

УДК 631.356.02

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОЛИВАНЬ КОРЕНЕПЛОДУ У ПОЗДОВЖНЬО-ВЕРТИКАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

В.В. АДАМЧУК, академік НААН, д.т.н., проф., e-mail: adamchukvv@mail.ru, тел.: +38-050-506-76-09 – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»;

В.М. БУЛГАКОВ, академік НААН, д.т.н., проф.,

І.В. ГОЛОВАЧ, д.т.н., проф. – Національний університет біоресурсів і природокористування України

РЕЗЮМЕ

Мета дослідження. Розробити нову теорію коливань тіла коренеплоду при взаємодії його з вібраційним викопуючим робочим органом на першому етапі вилучення з ґрунту, коли коренеплід починає здійснювати коливальні рухи у повздовжньо-вертикальній площині разом з умовною точкою закріплення.

Методика дослідження базувалась на використанні теоретичних методів побудови розрахункових математичних моделей сільськогосподарських машин і машинних агрегатів з використанням основних положень класичної механіки, математики і моделювання. При виконанні окремих розділів дослідження були використані методи теорії нелінійних коливань, теорії пружності та рішення нелінійних диференціальних рівнянь. Чисельне моделювання проведено за розробленою програмою в середовищі MathCAD, з використанням ПЕОМ.

Результати дослідження. 1. Розроблена нова еквівалентна схема коливального процесу коренеплоду цукрового буряку у ґрунті на етапі його взаємодії з вібраційним викопуючим робочим органом, тобто на першому етапі вилучення. При цьому коренеплід моделюється правильним конусом, розміщеним у ґрунті, як у пружному середовищі, і закріпленій у нижній умовній точці, а вібраційний викопуючий робочий орган представлений у вигляді двох лемешів, розташованих під відповідними кутами у просторі, що утворюють собою звужене викопуюче русло, які здійснюють коливальні рухи у повздовжньо-вертикальній площині. В точках контакту тіла коренеплоду з викопуючими лемешами прикладені діючі на нього сили. Введені також нерухомі та рухомі системи координат та означені відповідні кути і відстані.

2. Після того, як були знайдені аналітичні вирази для всіх сил, які прикладені до тіла корене-

плоду з боку ґрунту і від вібраційного викопуючого робочого органу була складена нова система диференціальних рівнянь руху тіла коренеплоду цукрового буряку, яка описує його коливальні рухи у повздовжньо-вертикальній площині при симетричному захваті. При чому, оскільки вібраційний викопуючий робочий орган здійснює коливальні рухи у повздовжньо-вертикальній площині, а тіло коренеплоду має конусоподібну форму, то були складені дві системи диференціальних рівнянь поступальних коливальних рухів: перша система описує коливання коренеплоду при русі викопуючих лемешів угору, тобто під дією збуджуючих і рушійних сил і друга система, що описує коливання коренеплоду при русі лемешів униз, тобто під дією тільки рушійних сил.

3. Після перетворень і лінеаризації складених систем диференціальних рівнянь, останні були перетворені у системи лінійних диференціальних рівнянь, інтегрування яких дало можливість визначити закон коливального руху тіла коренеплоду на першому етапі його вилучення з ґрунту та швидкості коливального руху, а також аналітичні вирази для обчислення частот і амплітуд вільних і вільних супроводжуючих коливань та амплітуд вимушених коливань коренеплоду як твердого тіла у пружному середовищі.

4. Використовуючи отриманий закон коливального руху тіла коренеплоду, були проведені чисельні розрахунки на ПЕОМ, за розробленою програмою, в середовищі MathCAD, досліджуваного коливального процесу з використанням конкретних параметрів коренеплоду цукрового буряку і конструктивних і кінематичних параметрів вібраційного викопуючого робочого органу.

5. За результатами чисельних розрахунків побудовані графічні зображення закону поступальних коливань коренеплоду буряку як твердого тіла, закріпленого у пружному середовищі, для декількох значень коефіцієнтів пружної деформації ґрунту та частот коливань вібраційного викопуючого робочого органу.

Висновки. Створена математична модель коливань коренеплоду як твердого тіла у пружному середовищі при симетричному захваті коренеплоду робочим органом (захваті коренеплоду двома лемешами одночасно). Складена система диференціальних рівнянь поступальних коливань коренеплоду разом з оточуючим його ґрунтом. Розв'язок отриманої системи диференціальних рівнянь дав можливість знайти закон коливального процесу коренеплоду у ґрунті при вібраційному викопуванні, а також аналітичні вирази для обчислення частот і амплітуд вільних і вільних супроводжуваних коливань та амплітуд вимушених коливань коренеплоду як твердого тіла у ґрунті. Згідно розрахунків, центр мас коренеплоду через

0,025 с здійснює переміщення по осі Ox_1 на відстань 50 мм при частоті збурюючої сили $\nu = 10$ Гц, а по осі Oz_1 при частоті збурюючої сили $\nu = 10$ Гц – на відстань 33 мм ($c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м²), на відстань 21 мм ($c_1 = 3 \cdot 10^5$ Н/м²), на відстань 13 мм ($c_1 = 4 \cdot 10^5$ Н/м²). Отримані розрахункові значення амплітуд коливань коренеплоду як твердого тіла для розглянутих кінематичних режимів повністю забезпечують руйнування зв'язків коренеплоду з ґрунтом і створюють умови для їх безпосереднього вилучення.

Ключові слова: коренеплід, викопування з ґрунту, еквівалентна схема, сила, момент сили, коливання, система диференціальних рівнянь, закон коливального руху, амплітуда, частота.

UDC 631.356.02

THEORETICAL BASIS OF VIBRATIONS ROOT CROPS IN THE LONGITUDINAL VERTICAL PLANE

V.V. ADAMCHUK, Academician NAAS, PhD, Prof., E-mail: adamchukvv@mail.ru, tel.: +38-050-506-76-09 – National Scientific Center «Institute for Agricultural Engineering and Electrification»;

V.M. BULGAKOV, academician NAAS, Prof.,

I.V. HOLOVATCH, Prof. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

SUMMARY

The purpose of research. To develop a new theory of vibrations body of root in interaction of its with vibrating digging working body of the first stage of removal from the soil when the root crop begins to implement oscillatory motion in longitudinal-vertical plane with a conditional fastening points.

Methods of investigation was based on the use of theoretical methods for constructing calculation mathematical models of agricultural machines and machine aggregates with the use of the main provisions of classical mechanics, mathematics and modeling. In the performance of individual sections of research have been used methods of the theory of nonlinear oscillations theory of elasticity and solutions of nonlinear differential equations. Numerical modeling of performed by the developed program in the environment MathCAD, with the use of PC.

Results. 1. To devise a new equivalent circuit of the oscillation process sugar beet roots in the soil at the level of interaction with vibrating digging working body that is the first stage of separation. At the same time root crop is modeled right cone located in the soil, as are obtained and fixed at the bottom point of the conventional and vibration digging working body is presented as a two plowshares arranged at appropriate corners in space, forming a narrowed channel

digging performing oscillatory open-movements in the vertical plane. At the points of contact with the body of root digging ploughshare applied force operating on it. Entered as immovable and movable coordinate system are defined and corresponding angles and distances.

2. After have been found analytical expressions for all the forces that applied to the body of root from the soil and the vibration digging up of the working body was composed new system of differential equations of motion of the body of sugar beet roots, which describes the oscillatory motion in the longitudinal-vertical plane symmetric with delight. With that, since the vibration digging working body makes oscillatory movements in longitudinal-vertical plane, and the body of root has a conical shape, were composed two systems of differential equations of translational vibrational motions: the first describes the vibrations of root system when moving digging up plowshares, that is under perforate and the driving force and the second system describing the motion of root fluctuations plowshares down under that only driving forces.

3. After transformation and linearization composite systems of differential equations, the latter were converted into a system of linear differential equations, integration which made it possible to determine the law of root vibrational motion of the body in the first phase of its removal from the soil and speed

oscillating movements and expressions for calculating the frequency and amplitudes free and free accompanying fluctuations and amplitudes of forced vibrations of root as a rigid body in an elastic medium.

4. Using the resulting law of vibrational motion of the body of root were conducted numerical calculations on the PC, developed by the program in environment MathCAD, researched vibrational process using specific parameters of sugar beet roots and structural and kinematic parameters of the vibration digging up the working body.

5. According to the results of the numerical calculations are constructed graphic images of the law translational vibrations Beet roots as a rigid body fixed are obtained for several values of coefficients of elastic deformation of the soil and digging up the vibration frequencies of the working body.

Conclusions. Make a mathematical model of oscillations of root as a rigid body are obtained with symmetric excited about working body of root (root crop delighted with two blade simultaneously). Consisting of differential equations of translational vibrations of root with the surrounding soil. Solution

of differential equations obtained made it possible to find the law oscillatory process of root in the soil at vibrating digging and analytical expressions to calculate the frequencies and amplitudes of the free and free accompanying oscillation amplitudes and forced vibrations of root as a rigid body in the ground. According to calculations, the center of mass of root crops over 0,025 c have moved with the axis of Ox_1 50 mm at a frequency of disturbing forces $\nu = 10$ Hz, and at a frequency axis Oz_1 perforate force $\nu = 10$ Hz – a distance of 33 mm ($c_1 = 2 \cdot 10^5$ N / m²) at a distance of 21 mm ($c_1 = 3 \cdot 10^5$ N / m²) at a distance of 13 mm ($c_1 = 4 \cdot 10^5$ N / m²). The resulting calculated values of the amplitudes of oscillations of root crops as a rigid body kinematic regimes considered to fully ensure the destruction of root crops connections with soil and create conditions for their immediate removal.

Key words: root crop, digging up from soil, equivalent circuit, power, moment power, fluctuations, the system of differential equations, law of the vibrational motion, amplitude, frequency.

УДК 631.356.02

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОЛЕБАНИЙ ТЕЛА В ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

В.В. АДАМЧУК, академик НААН, д.т.н., проф., E-mail: adamchukvv@mail.ru, тел.: +38-050-506-76-09 – Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»;

В.М. БУЛГАКОВ, академик НААН, д.т.н., проф.,

И.В. ГОЛОВАЧ, д.т.н., проф. – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Разработать новую теорию колебаний тела корнеплода при взаимодействии с вибрационным выкапывающим рабочим органом на первом этапе извлечения из почвы, когда корнеплод начинает совершать колебательные движения в продольно-вертикальной плоскости вместе с условной точкой закрепления.

Методика исследования основана на использовании теоретических методов построения расчетных математических моделей сельскохозяйственных машин и машинных агрегатов с использованием основных положений классической механики, математики и моделирования. При выполнении отдельных разделов исследования были использованы методы теории нелинейных колебаний, теории упругости и решения нелинейных дифференциальных уравнений. Численное моде-

лирование проведено по разработанной программе в среде MathCAD, с использованием ПЭВМ.

Результаты исследования. 1. Разработана новая эквивалентная схема колебательного процесса корнеплода сахарной свеклы в почве на этапе его взаимодействия с вибрационным выкапывающим рабочим органом, то есть на первом этапе удаления. При этом корнеплод моделируется правильным конусом, расположенным в почве, как в упругой среде, и закреплен в нижней условной точке, а вибрационный выкапывающий рабочий орган представлен в виде двух лемехов, расположенных под соответствующими углами в пространстве, образуют собой суженное выкапывающее русло, которые совершают колебательные движения в продольно-вертикальной плоскости. В точках контакта тела корнеплода с выкапывающими лемехами приложены действующие на него силы. Введенные также неподвижные и подвижные системы координат и указанные соответствующие углы и расстояния.

2. После того, как были найдены аналитические выражения для всех сил, приложенные к телу корнеплода со стороны почвы и от вибрационного выкапывающего рабочего органа, была составлена новая система дифференциальных уравнений движения тела корнеплода сахарной свеклы, которая описывает его колебательные движения в продольно-вертикальной плоскости при симметричном захвате. Причем, поскольку вибрационный выкапывающий рабочий орган совершает колебательные движения в продольно-вертикальной плоскости, а тело корнеплода имеет конусообразную форму, то были составлены две системы дифференциальных уравнений поступательных колебательных движений: первая система описывает колебания корнеплода при движении выкапывающих лемехов вверх, то есть под действием возмущающих и движущих сил и вторая система, описывающая колебания корнеплода при движении лемехов вниз, то есть под действием только движущих сил.

3. После преобразований и линеаризации составных систем дифференциальных уравнений, последние были преобразованы в системы линейных дифференциальных уравнений, интегрирование которых позволило определить закон колебательного движения тела корнеплода на первом этапе его извлечения из почвы и скорости колебательного движения, а также аналитические выражения для вычисления частот и амплитуд свободных и свободных сопровождающих колебаний и амплитуд вынужденных колебаний тела как твердого тела в упругой среде.

4. Используя полученный закон колебательного движения тела корнеплода, были проведены многочисленные расчеты на ПЭВМ, по разработанной программе, в среду MathCAD, исследуемого колебательного процесса с использованием конкретных параметров корнеплода сахарной свеклы и конструктивных и кинематических

параметров вибрационного выкапывающего рабочего органа.

5. По результатам численных расчетов построены графические изображения закона поступательных колебаний корнеплода свеклы как твердого тела, закрепленного в упругой среде, для нескольких значений коэффициентов упругой деформации грунта и частот колебаний вибрационного выкапывающего рабочего органа.

Выводы. Созданная математическая модель колебаний тела как твердого тела в упругой среде при симметричном захвате корнеплода рабочим органом (захвате корнеплода двумя лемехами одновременно). Составлена система дифференциальных уравнений поступательных колебаний тела вместе с окружающим его грунтом. Решение полученной системы дифференциальных уравнений позволило найти закон колебательного процесса корнеплода в почве при вибрационном выкапывании, а также аналитические выражения для вычисления частот и амплитуд свободных и свободных сопровождающих колебаний и амплитуд вынужденных колебаний тела как твердого тела в упругой среде. Согласно расчетам, центр масс корнеплода из 0,025 с осуществляет перемещение по оси Ox_1 на расстояние 50 мм при частоте возмущающих силы $\nu = 10$ Гц, а по оси Oz_1 при частоте возмущающей силы $\nu = 10$ Гц – на расстояние 33 мм ($c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н / м²), на расстояние 21 мм ($c_1 = 3 \cdot 10^5$ Н / м²), на расстояние 13 мм ($c_1 = 4 \cdot 10^5$ Н / м²). Полученные расчетные значения амплитуд колебаний тела как твердого тела для рассматриваемых кинематических режимов полностью обеспечивают разрушение связей с почвой и создают условия для их непосредственного извлечения.

Ключевые слова: корнеплод, выкапывание из почвы, эквивалентная схема, сила, момент силы, колебания, система дифференциальных уравнений, закон колебательного движения, амплитуда, частота.

ВСТУП

Теоретичне та експериментальне дослідження нових технологічних процесів та розробка нових робочих органів для викопування корнеплодів цукрових буряків з ґрунту є актуальною задачею галузі буряківництва, оскільки саме збирання корнеплодів є однією з найбільш трудомістких та енергомістких його операцій. Застосування при викопуванні корнеплодів з ґрунту вібраційних зусиль зумовлює найменші затрати енергії на руйнування ґрунту, що оточує корнеплоди, і

сприяє меншим їх втратам та пошкодженню при збиранні. Тому саме цей технологічний процес потребує докладного аналітичного дослідження та подальшої розробки і впровадження вдосконалених вібраційних викопуючих робочих органів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Ґрунтовні аналітичні дослідження методів побудови розрахункових математичних моделей сільськогосподарських машин,

їх робочих органів та машинних агрегатів наведені в працях [1-3]. Фундаментальні теоретичні дослідження технологічного процесу вібраційного викопування коренеплодів приведені у працях [4, 5, 8, 9, 11, 13-16], проте ґрунтової математичної моделі вібраційного вилучення коренеплоду з ґрунту на першому етапі вилучення, коли коренеплід цукрового буряку ще міцно зв'язаний з ґрунтом, тобто фактично має одну умовну точку закріплення, тут не приведено. В зарубіжних публікаціях також недостатньо уваги приділяється сучасним методам збирання гички і коренеплодів цукрових буряків [17-20].

Тому виникає необхідність окремо розглянути і цю динамічну систему коренеплід – викопуючий робочий орган з метою дослідження як процесу поступальних коливань тіла коренеплоду у міцно оточуючому ґрунті, так і його безпосереднього вилучення з ґрунту як твердого тіла, що відбувається під дією вібраційного викопуючого робочого органу, що здійснює коливання у повздовжньо-вертикальній площині та внаслідок його поступального руху.

Мета дослідження. Розробити нову теорію коливань тіла коренеплоду при взаємодії його з вібраційним викопуючим робочим органом на першому етапі вилучення з ґрунту, коли коренеплід починає здійснювати коливальні рухи у повздовжньо-вертикальній площині разом з умовною точкою закріплення.

Результати дослідження. Розглянемо докладно поступальні коливання коренеплоду у ґрунті разом з умовною точкою закріплення O у повздовжньо-вертикальній площині на першому етапі вилучення. Оскільки дані коливання є поступальними, тому достатньо дослідити коливання якоїсь однієї точки коренеплоду, наприклад, умовної точки закріплення. На першому етапі вилучення коренеплід ще міцно зв'язаний з ґрунтом, то він буде здійснювати коливання разом з

оточуючим його ґрунтом, який нижче ріжучих кромek лемешів є нерозпушеним. Позначимо масу цього ґрунту через $m_{гр.}$, тоді його вага $\bar{G}_{гр.}$ буде дорівнювати $G_{гр.} = m_{гр.}g$, де g – прискорення сили тяжіння.

Для моделювання зазначеного технологічного процесу розробимо насамперед еквівалентну схему. Уявимо коренеплід у вигляді конусоподібного тіла (прямого кругового конуса, кут при вершині якого дорівнює $2\gamma_k$), причому верхня частина цього тіла знаходиться дещо вище поверхні ґрунту. Моделювання досліджуваного коливального процесу будемо розглядати у нерухомій прямокутній декартової системі координат $O_1x_1y_1z_1$, початок якої знаходиться в умовній точці O_1 закріплення коренеплоду у ґрунті, вісь O_1x_1 співпадає з напрямком поступального руху вібраційного викопуючого робочого органу, вісь O_1z_1 спрямована вгору, а вісь O_1y_1 спрямована у правий бік робочого органу (рис. 1). Враховуючи можливе відхилення коренеплоду від вертикалі на деякий невеликий кут θ , в процесі взаємодії з вібраційним викопуючим робочим органом, додатково вводиться декартова система координат O_1xyz , вісь O_1x якої відхилена від осі O_1x_1 на кут θ , вісь O_1y співпадає з віссю O_1y_1 , вісь O_1z також відхилена від осі O_1z_1 на кут θ . Оскільки кут θ – невеликий, то для опису поступальних коливань коренеплоду разом з умовною точкою його закріплення O_1 достатньо користуватись декартовою системою координат $O_1x_1y_1z_1$, особливо на першому етапі вилучення коренеплоду (див. рис. 1,2).

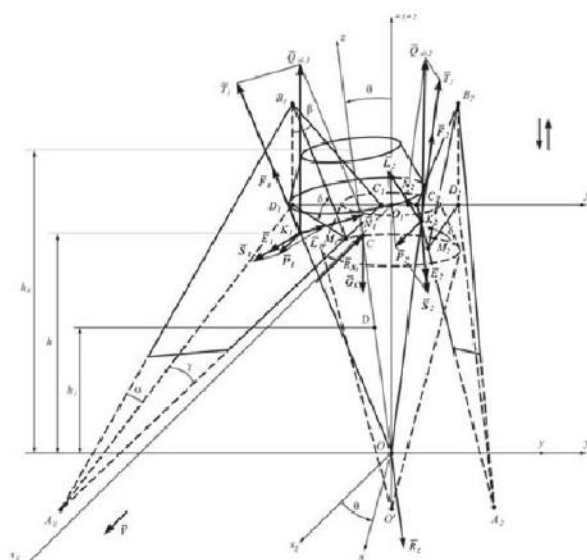


Рис. 1. Силова взаємодія коренеплоду з лемешами вібраційного викопуючого органу, при його поступальних коливаннях разом з умовною точкою закріплення у ґрунті

Fig. 1. The power of root interaction with plowshare vibration digging up body with its translational oscillations with conventional fastening points in the soil

Для проведення розрахунків значення необхідних вихідних величин вибираємо згідно [4, 14, 15].

Маса коренеплоду $m_k = 0,9$ кг; маса оточуючого коренеплід ґрунту $m_{ep.} = 0,4$ кг; довжина коренеплоду $h_k = 0,25$ м; кути тригранних клинів вібраційного викопуючого органу: $\gamma = 14^\circ$; $\beta = 52^\circ$; коефіцієнт тертя сталі по поверхні коренеплоду $f = 0,45$; амплітуда збурюючої сили $H = 500$ Н; величина бокової рушійної сили $P_1 = 400$ Н; максимальний кут відхилення вектора сили тертя від вектора мінімального значення цієї сили $\alpha_{K_1 \max} = 30^\circ$; коефіцієнти пружної деформації ґрунту: $c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м², $c = 3 \cdot 10^5$ Н/м³; частота коливань викопуючих лемешів $\nu = 10$ Гц; кут конусності коренеплоду $\gamma_k = 15^\circ$; двогранний кут δ між робочою поверхнею лемеша і нижньою основою тригранного клина визначаємо згідно виразу:

$$\delta = \arctg \frac{\cos \beta}{\sin \beta \cos \gamma}.$$

Розрахунки проводимо у середовищі Mathcad.

На підставі проведених розрахунків отримані графічні зображення закону поступальних коливань коренеплоду як твердого тіла, закріпленого у ґрунті, що одержані на підставі аналітичних залежностей (72) для декількох значень коефіцієнтів пружної деформації ґрунту c_1 і c та частот коливань робочого органу (рис. 2).

Як видно з наведених графіків, центр мас коренеплоду через $0,025$ с здійснює переміщення по осі Ox_1 на відстань 50 мм при частоті збурюючої сили $\nu = 10$ Гц, а по осі Oz_1 при частоті збурюючої сили $\nu = 10$ Гц – на відстань 33 мм ($c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м²), на відстань 21 мм ($c_1 = 3 \cdot 10^5$ Н/м²), на відстань 13 мм ($c_1 = 4 \cdot 10^5$ Н/м²).

Як зазначено у [4], для часткового порушення зв'язку крупних коренеплодів з ґрунтом необхідно забезпечити їх підняття до $6-8$ мм, дрібних – до 4 мм, а до повного їх порушення – $12-25$ мм. Таким чином, отримані значення амплітуд коливань для наведених вище вихідних даних, як видно з графіків (рис. 2), повністю забезпечують руйнування зв'язків коренеплодів з ґрунтом і створюють умови для їх безпосереднього вилучення.

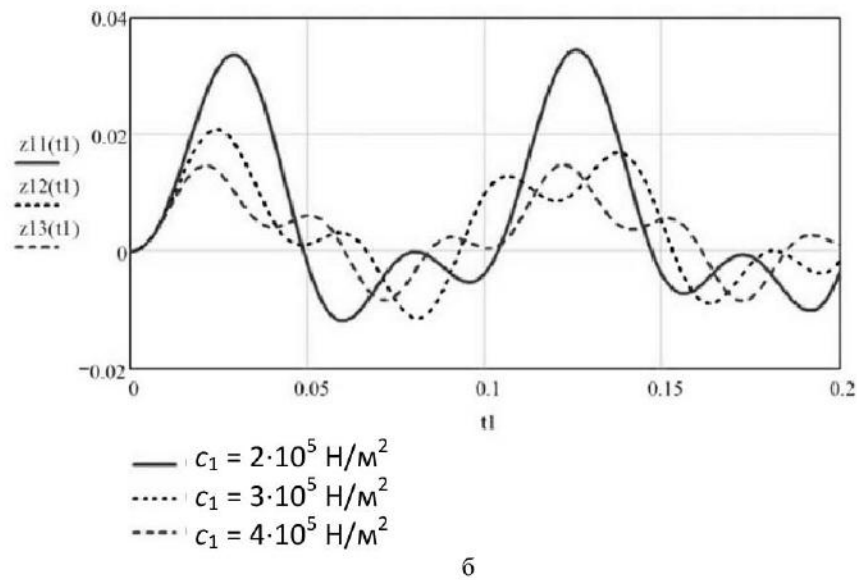
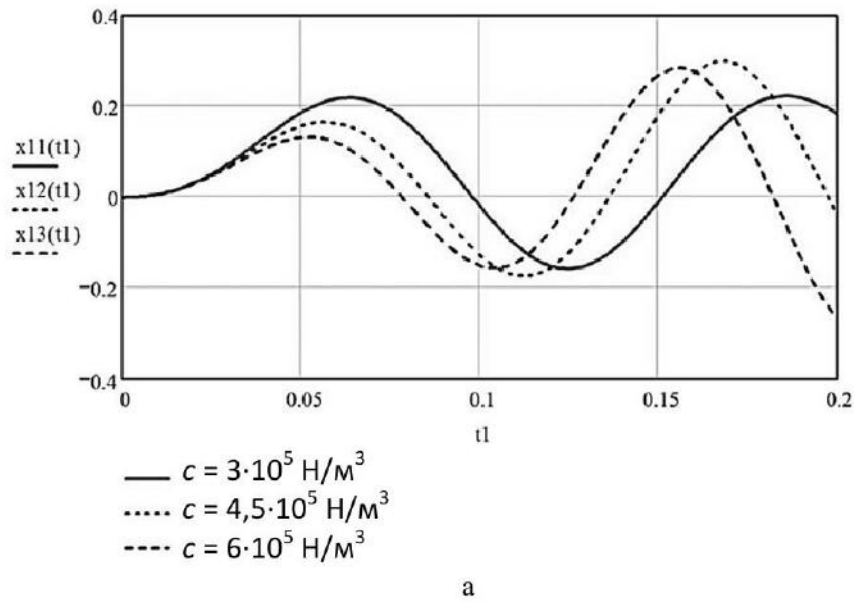


Рис. 2. Графіки функцій (закон коливального процесу) $x_1(t)$ (а) і $z_1(t)$ (б), які описують коливання коренеплоду як твердого тіла, закріпленого у ґрунті, для відповідних значень коефіцієнтів пружної деформації ґрунту c_1 і c ($H = 500$ Н; $P_1 = 400$ Н; $\nu = 10$ Гц)

Fig. 2. The graphics functions (law of the oscillation process) $x_1(t)$ (a) and $z_1(t)$ (b) which describe vibrations of root as a rigid body fixed in the soil for the corresponding values of the coefficients of elastic deformation of soil c_1 and c ($H = 500$ Н, $P_1 = 400$ Н; $\nu = 10$ Hz)

ВИСНОВКИ

1. Створена математична модель коливань коренеплоду як твердого тіла у пружному середовищі при симетричному захваті коренеплоду робочим органом (захваті коренеплоду двома лемешами одночасно). Складена система диференціальних рівнянь поступальних коливань коренеплоду разом з оточуючим його ґрунтом

2. Розв'язок отриманої системи диференціальних рівнянь дав можливість знайти закон коливального процесу коренеплоду у ґрунті при вібраційному викопуванні, а також аналітичні вирази для обчислення частот і амплітуд вільних і вільних супроводжуючих коливань та амплітуд вимушених коливань коренеплоду як твердого тіла у ґрунті.

3. Згідно розрахунків, центр мас коренеплоду через 0,025 с здійснює переміщення по осі Ox_1 на відстань 50 мм при частоті збуджуючої сили $\nu = 10$ Гц, а по осі Oz_1 при частоті збуджуючої сили $\nu = 10$ Гц – на відстань 33 мм ($c_1 = 2 \cdot 10^5$ Н/м²), на відстань 21 мм ($c_1 = 3 \cdot 10^5$ Н/м²), на відстань 13 мм ($c_1 = 4 \cdot 10^5$ Н/м²).

4. Отримані розрахункові значення амплітуд коливань коренеплоду як твердого тіла для розглянутих кінематичних режимів повністю забезпечують руйнування зв'язків коренеплоду з ґрунтом і створюють умови для їх безпосереднього вилучення.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Василенко П.М., Василенко В.П. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и машинных агрегатов). Учебное пособие. – К.: УСХА, 1980. – 137 с.

2. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. – К.: Сільгоспосвіта, 1996. – 252 с.

3. Василенко П.М., Погорелый Л.В., Брей В.В. Вибрационный способ уборки корнеплодов. Журнал: Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, М. – 1970. №2. – С.9 – 13.

4. Свеклоуборочные машины (конструирование и расчет) // Л.В. Погорелый, Н.В. Татьяна, В.В. Брей и др.; под общ. ред. Л.В. Погорелого. – К.: Техніка, 1983. – 168 с.

5. Булгаков В.М., Головач І.В. Теорія вібраційного викопування коренеплодів. – Збірник наукових праць Національного аграрного університету «Механізація сільськогосподарського виробництва», 2003, Т. XIV. – С. 34-86.

6. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1968. – 560 с.

7. Булгаков В.М., Головач І.В. Теорія поперечних коливань коренеплоду при вібраційному викопуванні. – Праці Таврійської державної агро-технічної академії. Випуск 18. Мелітополь, 2004. – С. 8-24.

8. Булгаков В.М., Головач І.В. Про вимушені поперечні коливання тіла коренеплоду при вібраційному викопуванні. – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Збірник наукових праць. Х.: ХНТУСГ, 2005. – Вип. 39. – С. 23-39.

9. В. Булгаков, І. Головач. Розробка математичної моделі вилучення коренеплоду з ґрунту // Техніка АПК. – 2006. – № 6, 7, 8. – С. 36-38.

10. Булгаков В.М., Головач І.В. Теоретичне дослідження повздовжніх коливань коренеплоду у ґрунті як у пружному середовищі при вібраційному викопуванні. – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Збірник наукових праць. Х.: ХНТУСГ, 2006. – Випуск 44. Т. 2. – С. 131-155.

11. Головач І.В. Теорія безпосереднього вилучення коренеплоду з ґрунту при вібраційному викопуванні. – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Збірник наукових праць. Х.: ХНТУСГ, 2006. – Випуск 44. Т. 2. – С. 77-100.

12. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика. – М.: Наука, 1985. – 496 с.

13. Булгаков В.М., Головач І.В. Уточнена теорія викопуючого робочого органу лемішного типу // Вісник аграрної науки Причорномор'я. Спеціальний випуск 4(18). Т. I. – Миколаїв: МДАУ, 2002. – С. 37-63.

14. Погорелый Л.В., Татьяна Н.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.

15. Булгаков В.М. Свеклоуборочные машины. Монография. – К.: Аграрна наука, 2011. – 351 с.

16. Булгаков В.М. Теория свеклоуборочных машин. Монография. – К.21: Издательский центр Национального аграрного университета, 2005. – 245 с.

17. Zuckerrüben: Erntetechnik und Bodenschutz / FAT-Berichte Nr. 567 // Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon TG – 2001. S. 1 – 19.

18. Roller O. Entblatten statt Köpfen / Dr. Olaf Roller // Zuckerrüben Journal № 2 // Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH. – 2010, S. 14 – 15.

19. Merkes R. 50 Jahre Produktionstechnik im Zuckerrübenbau in Deutschland / R. Merkes // Zuckerrübe. – 2001, № 4. – S. 214 – 217.

20. Es geht um den Kopf / Zuckerrüben Journal №3 // Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH, – 2010, S. 7 – 8.

REFERENCES

1. Vasylenko P.M., Vasylenko V.P. Metodyka postroyenyua raschetnykh modelej funkcyonirovaniya mexanycheskyykh system (mashyn y mashynnykh agregatov). Uchebnoye posobyue. – Kyev: USXA, 1980. – 137 s.

2. Vasylenko P.M. Vvedeniye v zemledelcheskuyu mexanyku. – Kyev: Silgosposvita, 1996. – 252 s.

3. Vasylenko P.M., Pogorelyj L.V., Brey V.V. Vybracyonnyj sposob uborky korneplodov. Zhurnal:

Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, Москва, 1970, №2. – С.9 – 13.

4. Svekloborochnye mashyny (konstruyrovanye y raschet) // L.V. Pogorelyj, N.V. Tatyanko, V.V. Brej y dr.; pod obshh. red. L.V. Pogorelogo. – Kyev: Texnyka, 1983. – 168 s.

5. Bulgakov V.M., Golovach I.V. Teoriya vibracijnogo vykopuvannya koreneplodiv. – Zbirnyk naukovyx pracz Nacionalnogo agrarnogo universytetu «Mehanzaciya silskogospodarskogo vyrobnyctva», 2003, Tom XIV. – S. 34-86.

6. Babakov Y.M. Teoryya kolebanyj. – M.: Nauka, 1968. – 560 s.

7. Bulgakov V.M., Golovach I.V. Teoriya poperechnyx kolyvan koreneplodivu pry vibracijnomu vykopuvanni. – Praci Tavrijskoyi derzhavnoyi agrotekhnichnoyi akademiyi. Vypusk 18. Melitopol, 2004. – S. 8-24.

8. Bulgakov V.M., Golovach I.V. Pro vymusheni poperechni kolyvannya tila koreneplodivu pry vibracijnomu vykopuvanni. – Visnyk Xarkivskogo nacionalnogo tekhnichnogo universytetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka: Zbirnyk naukovyx pracz. Vypusk 39. Xarkiv: XNTUSG, 2005. – S. 23-39.

9. V. Bulgakov, I. Golovach. Rozrobka matematychnoyi modeli vyluchennya koreneplodivu z gruntu // Texnika APK, 2006, № 6, 7, 8. – S. 36-38;

10. Bulgakov V.M., Golovach I.V. Teoretychne doslidzhennya povzdovzhnix kolyvan koreneplodivu u grunti yak u pruzhnomu seredovyshhi pry vibracijnomu vykopuvanni. – Visnyk Xarkivskogo nacionalnogo tekhnichnogo universytetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka: Zbirnyk naukovyx pracz. Vypusk 44, tom 2. Xarkiv: XNTUSG, 2006. – S. 131-155.

11. Golovach I.V. Teoriya bezposerednogo vyluchennya koreneplodivu z gruntu pry vibracijnomu

vykopuvanni. – Visnyk Xarkivskogo nacionalnogo tekhnichnogo universytetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka: Zbirnyk naukovyx pracz. Vypusk 44, tom 2. Xarkiv: XNTUSG, 2006. – S. 77-100.

12. Butenyn N.V., Luncz Ya.L., Merkin D.R. Kurs teoretycheskoj mexanyky. T.II. Dynamyka. – M.: Nauka, 1985. – 496 s.

13. Bulgakov V.M., Golovach I.V. Utochnena teoriya vykopuyuchogo robochogo organu lemishnogo typu // Visnyk agrarnoyi nauky Prychornomorya. Specialnyj vypusk 4(18). Tom I. – Mykolayiv: MDAU, 2002. – S. 37-63.

14. Pogorelyj L.V., Tatyanko N.V. Svekloborochnye mashyny: ystoryya, konstrukciya, teoriya, prognoz. – Kyev: Fenyks, 2004. – 232 s.

15. Bulgakov V.M. Svekloborochnye mashynu. Monografiya. – Kyev: Agrarnaya nauka, 2011. – 351 s.

16. Bulgakov V.M. Teoryya svekloborochnyx mashyn. Monografiya. – Kyev: Yzdatelskyj centr Nacyonalnogo agrarnogo unyversyteta, 2005. – 245 s.

17. Zuckerrüben: Erntetechnik und Bodenschutz / FAT-Berichte Nr. 567 // Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon TG – 2001. S. 1 – 19.

18. Roller O. Entblättern statt Köpfen / Dr. Olaf Roller // Zuckerrüben Journal № 2 // Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH. – 2010, S. 14 – 15.

19. Merkes R. 50 Jahre Produktionstechnik im Zuckerrübenbau in Deutschland / R. Merkes // Zuckerrübe. – 2001, № 4. – S. 214 – 217.

20. Es geht um den Kopf / Zuckerrüben Journal №3 // Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH, – 2010, S. 7 – 8.