



Головач І. В.

Національний  
університет  
біоресурсів і  
природокористування  
України

Паламарчук І. П.

Вінницький  
національний  
аграрний  
університет

Свірень М. О.

Кіровоградський  
національний  
технічний  
університет

УДК 631.356.02

## МІНІМАЛЬНО ДОПУСТИМА ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ ВІБРАЦІЙНОГО ВИКОПУЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

*Определение минимально допустимой частоты колебаний вибрационного выкапывающего рабочего органа свеклоборочных машин из условий обеспечения захвата каждого корнеплода при вибрационном выкапывании сахарной свеклы.*

*Аналитически исследованы условия обязательного захвата каждого корнеплода вибрационным выкапывающим рабочим органом в зависимости от скорости поступательного движения копателя, длины задней части рабочего русла и частоты колебаний рабочего органа. Получены значения минимально допустимых частот, которые обеспечивают нормальный режим протекания технологического процесса вибрационного выкапывания корнеплодов сахарной свеклы.*

*Definition of is minimum admissible frequency of fluctuations of the vibrating digging out worker of body of beet-harvesting cars from conditions of maintenance of capture of each root crop at vibrating excavation of a sugar beet.*

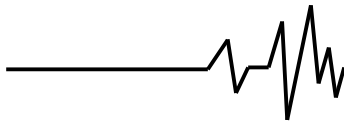
*Conditions of obligatory capture of each root crop by vibrating digging out working body depending on speed of progress of working body, length of a back part of a working channel and frequency of fluctuations of working body are analytically investigated. Values of is minimum admissible frequencies which provide a normal mode of course of technological process of vibrating excavation of root crops of a sugar beet are received.*

**Вступ.** Вібраційне викопування коренеплодів цукрового буряку набуло у наш час широкого розповсюдження у багатьох країнах. Тому даний технологічний процес потребує ґрунтового теоретичного і експериментального дослідження з погляду забезпечення якості його виконання.

**Постановка проблеми.** Необхідною умовою нормального протікання процесу вібраційного викопування коренеплодів цукрового буряку є забезпечення захвату вібраційним викопуючим робочим органом кожного коренеплоду при русі копача по рядку коренеплодів цукрового буряку. У протилежному випадку, коренеплоди, які не будуть захвачені вібраційним викопуючим органом, залишаться міцно закріпленими хвостовою частиною у нерозпушеному шарі ґрунту, а тому будуть зламаними у вузькій

задній частині робочого русла копача або ж не вилученими взагалі. Отже, необґрунтоване співвідношення між частотою коливань, довжиною задньої частини робочого русла та швидкістю поступального руху робочого органу є однією з основних причин втрати частини коренеплодів у існуючих бурякозбиральних машинах при вібраційному викопуванні.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Фундаментальні теоретичні і експериментальні дослідження процесу вібраційного викопування коренеплодів цукрового буряку здійснені у працях [1 – 9]. Однак, аналітичного дослідження співвідношень між конструкційними і кінематичними параметрами вібраційного викопуючого органу для забезпечення обов'язкового захвату кожного коренеплоду робочим органом в даних роботах не наведено.



**Мета досліджень.** Аналітично дослідити співвідношення між частотою коливань, довжиною задньої частини робочого русла та швидкістю поступального руху вібраційного викопуючого робочого органу для забезпечення обов'язкового захвату кожного коренеплоду робочим органом при русі копача по рядку коренеплодів при вібраційному викопуванні коренеплодів цукрового буряку.

**Результати досліджень.** При вібраційному викопуванні коренеплодів однією з найбільш важливих кінематичних характеристик є частота коливань вібраційного викопуючого робочого органу. Частоту коливань робочого органу можна знаходити з різних міркувань, наприклад, з умов незламування хвостової частини коренеплодів при ударній взаємодії робочого органу з коренеплодом в момент його наїзду на коренеплід. Однак, необхідно на отримані таким чином значення допустимих частот накласти обмеження як зверху, так і знизу. Обмеження зверху визначаються надійністю привода робочого органу у коливальний рух, атже при надмірно високих частотах різко зростають динамічні навантаження на елементи привода, що значно знижує надійність і довговічність привода. Згідно експериментальних досліджень, надійність привода різко зменшується для існуючих конструкцій приводів, коли частота коливань робочого органу стає вищою 20 Гц [9]. Обмеження отриманих значень допустимих частот знизу визначається можливістю здійснення захвату коренеплоду вібраційним робочим органом під час знаходження коренеплоду в робочому руслі копача. А тому важливо проаналізувати залежність кількості можливих варіантів захвату коренеплоду вібраційним викопуючим робочим органом протягом часу перебування його у робочому руслі копача від параметрів процесу: швидкості поступального руху копача, довжини його робочого русла і частоти коливань робочих поверхонь вібраційного викопуючого робочого органу.

Оскільки при вібраційному викопуванні коренеплодів вилучення можливе лише при безпосередньому контакті робочого органу з коренеплодом, то важливим питанням є довжина задньої частини робочого русла копача, починаючи від точки першого контакту з коренеплодом до кінця робочого русла (тобто довжина, протягом якої відбувається контакт коренеплоду і його безпосереднє вилучення з ґрунту). Звичайно, що ця довжина може бути різною (враховуючи різні конструкційні рішення, що враховують неоднакові розміри

коренеплодів, тощо), проте вона повинна мати якусь середню величину  $l$ , яку і можна в подальшому прийняти за розрахункову.

Знайдемо аналітичну залежність кількості коливань вібраційного викопуючого робочого органу при взаємодії з коренеплодом від довжини його робочого русла, частоти коливань і поступальної швидкості руху копача.

Отже, якщо  $l$  – відстань від точки першого контакту з коренеплодом до кінця робочого русла копача, а  $V_{\Pi}$  – швидкість поступального руху копача, то час знаходження коренеплоду у зазначеній зоні робочого русла буде дорівнювати:

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

За цей час робочий орган здійснить таку кількість коливань:

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

де  $v$  – частота коливань вібраційного робочого органу, Гц

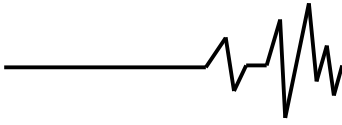
Таким чином, наприклад, якщо згідно [9] прийняти,  $V_{\Pi} = 2$  м/с,  $v = 20$  Гц,  $l = 0,1$  м (саме мінімальне із можливих значень довжини), то матимемо таку кількість коливань вібраційного викопуючого робочого органу:

$$k = \frac{20 \cdot 0,1}{2} = 1 \text{ коливання.}$$

Тепер, знаючи кількість коливань, що здійснить вібраційний робочий орган, дослідимо, скільки захватів коренеплоду він здійснить за час перебування коренеплоду у задній частині русла при  $k = 1$ , тобто коли за цей час робочий орган здійснить одне повне коливання.

Тут можливі два випадки.

Перший випадок: робочий орган зустрічається з коренеплодом (здійснює перший безпосередній з ним контакт) у момент часу, коли він рухається вгору від найнижчого положення до найвищого положення. Позначимо період коливань робочого органу через  $\tau$ . Оскільки збурююча сила в цьому випадку буде напрямлена вгору, то цей перший контакт робочого органу з коренеплодом і буде першим захватом коренеплоду робочим органом, при якому розпочнеться процес руйнування зв'язків коренеплоду з ґрунтом. Цей захват буде продовжуватись до тих пір, поки робочий орган досягне свого найвищого положення. Позначимо цей інтервал часу  $t_1$ .



Очевидно, що він буде дорівнювати:

$$t_1 = s_1 \tau,$$

де  $0 \leq s_1 \leq \frac{1}{2}$  – число, яке показує, яку частину періоду відбудеться перший захват коренеплоду робочим органом.

Наприклад, якщо  $s_1 = \frac{1}{2}$ , то це означає, що перший захват коренеплоду розпочався у найнижчому положенні і тому  $t_1 = \frac{1}{2} \tau$ . Якщо ж

$s_1 = 0$ , то це означає, що перший контакт розпочався у найвищому положенні, а отже  $t_1 = 0$ . Всі інші значення  $s_1$ , що задовольняють зазначеній нерівності, враховують початок захвату у будь-який момент часу при русі робочого органу вгору від найнижчого положення до найвищого.

Досягнувши найвищого положення, робочий орган починає рух вниз. При цьому, враховуючи конусоподібну форму коренеплоду, збурююча сила перестає діяти на коренеплід, а отже, захвату коренеплоду не відбувається. Однак розрив контакту коренеплоду з робочим органом малоімовірний, внаслідок поступального руху копача і звуженості робочого русла копача. Якщо збурююча сила перестала діяти на коренеплід, то він за рахунок пружності ґрунту і власної пружності намагатиметься повернутися у вертикальне положення. При цьому можливий невеликий нахил коренеплоду уперед внаслідок поступального руху копача. Це буде

відбуватися протягом часу  $t_2 = \frac{1}{2} \tau$ , 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. Звичайно, якщо час перебування коренеплоду у задній частині робочого русла (після першого контакту) буде не більшим  $\tau$ , то за другий захват повинно відбутися обов'язкове повне вилучення коренеплоду з ґрунту, інакше коренеплід залишиться у ґрунті (тобто відбудеться або його зрізання лемешами, або він захає робоче русло копача).

Якщо коренеплід буде слабо закріплений у ґрунті, то не виключено, що вилучення може відбутися відразу при першому захваті вібраційним викопуючим робочим органом.

Другий випадок: робочий орган зустрічається з коренеплодом (здійснює перший безпосередній контакт) у момент часу, коли він рухається вниз від найвищого положення до найнижчого. Це відбудеться протягом часу  $t_1 = s_1 \tau$ , де  $0 \leq s_1 \leq \frac{1}{2}$ .

При цьому на коренеплід не буде діяти збурююча сила від вібраційного робочого органу. Досягнувши найнижчого положення, робочий орган почне рухатись у зворотному напрямку, тобто вгору від найнижчого положення до найвищого. У цей момент часу відбудеться перший захват коренеплоду

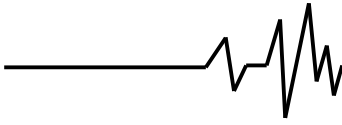
робочим органом, тривалість якого  $t_2 = \frac{1}{2} \tau$ ,

до приходу робочого органу у найвище положення. Потім робочий орган почне рухатись униз і протягом часу  $t_3 = \tau - (t_1 + t_2)$  на коренеплід знову не буде діяти збурююча сила, тобто в цьому інтервалі часу також не буде захвату коренеплоду.

Отже, в другому випадку за період часу  $t_1 + t_2 + t_3 = \tau$  відбудеться лише один захват коренеплоду робочим органом. Якщо в цьому випадку час перебування коренеплоду у задній частині робочого русла (після першого контакту) буде не більшим  $\tau$ , то за цей єдиний захват повинно відбутися повне вилучення коренеплоду з ґрунту, інакше коренеплід залишиться у ґрунті.

Звичайно, одного захвату для вилучення міцно зв'язаного з ґрунтом коренеплоду може бути недостатньо. При цьому очевидно необхідно значно збільшити зусилля захвату, проте це може призвести до руйнування та розриву тіла коренеплоду. Однак, цілком очевидно, що наявність лише одного захвату коренеплоду на певній глибині, який буде сприяти його зриванню з оточуючого і утримуючого ґрунту, та подальший рух у звуженому руслі копача по похилих поверхнях лемешів буде достатнім для повного вилучення коренеплоду.

Таким чином, при  $k=1$ , у першому випадку можна аналітично розглянути два етапи вилучення – перший і третій, оскільки за перший захват здійснюється збурення коренеплоду, а в інтервалі між першим і другим захватом – відновлення положення коренеплоду внаслідок дії сили пружності



ґрунту та власної пружності коренеплоду. Під час другого захвату відбувається безпосереднє вилучення коренеплоду з ґрунту. У другому випадку вилучення необхідно здійснити за один захват, а тому має місце третій етап вилучення.

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

Отже, співвідношення між частотою коливань робочого органу, поступальною швидкістю копача та довжиною робочого русла повинно бути таким, щоб робочий орган протягом перебування коренеплоду у задній частині робочого русла встиг здійснити більше одного коливання, тобто повинно щоб  $k > 1$ .

Якщо, наприклад,  $k = 2$  (коли довжина  $l$  робочого русла копача дорівнює 20см) і має місце перший випадок (перший контакт робочого органу з коренеплодом відбувся при русі робочого органу вгору), то за період першого коливання робочий орган здійснить два захвати коренеплоду, а за період другого коливання – один захват. Якщо ж має місце другий випадок (перший контакт робочого органу з коренеплодом відбувся при русі робочого органу вниз), то за період першого і другого коливань робочий орган здійснить по одному захвату коренеплоду. Отже, при  $k = 2$  здійснюється або три захвати, або, в гіршому випадку, два захвати коренеплоду.

Таким чином, при  $k = 2$  у першому випадку можна розглядати три етапи вилучення: перший етап – при першому захваті, коли збуруюча сила діє на міцно зв'язаний з ґрунтом коренеплід і в проміжку часу між першим та другим захватом, коли коренеплід відновлює своє положення; другий етап – при другому захваті, коли збуруюча сила діє на уже ослаблений у ґрунті коренеплід, і в проміжку

між другим і третім захватом, коли коренеплід відновлює своє положення; третій етап – при третьому захваті, коли здійснюється безпосереднє вилучення коренеплоду з ґрунту. У другому випадку можна аналітично розглянути два етапи вилучення – перший і третій. Звичайно, такий поділ на етапи досить умовний.

У загальному випадку, при

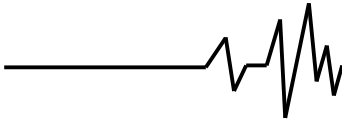
$$k = n,$$

де  $n$  – деяке натуральне число, з вище приведених міркувань випливає, що робочий орган може здійснити  $n + 1$  або  $n$  захватів коренеплоду.

Звичайно, чим більше  $k$ , тим більш плавним і якісним буде процес вилучення коренеплоду з ґрунту вібраційним викопуючим робочим органом, оскільки при більшому числі коливань, що припадає на один коренеплід, можна використати меншу збуруючу 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 на першому і другому етапах вилучення, а отже тим більше він буде очищуватись від налиплого ґрунту.

Збільшення числа  $k$  можна досягти або збільшенням частоти коливань робочого органу і довжини його робочого русла, або зменшенням поступальної швидкості руху копача. Отже, навіть при  $k = 1$ , коли робочий орган здійснить лише два захвати коренеплоду за час його перебування у задній частині русла копача на першому етапі вилучення (перший захват коренеплоду і повернення коренеплоду у вихідне положення в інтервалі часу між першим і другим захватом) відбудеться коливальний процес і буде мати місце збурення коренеплоду під дією збуруючої сили і його повернення у вихідне положення під дією відновлюючих сил (сили пружності ґрунту і сили власної пружності коренеплоду). Тим більше, що при  $k > 1$  буде коливальний процес, який сприятиме гарантованому вилученню коренеплоду з ґрунту.

Отже, задавши число  $k$  ( $k \geq 1$ ) коливань робочого органу, що припадає на один коренеплід під час його перебування в робочому руслі копача, можна завжди знайти співвідношення між параметрами  $v$ ,  $l$  і  $V_{\Pi}$  згідно виразу (2). Зокрема, для конкретних значень  $l$  і  $V_{\Pi}$  з виразу (2) знаходимо



$$\nu = \frac{kV_{\Pi}}{l} \quad (3)$$

Таким чином визначається мінімальна частота коливань робочого органу, що забезпечує раціональний режим вібраційного викопування коренеплодів. Якщо  $k=1$  (одне коливання робочого органу, що припадає на коренеплід), то з виразу (3) отримуємо:

$$\nu = \frac{V_{\Pi}}{l}. \quad (4)$$

Якщо частота коливань робочого органу 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, як впливає з виразу (4), для кожної швидкості  $V_{\Pi}$  поступального руху копача і довжини  $l$  задньої частини робочого русла існує конкретне значення мінімальної частоти, нижче якого порушується процес вібраційного викопування коренеплодів, тобто деякі коренеплоди не вилучаються вібраційним викопуючим органом. Наприклад, при  $l=0,1$  м, частота  $\nu=20$  Гц забезпечує вібраційний процес викопування коренеплодів для всіх значень швидкості  $V_{\Pi}$  поступального руху копача, менших за 2,0 м/с, а при  $l=0,15$  м частота 20 Гц – для всіх значень швидкості  $V_{\Pi}$ , менших за 3,0 м/с. Отже, при  $l=0,1$  м, якщо необхідно забезпечити швидкість поступального руху копача  $V_{\Pi}=2,0$  м/с, то всі множини значень допустимих частот, отримані з умов непошкодження коренеплодів при ударній взаємодії з робочим органом, необхідно обмежити знизу значенням частоти  $\nu=20$  Гц.

Таким чином, якщо для деяких кінематичних режимів, отримані значення допустимих частот при ударній взаємодії, менші ніж  $\nu=20$  Гц, то вони завідома не задовольняють умовам нормального протікання процесу вібраційного викопування коренеплодів при швидкості руху копача  $V_{\Pi}=2,0$  м/с.

Якщо ж з умов непошкодження коренеплодів при ударній взаємодії отримані значення допустимих частот більші за 20 Гц, то

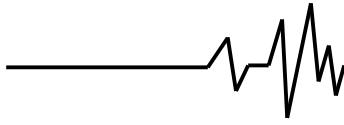
їх прийнятність необхідно розглядати з погляду надійності і довговічності приводу робочого органу у коливальний рух.

Дані теоретичні міркування досить чітко підтверджуються експериментальними дослідженнями маси втрачених коренеплодів цукрового буряку при вібраційному викопуванні. Наприклад, при швидкості поступального руху копача  $V_{\Pi}=2,1$  м/с і частоті коливань робочого органу  $\nu=20,3$  Гц маса втрачених коренеплодів становить 0,64%, при частоті  $\nu=15,7$  Гц – 2,2%, а при частоті 8,5 Гц – 3,48%.

Отже, при швидкості руху  $V_{\Pi}=2,1$  м/с, частота коливань  $\nu=20,3$  Гц забезпечує нормальний режим вібраційного викопування коренеплодів, а частоти  $\nu=15,7$  Гц і  $\nu=8,5$  Гц – забезпечують недостатньо, тобто деякі коренеплоди не вилучаються робочим органом, або ж зламуються у хвостовій частині. Це підтверджують розрахунки за виразом (4).

При швидкості руху  $V_{\Pi}=1,3$  м/с і частоті коливань  $\nu=20,3$  Гц маса втрачених коренеплодів становить 0,34 %, при частоті  $\nu=15,7$  Гц – 0,50 %, а при частоті  $\nu=8,5$  Гц – 1,84%. Отже, частоти  $\nu=20,3$  Гц і  $\nu=15,7$  Гц забезпечують нормальний режим вібраційного викопування коренеплодів, а частота  $\nu=8,5$  Гц забезпечує недостатньо.

Згідно [9], в процесі швидкого удосконалення вібраційних викопуючих робочих органів бурякозбиральних машин, що випускаються всіма ведучими фірмами Європи, частота коливань робочих органів зростає від 3,3...6,0 Гц до 10 Гц, тобто у виробничих умовах досягти частоти коливань, вищої за 10 Гц, поки що не вдається із-за недостатньої надійності механізму приводу робочого органу у коливальний рух. А тому, з вище наведених розрахунків випливає, що для того, щоб забезпечити нормальний режим протікання процесу вібраційного викопування коренеплодів при швидкості поступального руху копача  $V_{\Pi}=2,0$  м/с і частоті коливань робочого органу  $\nu=10$  Гц необхідно мати такі співвідношення між геометричними параметрами робочого органу, які б забезпечили довжину кінця робочого русла копача (відстань від точки першого контакту робочого органу з коренеплодом до кінця робочого русла)  $l \geq 0,2$  м. В протилежному випадку, при швидкості  $V_{\Pi}=2,0$  м/с, режим вібраційного викопування буде порушено. Як сказано у [9], емпірично встановлено, що збільшення амплітуди коливань робочого органу викликає



більший технологічний ефект, ніж збільшення частоти (амплітуда зросла від 8...14 мм до 20 мм у вібраційних органах бурякозбиральних машин Європи), однак необхідно враховувати і значення мінімальної частоти для забезпечення нормального режиму протікання процесу вібраційного викопування коренеплодів цукрового буряку.

#### **Висновки**

1. Знайдена аналітична залежність між кількістю коливань, яку здійснить робочий орган за час перебування коренеплоду у зоні задньої частини робочого русла копача, частотою коливань робочого органу, довжиною задньої частини робочого русла та швидкістю поступального руху копача з умов забезпечення нормального протікання процесу вібраційного викопування коренеплодів цукрового буряку.

2. Визначені мінімально допустимі частоти коливань робочого органу для конкретної швидкості поступального руху копача і довжини задньої частини робочого русла, при яких можливий хоча б один захват кожного коренеплоду вібраційним робочим органом при русі копача по рядку коренеплодів цукрового буряку.

#### **Література**

1. Василенко П.М., Погорельый 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., Войтюк Д.Г. Теорія вібраційного викопування коренеплодів. – Збірник наукових праць Національного аграрного університету “Механізація сільськогосподарського виробництва”, 2003, Том XIV. – С. 34-86.

3. Булгаков В.М., Головач І.В., Войтюк Д.Г. Теорія поперечних коливань коренеплоду при вібраційному викопуванні. – Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Випуск 18. Мелітополь, 2004. – 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: Збірник наукових праць. Випуск 39. Харків: ХНТУСГ, 2005. – 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: Збірник наукових праць. Випуск 44, том 2. Харків: ХНТУСГ, 2006. – 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: Збірник наукових праць. Випуск 44, том 2. Харків: ХНТУСГ, 2006. – С. 77-100.

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

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