас $\omega_1 = \omega_2 = 110$ с⁻¹.

1 – жорсткість пружин кріплення робочого контейнера 12 кН/м; 2 – 15 кН/м; 3 – 18 кН/м.

У результаті отриманих графічних залежностей можна констатувати:

а) значення амплітуди коливань робочого контейнера машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом знаходяться у нелінійній залежності від коливної маси (робочого контейнера із ситами та коренеплодами) і зменшується за умови її збільшення. Так для машини із жорсткістю пружин 15 кН/м та кутовою швидкістю обертання неврівноважених мас 140 с⁻¹ під час збільшення коливної маси від 125 до 200 кг (в 1,6 раза) амплітуда коливань зменшилася у 1,2 раза, тобто приблизно на 2 мм;

б) значення амплітуди коливань робочого контейнера машини знаходяться у нелінійній залежності від кутової швидкості обертання неврівноважених мас і зростає за умови зменшення кількості обертів приводних двигунів. Зокрема, наприклад, для машини із жорсткістю пружин 18 кН/м та загальною коливною масою 170 кг під час зменшення кутової швидкості приводу від 140 до 110 с⁻¹ (в 1,3 раза) амплітуда вертикальних коливань робочого контейнера збільшилася у 1,16 рази, або майже на 1 мм;

в) значення амплітуди коливань робочого контейнера машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом нелінійно залежить від жорсткості пружин кріплення робочого контейнера. Вона зменшується за умови збільшення жорсткості. Зокрема, наприклад, для машини з коливною масою 155 кг та кутовою швидкістю обертання дебалансів 140 с⁻¹ під час збільшення величини жорсткості пружин від 12 до 18 кН/м (у 1,5 раза) амплітуда вертикальних коливань робочого контейнера зменшилася в 1,38 раза, відповідно на 2 мм.

Використовуючи математичну, модель отримано низку залежностей амплітуд коливань робочого контейнера від величини зміщення центра мас неврівноваженої обертової маси від осі її обертового руху, жорсткості пружин чи кутових швидкостей приводу за різних їх варіацій між собою. Зокрема, на рисунку 4 зображено залежність вертикальної складової амплітуди коливань робочого контейнера від величини зміщення центру мас неврівноваженої обертової маси при різних значеннях цих мас. Залежності побудовано за коливної маси вібраційної машини 165 кг, кутової швидкості обертання дебалансів 90 с⁻¹, жорсткості пружин підвіски 16 кН/м.

Провівши аналіз отриманих залежностей можна резюмувати:

а) амплітуда коливань робочого контейнера машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом нелінійно залежить від величини зміщення центру мас неврівноваженої обертової маси і збільшується під час її зростання. Зокрема, наприклад, для обертових мас 7 кг під час збільшення їх зміщення від 0,02 до 0,08 м (у 4 рази), амплітуда зростає від 3,5 до 9 мм (в 2,57 раза), тобто на 5,5 мм;

б) амплітуда коливань робочого контейнера нелінійно залежить від величини неврівноважених обертових мас приводу і збільшується під час зростання величини останніх. Так для машини зі зміщенням обертової маси 0,06 м під час збільшення її величини від 2,5 до 7 кг (в 2,8 раза), амплітуда коливань робочого контейнера зростає у 4,56 раза, тобто на 5,7 мм;

У роботі також було отримано залежності вертикальної складової амплітуди коливань машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом від кутових швидкостей обертання неврівноважених мас (двигунів приводу) за їх різної величини (рис. 5). Коливна маса робочого контейнера становила в такому випадку 100 кг, жорсткість підвіски – 14 кН/м, зміщення маси – 0,07 м. Проаналізувавши отриману залежність можна резюмувати, що амплітуда коливань машини нелінійно зменшується під час збільшення кутової швидкості обертового руху неврівноважених мас (збільшення кількості обертів двигуна приводу). Так для машини зі зміщенням мас в 0,07 м та їх величиною в 5,5 кг під час зростання їх кутової швидкості обертового руху від 80 до 140 с⁻¹ (в 1,75 раза) амплітуда коливань робочого контейнера зменшилася у 1,8 раза, тобто на 2,5 мм.

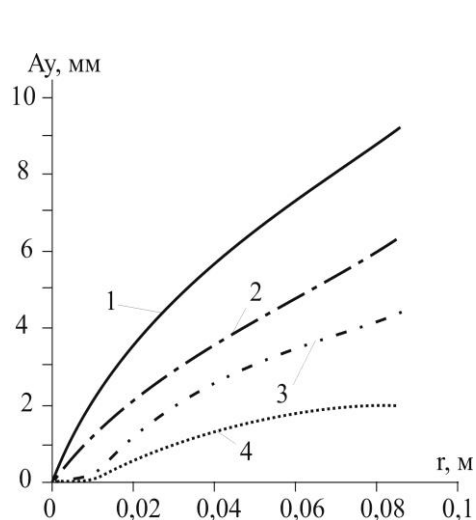


Рис. 4. Залежність вертикальної складової коливань робочого контейнера машини очищення коренеплодів від величини зміщення неврівноваженої обертової маси. Значення мас: 1 – 7 кг; 2 – 5,5 кг; 3 – 4 кг, 4 – 2,5 кг

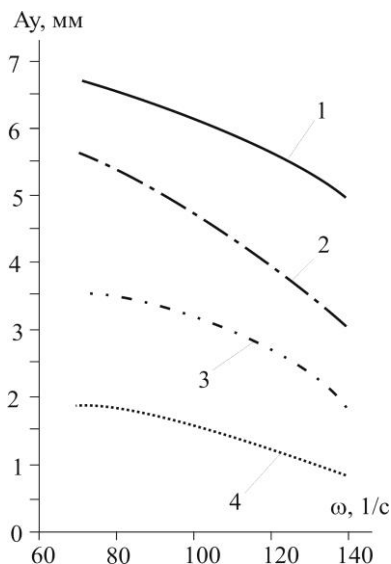


Рис. 5. Залежність вертикальної складової коливань машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом від кутової швидкості приводу. Величина обертових мас: 1 – 7 кг; 2 – 5,5 кг; 3 – 4 кг, 4 – 2,5 кг

На рисунку 6 показано залежність амплітуди коливного руху машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом від жорсткості пружин робочого контейнера за різних величин зміщення неврівноважених обертових мас. З отриманої залежності чітко видно, що амплітуда вертикальних коливань машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом нелінійно залежить від жорсткості пружин кріплення робочого контейнера та під час її зростання – спадає.

Окрім того, досліджено вплив горизонтальних координат розміщення пружин кріплення робочого контейнера b та q на амплітуду коливного руху робочого контейнера машини. Результат зображено на рисунку 7.

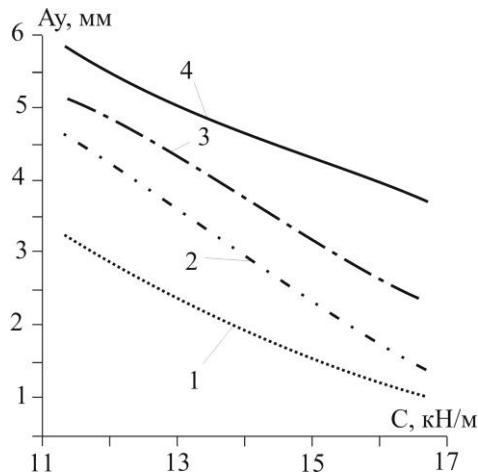


Рис. 6. Залежність вертикальної складової коливань машини очищення коренеплодів від жорсткості пружин кріплення робочого контейнера. Величина зміщення обертової маси: 1 – 0,02 м; 2 – 0,04 м; 3 – 0,06 м, 4 – 0,08 м

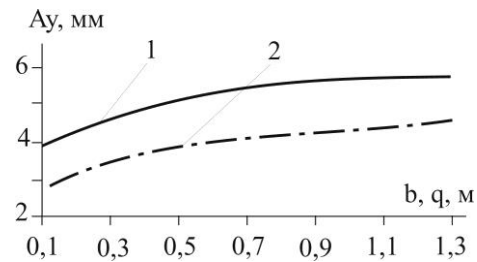


Рис. 7. Вплив горизонтальних координат розміщення пружин кріплення робочого контейнера b та q на амплітуду коливного руху робочого контейнера. Маса контейнера: 1 – 100 кг; 2 – 120 кг

Як видно з рисунка 7, збільшення відстані між опорними пружинами контейнера у площині обертового руху неврівноважених мас приводу машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом призводить до збільшення амплітуди коливань машини. Інші параметри є при цьому незмінними.

Отже, можна підсумувати, що такі параметри машини, як: загальна коливна маса, величина зміщення центру мас неврівноваженої маси приводу вібраційних коливань від осі її обертового руху й кутова швидкість цього руху, величина неврівноваженої обертової маси, жорсткість пружин кріплення робочого контейнера та відстань між опорами робочого контейнера найбільше впливають на інтенсивність перебігу процесу сухого очищення сировини. Величини відповідних неврівноважених обертових мас приводу, їх зміщення відносно осі обертання, загальної коливної маси системи є найбільш раціональними з погляду складності їх зміни під час експлуатації машини. Жорсткість пружин кріплення робочого контейнера та кутова швидкість двигунів приводу займають другу позицію за складністю зміни. Жорсткість можна змінювати шляхом додавання чи віднімання пружин у підвісці або застосовувати пружини різної жорсткості. Кількість обертів приводу можна змінювати шляхом зміни приводних асинхронних двигунів змінного струму. Цей процес є тривалим і тому менш раціональним. Геометричні розміри самої машини (відстань між опорами, розміри контейнера, сит тощо) займають третю позицію за складністю зміни, тому їх вагомість щодо впливу на амплітуду коливань робочого контейнера потрібно враховувати під час проектування машини очищення коренеплодів від забруднень сухим способом.

Виконавши аналіз отриманих теоретичних досліджень впливу параметрів машини для сухого очищення коренеплодів на амплітуду її коливного руху, обґрунтовано режими роботи досліджуваної машини, які забезпечать найбільш інтенсивне її функціонування.

Висновки:

1. Запропонована конструкція машини реалізовує високоефективний з економічної точки зору процес очищення коренеплодів овочевих культур від забруднень сухим способом під час їх перероблення або перед зберіганням. Розроблена нелінійна математична модель, що описує динаміку машини, дає змогу визначити оптимальні її параметри, які забезпечать найкращу інтенсивність сухого очищення коренеплодів та їх переміщення вздовж робочого контейнера машини;

2. Теоретичні дослідження із застосуванням математичного моделювання динаміки машини очищення коренеплодів сухим способом дають змогу мінімізувати час проектування, отримати конструкцію машини із високою продуктивністю очищення при низьких енергозатратах на її роботу;

3. Авторами заплановано: а) подальше дослідження процесу очищення поверхонь коренеплодів сухим способом в аспекті вивчення самого механізму очищення із забезпеченням належної якості очищеної поверхні; б) виготовлення розробленої конструкції машини та впровадження її для практичного застосування.

Список використаної літератури:

1. *Постнов Г.М.* Механічне обладнання : навч. посібник / *Г.М. Постнов, Н.О. Афукова, Д.В. Дмитревський.* – Харків : Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі, 2014. – 198 с.
2. *Крисак Ф.М.* Напрямки вдосконалення машин для миття коренеплодів / *Ф.М. Крисак* // Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. – 2012. – Т. 1 (65), № 11. – С. 284–288.
3. *Wang L.* Experimental investigation washing vegetables with submerged jets of water/ *L.Wang, X.Ding* // *Nongye Gongcheng Xuebao* : Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. – 2007. – Vol. 23. – P. 124–130.
4. *Всеволодов А.Н.* Оптимизация процесса «сухая мойка» корнеплодов / *А.Н. Всеволодов, А.К. Гладушняк* // Харчова наука і технологія. – 2012. – № 3. – С. 83–87.
5. *Advances in methods of cleaning root crops* / *R.Hevko, R.Brukshanskiy, I.Flonts and other* // *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II : Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering.* – 2018. – Vol. 11. – P. 127–138.
6. *The parameters of the process of dry cleaning root crops with using screw separator* / *V.J. Frolov, A.V. Bychkov, S.M. Sidorenko and other* // *Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences.* – 2016. – Vol. 7. – P. 376–382.
7. *Фльонц І.В.* Удосконалення транспортера-сепаратора для коренеплодів / *І.В. Фльонц* // Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. – Луцьк : ЛДТУ, 2013. – № 24. – С. 122–128.
8. *Ткаченко І.* Математичне моделювання процесу очищення коренеплодів при їх імпульсному навантаженні / *І.Ткаченко, Н.Вивюрка* // Вісник ТДТУ. – 2004. – Т. 9, № 1. – С. 40–46.
9. *Митропольский Ю.А.* Нелинейная механика. Одночастотные колебания / *Ю.А. Митропольский.* – К. : Ин-т математики НАН Украины, 1997. – 385 с.
10. *Modeling the dynamics of vibratory separator of the drum type with concentric arrangement of sieves* / *V.Topilnytskyj, D.Rebot, M. Sokil and other* // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Applied Mechanics.* – 2017. – Vol. 2, № 7 (86). – P. 26–35.

References:

1. Postnov, H.M., Afukova, N.O. and Dmytrevskiy, D.V. (2014), *Mekhanichne obladnannia*, Khark. derzh. un-t kharchuvannia ta torhivli, Kharkiv, 198 p.
2. Krysak, F.M. (2012), «Napriamky vdoskonalennia mashyn dlia myttia korenebulboplodiv», *Zb. nauk. prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, Vol. 1 (65), No. 11, pp. 284–288.
3. Wang, L. and Ding, X. (2007), «Experimental investigation washing vegetables with submerged jets of water», *Nongye Gongcheng Xuebao*, Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, Vol. 23, pp. 124–130.
4. Vsevolodov, A.N. and Hladushniak, A.K. (2012), «Optymyzatsiya protsessa «sukhaia moika» korneplodov», *Kharchova nauka i tekhnolohiia*, No. 3, pp. 83–87.
5. Hevko, R., Brukshanskiy, R., Flonts and other (2018), «Advances in methods of cleaning root crops», *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, Vol. 11, pp. 127–138.
6. Frolov, V.J., Bychkov, A.V., Sidorenko, S.M. and other (2016), «The parameters of the process of dry cleaning root crops with using screw separator», *Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences*, Vol. 7, pp. 376–382.
7. Flonts, I.V. (2013), «Udoskonalennia transportera-separatora dlia koreneplodiv», *Silskohospodarski mashyny*, zb. nauk. st, LDTU, Lutsk, No. 24, pp. 122–128.
8. Tkachenko, I. and Vyviurka, N. (2004), «Matematychnе modeliuвання protsesu ochyshchennia koreneplodiv pry yikh impulsnomu navantazhenni», *Visnyk TDTU*, Vol. 9, No. 1, pp. 40–46.
9. Mitropolskii, Yu.A. (1997), *Nelineynaya mekhanika. Odnocastotnye koljebaniya*, Inst. matematiki NAN Ukrainy, Kyiv, 385 p.
10. Topilnytskyj, V., Rebot, D., Sokil, M. and other (2017), «Modeling the dynamics of vibratory separator of the drum type with concentric arrangement of sieves», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Applied Mechanics*, Vol. 2, No. 7 (86), pp. 26–35.

Топільницький Володимир Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування та експлуатації машин Національного університету «Львівська політехніка».

Наукові інтереси:

- вібраційні оброблювальні технології;
- динаміка і міцність машин.

<http://orcid.org/0000-0002-5191-326X>.

E-mail: topilnvol@gmail.com.

Ребот Дарія Петрівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри проектування та експлуатації машин Національного університету «Львівська політехніка».

Наукові інтереси:

– вібраційні оброблювальні технології.

<http://orcid.org/0000-0002-3583-0800>.

E-mail: dasha_kotlyarova@ukr.net.

Бойко Михайло Васильович – старший викладач кафедри проектування та експлуатації машин Національного університету «Львівська політехніка».

Наукові інтереси:

– конструювання та оптимізація технологічних машин;

– проектування та конструювання обладнання оброблення тиском та лиття виробів із пластмас.

<http://orcid.org/0000-0002-7955-5062>.

E-mail: osnastka@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 05.02.2020.