



Механізація, електрифікація

УДК 631.356.2

© 2020

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО ВИКОПУВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА

В.М. Булгаков¹, І.В. Головач²

¹доктор технічних наук, професор, академік НААН

²доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН

Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²holovach.iv@gmail.com

ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-1387-4789

Надійшла 30.11.2020

Мета. Обґрунтувати раціональну конструктивну довжину робочого русла вібраційного викопувального робочого органа за взаємодії з тілом коренеплоду буряку цукрового під час його викопування із ґрунту. **Методи.** Теоретичні дослідження проведено з використанням основних положень теорії сільськогосподарських машин, вищої математики і теоретичної механіки. Числові розрахунки та графічні залежності отримано із застосуванням ПК на основі розроблених і стандартних програм. **Результати.** Побудовано розрахункову схему контакту коренеплоду з робочим органом і знайдено аналітичну залежність кількості коливань вібраційного викопувального робочого органа за взаємодії з коренеплодом, за час його перебування в зоні задньої частини робочого русла копача, від довжини задньої частини робочого русла, частоти коливань робочого органа і поступальної швидкості руху копача. На підставі проведених аналітичних досліджень отримано вираз для визначення мінімально допустимої частоти коливань робочого органа за умови забезпечення обов'язкового захвату кожного коренеплоду викопувальними лемешами. **Висновки.** У результаті розрахунків визначено, що за довжини задньої частини робочого русла копача 0,1 м та поступальної швидкості руху $V_n = 2,1$ м/с частота коливань $\nu = 20,3$ Гц забезпечує задовільний режим вібраційного викопування коренеплодів. Частоти $\nu = 15,7$ Гц і $\nu = 8,5$ Гц впливають недостатньо. За тієї самої довжини задньої частини робочого русла і поступальної швидкості руху $V_n = 1,3$ м/с частоти $\nu = 20,3$ Гц і $\nu = 15,7$ Гц забезпечують задовільний режим вібраційного викопування коренеплодів, а частота $\nu = 8,5$ Гц — недостатній (деякі коренеплоди не виштовхуються робочим органом або зламуються у хвостовій частині). Для забезпечення задовільного режиму вібраційного викопування коренеплодів за швидкості

поступального руху копака $V_n = 2,0$ м/с і частоти коливань робочого органа $\nu = 10$ Гц потрібно, щоб довжина задньої частини робочого русла копака дорівнювала 0,2 м. У результаті числових розрахунків визначено діапазон допустимих частот коливань робочого органа, які можна рекомендувати для швидкостей поступального руху в межах 1,3 – 2,2 м/с, враховуючи обмеження частот коливань робочого органа за умов обов'язкового захвату кожного коренеплоду викопувальними лемешами.

Ключові слова: вібраційний робочий орган, коренеплід, контактна взаємодія, робоче русло, довжина.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202012-07>

Важливим показником якості технологічного процесу вібраційного викопування коренеплодів буряків цукрових із ґрунту є їх непошкодження. Очевидно, що найвища ймовірність пошкодження коренеплодів, і навіть їх зламання, спостерігається за взаємодії викопувального робочого органа з тілом коренеплоду під час вібраційного контакту та його проходженні в робочому руслі між площинами вібраційного копака (викопувальними лемешами). Оскільки зазначена взаємодія відбувається під час першого контакту вібраційного викопувального робочого органа з тілом коренеплоду, який ще міцно зв'язаний із навколишнім ґрунтом, а бічна поверхня копака (одна або обидві) активно на нього діє, то за рахунок швидкості поступального і коливального руху копака пошкодження коренеплодів будуть навіть обов'язковими, особливо, коли процес відбувається за умов сухого і твердого ґрунту. Під час такого контакту протягом досить короткого проміжку часу виникають умови, що можуть призвести до повного зламання і втрати хвостової частини коренеплоду.

Важливим питанням теоретичних досліджень є встановлення довжини задньої частини робочого русла вібраційного копака, починаючи від точки першого контакту з коренеплодом до кінця робочого русла (де здійснюється остаточне викопування), тобто такої довжини робочих площин копака, де відбувається постійний контакт коренеплоду і його безпосереднє вилучення із ґрунту. Звичайно, ця довжина може бути різною (враховуючи різні конструктивні рішення, що передбачають неоднакові

розміри коренеплодів тощо), проте вона повинна мати якусь середню величину l , яку і можна в подальшому використовувати при проєктуванні вібраційних викопувальних робочих органів для коренеплодів буряків цукрових.

Тому виникає актуальна науково-технічна проблема теоретично дослідити зазначену взаємодію коренеплоду буряку цукрового, який знаходиться у ґрунті, з викопувальними лемешами вібраційного викопувального робочого органа, що дасть змогу визначити раціональні конструктивні й кінематичні його параметри за умови непошкодження (незламання) коренеплодів за цієї взаємодії під час вібраційного викопування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досить ґрунтовні дослідження процесу вібраційного викопування коренеплодів буряків цукрових із ґрунту опубліковано в працях [1–7]. У зазначених роботах докладно розглядається взаємодія вібраційного викопувального робочого органа з тілом коренеплоду буряку цукрового за надання останньому параметрів вібраційної дії, які забезпечують його викопування з ґрунту. Однак особливості багатьох конструкцій вібраційних викопувальних робочих органів такі, що безпосереднє вилучення з ґрунту тіла коренеплоду тут відбувається при взаємодії з різними частинами копака, зокрема, при його затисканні і подальшому проходженні звуженого робочого русла. Крім того, вібраційні викопувальні робочі органи, які використовуються на багатьох коренезбиральних машинах, що виготовляються у світі, викопувальні площини (лемеші), мають не лише різні розміри, а й різну форму

робочих кромок (лез), різне їх розташування, нахил у просторі тощо.

Крім того, у зазначених статтях взаємодія тіла коренеплоду буряку цукрового з лемешами вібраційного викопувального робочого органа розглядається лише в одній (або двох точках), але тіло коренеплоду буряку цукрового за вилучення з ґрунту послідовно контактує з різними точками викопувальних лемешів при поступальному русі вібраційного викопувального робочого органа. За таких умов ці точки контакту змінюються як по довжині так і по висоті лемешів, що охоплюють тіло коренеплоду з двох сторін. Тобто проходження тіл коренеплодів буряків цукрових через звужене русло вібраційного викопувального робочого органа, а насамперед передумови для визначення довжини робочого русла вібраційного викопувального робочого органа тут не розглядається.

І, лише в роботах [8] і [9] наведені деякі результати експериментальних досліджень частоти взаємодії тіла коренеплоду з викопувальним робочим органом, що залежить не тільки від швидкості поступального руху копача, а й від довжини робочого русла вібраційного викопувального робочого органа.

Дослідженням технологічного процесу та результатам випробувань сучасних бурякозбиральних комбайнів та їх робочих органів присвячені наукові праці [10–14]. Однак ретельного теоретичного дослідження з обґрунтування параметрів вібраційних викопувальних робочих органів тут не наведено. Дослідження робочого процесу руху тіла коренеплоду буряку цукрового всередині викопувальних лемешів вібраційного робочого органа взагалі не розглядалися.

Це зумовлює необхідність проведення теоретичних досліджень, які б дали можливість встановити геометричні параметри лемешів, що утворюють вібраційний викопувальний робочий орган для коренеплодів буряків цукрових.

Мета досліджень — обґрунтувати раціональну конструктивну довжину робочого русла вібраційного викопувального робочого органа за взаємодії з тілом коренеплоду буряку цукрового при його викопуванні із ґрунту.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проведені з використанням ос-

новних положень теорії сільськогосподарських машин, вищої математики й теоретичної механіки. Числові розрахунки й графічні залежності отримані із застосуванням ПК на підставі розроблених і стандартних програм.

Результати досліджень та їх обговорення. Нами розроблена нова конструкція вібраційного викопувального робочого органа для коренеплодів буряків цукрових, конструктивно-технологічна схема та 3D модель якого представлені на рис. 1.

Для теоретичного обґрунтування конструктивних параметрів вібраційного викопувального робочого органа покажемо основні розміри його викопувального лемеша та робочого русла всього викопувального робочого органа (рис. 2).

Як бачимо зі схеми (рис. 2), передня частина лемеша, яка визначається довжиною l_R та складною формою у поздовжньо-вертикальній площині, має загострення різальної кромки леза, що характеризується двома кутами: α — кутом нахилу гострого кінця леза до горизонту, та β — кутом нахилу нижньої кромки леза до горизонту. Причому, кут нахилу гострої кромки кінця леза до горизонту (кут α) має більше значення, ніж кут нахилу нижньої кромки леза до горизонту (кут β). Саме передня частина вібраційного викопувального робочого органа має у горизонтальній площині найбільшу відстань між передніми кінцями лемешів, а відповідно й утворює кут θ передньої частини (розхилу) робочого русла вібраційного викопувального робочого органа, який забезпечує вилучення всіх коренеплодів, розташованих у рядку, що мають деякі відхилення від осової лінії. Середня частина лемеша, що визначається довжиною l_z — це фактично зона першого контакту лемеша й тіла коренеплоду буряку цукрового, який поки що залишається фактично закріпленим у ґрунті. Саме на цій довжині відбувається не тільки перший контакт з тілом коренеплоду, а й міцне його затискання у робочому руслі, що поступово звужується, захоплення і просування далі вздовж усього звуженого русла вібраційного копача. Крім того, саме ця частина лемеша має найвужче русло та нахил у поздовжньо-вертикальній площині, що дає

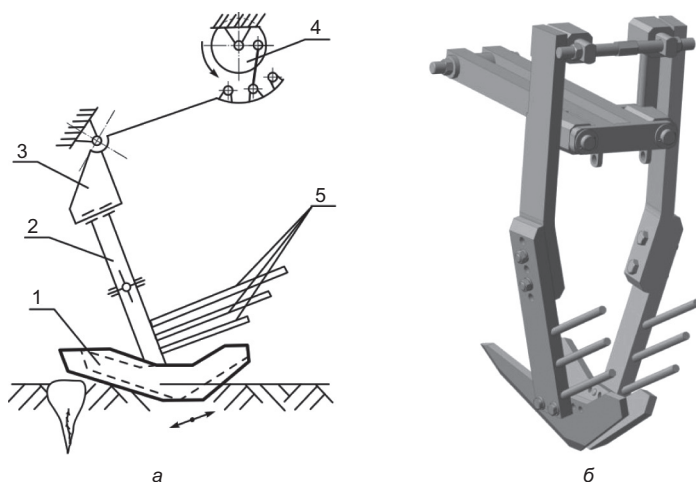


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема (а) і комп'ютерна 3D модель (б) нового вібраційного викопувального робочого органа для коренеплодів буряків цукрових: 1 — викопувальні лемеші; 2 — стійки; 3 — механізм регулювання відстані між лемешами; 4 — вібраційний привід з механізмом регулювання амплітуди і частоти коливань лемешів; 5 — напрямні пальці

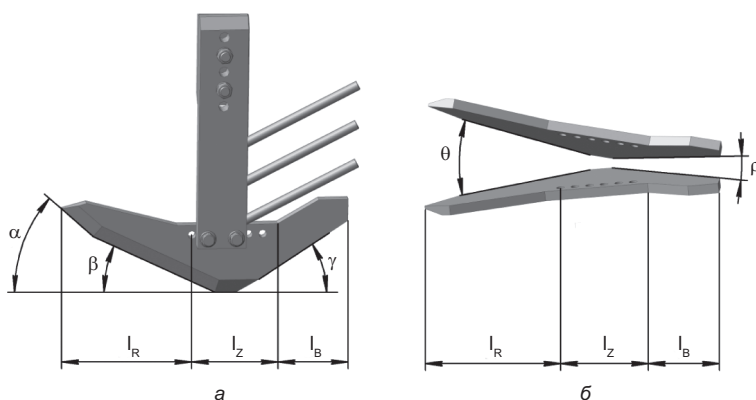


Рис. 2. Конструктивні розміри викопувального лемеша (а) та робочого русла (б) вібраційного викопувального робочого органа

змогу протягом незначного проміжку часу і рухові робочої площини лемешів угору при вібраційних коливаннях висмикувати тіло коренеплоду з ґрунту. І, нарешті, саме задня частина викопувального лемеша, яка характеризується довжиною l_B , і має меншу довжину, ці частини лемешів мають нахили вгору під кутами γ до горизонту, а робоче русло має деяке розходження, бо саме в цій частині вібраційного викопувального робочого органа тіло коренеплоду буряку цукрового має звільнити вібраційний копач

для його швидкої подачі на очисні робочі органи.

Для обґрунтування конструктивних параметрів вібраційного викопувального робочого органа, насамперед його робочих лемешів, необхідно аналітично розглянути зазначений вище контакт тіла коренеплоду з робочим органом та знайти аналітичну залежність кількості коливань вібраційного викопувального робочого органа за взаємодії з коренеплодом під час його перебування в зоні робочого русла від довжини задньої

частини робочого русла, частоти коливань і поступальної швидкості руху копака. Отже, якщо l — відстань від точки першого контакту з коренеплодом до кінця робочого русла копака, а V_n — швидкість поступального руху копака, то час знаходження коренеплоду у зазначеній зоні робочого русла дорівнюватиме:

$$t_p = \frac{l}{V_n}. \quad (1)$$

За цей час робочий орган здійснить таку кількість коливань:

$$k = v \frac{l}{V_n}, \quad (2)$$

де v — частота коливань вібраційного робочого органа, Гц.

Так, наприклад, якщо згідно [9] прийняти, що $V_n = 2$ м/с, $v = 20$ Гц, $l = 0,1$ м (мінімальне з можливих значень довжини задньої частини робочого русла), то за виразом (2) отримаємо, що за час знаходження коренеплоду в робочому руслі копака робочий орган здійснить одне коливання, тобто $k = 1$.

Дослідимо далі, скільки захватів коренеплоду може здійснити вібраційний робочий орган за час перебування коренеплоду у задній частині робочого русла копака при $k = 1$, тобто коли за цей час робочий орган здійснить одне повне коливання.

Тут можливі два випадки.

Перший випадок: робочий орган здійснює перший безпосередній контакт із коренеплодом у момент часу, коли він рухається вгору від найнижчого положення до найвищого. Позначимо період коливань робочого органа через τ . Оскільки збурювальна сила в цьому випадку буде направлена вгору, то цей перший контакт робочого органа з коренеплодом і буде першим захватом коренеплоду робочим органом, під час якого почнеться процес руйнування зв'язків коренеплоду з ґрунтом. Цей захват триватиме, поки робочий орган досягне свого найвищого положення. Позначимо цей інтервал часу t_1 . Очевидно, що він дорівнюватиме:

$$t_1 = s_1 \tau,$$

де $0 \leq s_1 \leq 0,5$ — число, що показує, в яку частину періоду відбуватиметься перший захват коренеплоду робочим органом.

Наприклад, якщо $s_1 \leq 0,5$, це означає, що перший захват коренеплоду розпочався у найнижчому положенні і тому $t_1 = 0,5\tau$. Якщо $s_1 = 0$, то це означає, що перший контакт розпочався у найвищому положенні, а отже, $t_1 = 0$. Всі інші значення s_1 , що відповідають зазначеній нерівності, враховують початок захвату в будь-який момент часу при русі робочого органа вгору від найнижчого положення до найвищого.

Досягнувши найвищого положення, робочий орган починає рух вниз. При цьому, враховуючи конусоподібну форму коренеплоду, збурювальна сила перестає діяти на коренеплід, а отже, захвату коренеплоду не відбувається. Це відбуватиметься протягом часу $t_2 = 0,5\tau$, поки робочий орган рухається від найвищого положення до найнижчого. Після цього робочий орган знову починає рухатись вгору від найнижчого положення до найвищого.

А отже, протягом часу $t_3 = \tau - (t_1 + t_2)$ відбудеться другий захват коренеплоду робочим органом, при якому почнеться подальший процес руйнування зв'язків коренеплоду з ґрунтом аж до безпосереднього вилучення. Очевидно, що за другий захват має відбутися обов'язкове повне вилучення коренеплоду з ґрунту, інакше коренеплід залишиться у ґрунті (тобто відбудеться або його зрізання лемешами, або він захає рости робоче русло копака).

Якщо коренеплід слабко закріплюватиметься у ґрунті, то не виключено, що вилучення може відбутися одразу при першому захваті вібраційним викопувальним робочим органом.

Другий випадок: робочий орган здійснює перший безпосередній контакт з коренеплодом у момент часу, коли він рухається вниз від найвищого положення до найнижчого. Це відбуватиметься протягом часу $t_1 = s_1 \tau$, де $0 \leq s_1 \leq 0,5$.

При цьому на коренеплід не діятиме збурювальна сила від вібраційного робочого органа. Досягнувши найнижчого положення, робочий орган почне рухатись вгору від найнижчого положення до найвищого. У цей момент часу відбудеться перший захват коренеплоду робочим органом, тривалість якого $t_2 = 0,5\tau$, до переміщення робочого органа у найвище положення. Потім робочий

орган почне рухатися вниз і протягом часу $t_3 = \tau - (t_1 + t_2)$ на коренеплід знову не діятиме збурювальна сила, тобто в цьому інтервалі часу також не відбудеться захвату коренеплоду.

Отже, в другому випадку за період часу $t_1 + t_2 + t_3 = \tau$ відбудеться лише один захват коренеплоду робочим органом, при якому обов'язково має відбутися повне вилучення коренеплоду з ґрунту, інакше коренеплід залишиться у ґрунті.

Однак, цілком очевидно, що наявність лише одного захвату коренеплоду на певній глибині сприятиме його вилученню з навколишнього утримуючого ґрунту, та подальший рух у звуженому руслі копака по похилих поверхнях лемешів буде достатнім для повного вилучення коренеплоду.

При $k < 1$ (робочий орган не встигає здійснити повне коливання за час перебування коренеплоду у задній частині робочого русла копака) у першому випадку може відбутися лише один захват коренеплоду робочим органом, у другому — жодного. Отже, коренеплід має бути вилучений робочим органом за один захват, або ж, у крайньому випадку, у звуженому робочому руслі копака, за рахунок поступального руху копака (як це відбувається у звичайному лемешному викопувальному робочому органі). Проте вилучення міцно закріпленого у ґрунті коренеплоду у звуженому руслі за рахунок поступального руху копака може призвести до різкого нахилу коренеплоду у напрямку руху копака і його обламування. Причому, при $k < 1$ міцно зв'язаний з ґрунтом коренеплід може також залишитися не вилученим за один захват вібраційним викопувальним робочим органом.

Отже, співвідношення між частотою коливань робочого органа, поступальною швидкістю копака та довжиною робочого русла має бути таким, щоб робочий орган протягом перебування коренеплоду у задній частині робочого русла встиг здійснити не менше одного коливання, тобто потрібно, щоб $k \geq 1$.

Якщо, наприклад, $k = 2$ (коли довжина l задньої частини робочого русла копака дорівнює 0,2 м) і має місце перший випадок (перший контакт робочого органа з коренеплодом відбувся під час руху робочого

органа вгору), то за період першого коливання робочий орган здійснить два захвати коренеплоду, а за період другого коливання — один захват. Якщо ж місце має другий випадок (перший контакт робочого органа з коренеплодом відбувся під час руху робочого органа вниз), то за період першого і другого коливань робочий орган здійснить по одному захвату коренеплоду. Отже, при $k = 2$ здійснюється три захвати, або, в гіршому випадку, два захвати коренеплоду.

Звичайно, чим більше k , тим більш плавним і якісним буде процес вилучення коренеплоду з ґрунту вібраційним викопувальним робочим органом, оскільки при більшому числі коливань, що припадає на один коренеплід, можна використати меншу збурювальну силу для вилучення коренеплодів, а отже, зменшити ймовірність розриву тіла коренеплоду. Крім того, чим більше k , тим більше коливань здійснює коренеплід разом з робочим органом, а отже, тим більше він очищуватиметься від налиплого ґрунту.

Як видно з виразу (2), збільшення числа k можна досягти або збільшенням частоти коливань робочого органа і довжини його робочого русла, або зменшенням поступальної швидкості руху копака. Отже, задавши число k ($k \geq 1$) коливань робочого органа під час перебування коренеплоду в робочому руслі копака, можна завжди знайти співвідношення між параметрами v , l і V_n згідно виразу (2). Зокрема, для заданих конкретних значень l і V_n з виразу (2) знаходимо необхідну частоту коливань робочого органа, а саме:

$$v = \frac{kV_n}{l}. \quad (3)$$

Отже, визначається мінімальна частота коливань робочого органа, що забезпечує раціональний режим вібраційного викопування коренеплодів. Якщо $k = 1$ (одне коливання робочого органа за час перебування коренеплоду в робочому руслі копака), то з виразу (3) отримуємо:

$$v = \frac{V_n}{l}. \quad (4)$$

Якщо частота коливань робочого органа буде меншою за отриману з виразу (4), то

режим вібраційного викопування коренеплодів буде порушено. Це означає, що деякі коренеплоди не будуть захоплені робочим органом у вібраційному процесі, а тому залишаться не вилученими, або будуть зламані у хвостовій частині. Все це призведе до небажаної втрати коренеплодів при їх викопуванні.

Отже, необґрунтоване співвідношення між параметрами k , v , l і V_n є однією з основних причин втрати частини коренеплодів в існуючих бурякозбиральних машинах при вібраційному викопуванні.

Побудуємо графік (рис. 3) залежності мінімально допустимої частоти v від швидкості V_n поступального руху копача при $k = 1$ і $l = 0,10$ м, $l = 0,15$ м та $l = 0,20$ м згідно виразу (4).

Як видно з отриманих графіків (рис. 3), із зростанням швидкості поступального руху копача зростає мінімально допустима частота коливань робочого органа, яка забезпечує одноразовий захват коренеплоду робочим органом. Водночас збільшення довжини задньої частини робочого русла копача сприяє зменшенню мінімально допустимої частоти коливань робочого органа.

Отже, для кожного значення швидкості V_n поступального руху копача і довжини l задньої частини робочого русла існує певне значення мінімальної частоти, нижче якого порушується процес вібраційного викопування коренеплодів, тобто деякі коренеплоди не вилучаються вібраційним викопувальним органом. Як видно з графіка, при $l = 0,1$ м, частота $v = 20$ Гц забезпечує задовільний вібраційний процес викопування коренеплодів для всіх значень швидкості V_n поступального руху копача, менших за $2,0$ м/с, а при $l = 0,15$ м частота 20 Гц — для всіх значень швидкості V_n , менших за $3,0$ м/с. Отже, при $l = 0,1$ м, якщо необхідно забезпечити швидкість поступального руху копача $V_n = 2,0$ м/с, всі множини значень допустимих частот, отримані з умов непошкодження коренеплодів при ударній взаємодії з робочим органом, необхідно обмежити знизу значенням частоти $v = 20$ Гц.

Якщо для деяких кінематичних режимів отримані значення допустимих частот при ударній взаємодії менші за $v = 20$ Гц, то вони завідома не відповідають умовам

задовільного вібраційного викопування коренеплодів при довжині задньої частини робочого русла $l = 0,1$ м та швидкості руху копача $V_n = 2,0$ м/с.

Разом з тим, якщо задати конкретне значення l довжини задньої частини робочого русла копача і частоти v коливань робочого органа, то з виразу (4) необхідно визначити максимально допустиму швидкість V_n поступального руху копача, що забезпечує якісне викопування коренеплодів.

Дані теоретичні міркування досить чітко підтверджуються експериментальними дослідженнями маси втрачених коренеплодів буряку цукрового [9]. Наприклад, за швидкості поступального руху копача $V_n = 2,1$ м/с і частоти коливань робочого органа $v = 20,3$ Гц маса втрачених коренеплодів становить $0,7\%$, при частоті $v = 15,7$ Гц — $2,5\%$, а при частоті $8,5$ Гц — $3,5\%$.

Отже, при швидкості руху $V_n = 2,1$ м/с частота коливань $v = 20,3$ Гц забезпечує задовільний режим вібраційного викопування коренеплодів, а частоти $v = 15,7$ Гц і $v = 8,5$ Гц — недостатній, тобто деякі коренеплоди не вилучаються робочим органом, або ж зламуються у хвостовій частині. Це підтверджують розрахунки за виразом (4).

За швидкості руху $V_n = 1,3$ м/с і частоти коливань $v = 20,3$ Гц маса втрачених коренеплодів становить $0,5\%$, за частоти $v = 15,7$ Гц — $1,8\%$, а за частоти $v = 8,5$ Гц —

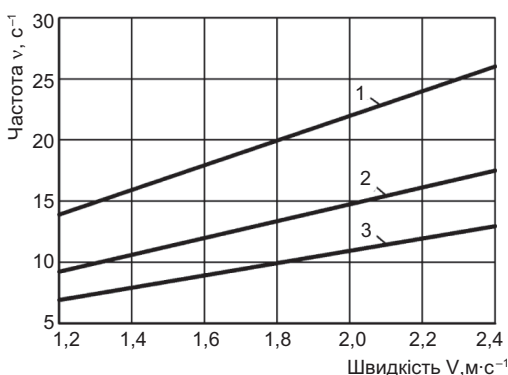


Рис. 3. Залежність мінімально допустимої частоти v коливань вібраційного викопувального робочого органа від швидкості V_n його поступального руху при значеннях довжини задньої частини робочого русла: 1 — $l = 0,10$ м; 2 — $l = 0,15$ м; 3 — $l = 0,20$ м

2,8%. Отже, частоти $\nu = 20,3$ Гц і $\nu = 15,7$ Гц забезпечують задовільний режим вібраційного викопування коренеплодів, а частота $\nu = 8,5$ Гц — недостатній.

Згідно [9], у процесі швидкого удосконалення вібраційних викопувальних робочих органів бурякозбиральних машин, що випускаються всіма провідними фірмами Європи, частота коливань робочих органів зросла від 3,3–6,0 Гц до 10 Гц, тобто у виробничих умовах досягнення частоти коливань, вищої за 10 Гц, залишається неможливим через недостатню надійність механізму приводу робочого органа, що створює коливальний рух. А тому, із зазначених вище розрахунків випливає, що для того, щоб забезпечити задовільний режим вібраційного викопування коренеплодів за швидкості поступального руху копака $V_{\text{п}} = 2,0$ м/с і частоти коливань робочого органа $\nu = 10$ Гц необхідно мати такі співвідношення між геометричними параметрами робочого органа, які б забезпечили довжину задньої частини робочого русла копака, що дорівнює 0,2 м. У протилежному випадку, за швидкості $V_{\text{п}} = 2,0$ м/с, режим вібраційного викопування буде порушено.

Наведемо значення допустимих частот коливань робочого органа, які можна

рекомендувати для діапазону швидкостей поступального руху 1,3–2,2 м/с, враховуючи обмеження частот коливань робочого органа за умов обов'язкового захвату кожного коренеплоду викопувальними лемешами:

- для зведеної до точки контакту маси робочого органа $m = 0,8$ кг: при глибині ходу у ґрунті 0,08 м та амплітуді коливань 0,008–0,024 м, допустима частота коливань становить 21,2 Гц; при глибині ходу 0,10 м — 10,0 Гц; при глибині ходу 0,12 м — 9,0 Гц;

- для зведеної до точки контакту маси робочого органа $m = 1,0$ кг: при глибині ходу у ґрунті 0,08 м та амплітуді коливань 0,008–0,024 м, допустима частота коливань становить 16,4 Гц; при глибині ходу 0,10 м та амплітуді коливань 0,008–0,018 м — допустима частота коливань 10,0 Гц, при амплітуді 0,020–0,024 м — 8,3 Гц;

- для зведеної до точки контакту маси робочого органа $m = 1,5$ кг: при глибині ходу у ґрунті 0,08 м та амплітуді коливань 0,008–0,024 м, допустима частота коливань становить 10,0 Гц; при глибині ходу 0,10 м та амплітуді коливань 0,008–0,010 м — допустима частота коливань 10,0 Гц, при амплітуді 0,012 м — 8,0 Гц.

Висновки

Отримано аналітичну залежність між кількістю коливань, яку здійснить вібраційний робочий орган за час перебування коренеплоду у робочому руслі копака, частотою коливань робочого органа, довжиною задньої частини робочого русла та швидкістю поступального руху копака за умови забезпечення задовільного протікання процесу вібраційного викопування коренеплодів цукрового буряку.

Визначено мінімально допустимі частоти коливань робочого органа для конкретних значень швидкості поступального руху копака і довжини задньої частини робочого русла, за яких можливий хоча б один захват коренеплоду вібраційним викопувальним робочим органом.

За довжини задньої частини робочого русла копака 0,1 м та поступальній

швидкості руху $V_{\text{п}} = 2,1$ м/с частота коливань $\nu = 20,3$ Гц забезпечує задовільний режим вібраційного викопування коренеплодів, а частоти $\nu = 15,7$ Гц і $\nu = 8,5$ Гц — недостатній, а за тієї самої довжини задньої частини робочого русла і поступальній швидкості руху $V_{\text{п}} = 1,3$ м/с частоти $\nu = 20,3$ Гц і $\nu = 15,7$ Гц забезпечують задовільний режим вібраційного викопування коренеплодів, а частота $\nu = 8,5$ Гц — недостатній, тобто деякі коренеплоди не вилучаються робочим органом, або ж зламуються у хвостовій частині.

Щоб забезпечити задовільний режим вібраційного викопування коренеплодів за швидкості поступального руху копака $V_{\text{п}} = 2,0$ м/с і частоті коливань робочого органа $\nu = 10$ Гц необхідно, щоб довжина

задньої частини робочого русла копача до-
рівнювала 0,2 м.

У результаті числових розрахунків ви-
значено значення допустимих частот ко-
ливань робочого органа, які можна реко-

мендувати для діапазону швидкостей по-
ступального руху 1,3–2,2 м/с, враховуючи
обмеження частот коливань робочого ор-
гана за умов обов'язкового захвату кожно-
го коренеплоду викопувальними лемешами.

Bulgakov V.¹, Holovach I.²

^{1,2}National university of life and environmental
sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str.,
Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail: ¹vbulgakov@meta.
ua, ²holovach.iv@gmail.com; ORCID: ¹0000-0003-
3445-3721, ²0000-0003-1387-4789

The theoretical substantiation of constructive parameters of the vibration digging working body

Goal. To substantiate the rational constructive
length of the working channel of the vibrating dig-
ging working body by interaction with the body of
sugar beet root during its digging out of the soil.

Methods. Theoretical research was conducted us-
ing the basic provisions of the theory of agricultural
machinery, higher mathematics, and theoretical
mechanics. Numerical calculations and graphical
dependencies are obtained using a PC based on
developed and standard programs. **Results.** The
calculated scheme of root crop contact with the
working body is constructed and the analytical de-
pendence of the number of vibrations of the vibrat-
ing digging working body on interaction with the
root crop, during its stay in the area of the rear part
of the digger working channel, on the length of the
rear part digger. Based on the conducted analytical
researches the expression for determination of the
minimum admissible frequency of fluctuations of a
working body under the condition of maintenance

of obligatory capture of each root crop by digging
plowshares is received. **Conclusions.** As a result
of calculations, it is determined that for the length
of the rear part of the working channel of the dig-
ger 0.1 m and the translational speed $V_p = 2.1$ m/s
the oscillation frequency $\nu = 20.3$ Hz provides a
satisfactory mode of vibratory digging of roots. The
frequencies $\nu = 15.7$ Hz and $\nu = 8.5$ Hz have an
insufficient effect. At the same length of the rear part
of the working channel and translational speed V_p
 $= 1.3$ m/s the frequencies $\nu = 20.3$ Hz and $\nu = 15.7$
Hz provide a satisfactory mode of vibratory digging
of roots, and the frequency $\nu = 8.5$ Hz — insuffi-
cient (some roots are not removed by the working
body or broken in the tail). To ensure a satisfactory
mode of vibratory digging of roots at the speed of
translational movement of the digger $V_p = 2.0$ m/s
and the oscillation frequency of the working body
 $\nu = 10$ Hz, it is necessary that the length of the
rear of the working channel of the digger is 0.2 m.
The range of permissible oscillation frequencies
of the working body is determined, which can be
recommended for translational speeds in the range
of 1.3–2.2 m/s, taking into account the limitation of
oscillation frequencies of the working body under
conditions of obligatory capture of each root crop
by digging plowshares.

Key words: vibrating working body, root crop,
contact interaction, working channel, length.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovissnyk202012-07>

Бібліографія

1. Василенко П.М., Погорельий Л.В., Брей В.В. Вибрационный способ уборки корнеплодов. *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1970, №2. С. 9 — 13.
2. Булгаков В.М., Головач І.В. Теорія вібраційного викопування коренеплодів. *Зб. наук. пр. Національного аграрного університету «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. 2003. Т. XIV. С. 34 — 86.
3. Булгаков В.М., Головач І.В. Теорія поперечних коливань коренеплоду при вібраційному викопуванні. *Праці Таврійської державної агро-технічної академії*. 2004. Вип. 18, Мелітополь, С. 8 — 24.
4. 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: зб. наук. пр.* 2005. Вип. 39, Харків: ХНТУСГ, С. 23 — 39.

5. В. Булгаков, І. Головач. Розробка математичної моделі вилучення коренеплоду з ґрунту. *Техніка АПК*. 2006. № 6, 7, 8. С. 36 — 38.

6. 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: зб. наук. пр.* 2006. Вип. 44. Т. 2. Харків: ХНТУСГ, С. 131 — 155.

7. Головач І.В. Теорія безпосереднього вилучення коренеплоду з ґрунту при вібраційному викопуванні. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*: зб. наук. пр. 2006. Вип. 44. Т. 2. Харків: ХНТУСГ. С. 77–100.

8. Л.В. Погорелый, Н.В. Татьяна, В.В. Брей и др. Свеклоуборочные машины (конструирование и расчет); под общ. ред. Л.В. Погорелого. Киев: Техника, 1983. 168 с.

9. Погорелый Л.В., Татьяна Н.В. Свеклоуборочные машины (история, конструкция, теория, прогноз). Киев: Феникс, 2004. 232 с.

10. Boson E.S., Verniaev O.V., Smirnov I.I. & Sultan-Shach E.G. Theory, Construction and Calculation of Agricultural Machines. 2nd Ed.,

Scientific Publisher, 2019, 81 p.

11. Gu F., Hu Z., Wu H. et al. Development and experiment of 4LT-A staggered-dig sugar beet combine. *Nongye Gongcheng Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2014. 30(23). P. 1–9.

12. Schmitz T.L., & Smith K.S. Mechanical vibrations: Modeling and measurement. 2012. Springer, 378 p. doi: 10.1007/978-1-4614-0460-6

13. Schulze Lammers P. Harvest and loading machines for sugar beet — new trends. 2011. *International Sugar Journal* 113 (1348). P. 253–256.

14. Schulze Lammers P.S. & Schmittmann O. Testing of sugar beet harvesters in Germany 2012. 2013. *International Sugar Journal* 115(1370). P. 100–106.