

УДК 631.356.2  
© 2015

**С.П. СОКОЛ,**  
кандидат технічних наук

Дніпропетровський державний  
аграрно-економічний університет,  
Україна  
E-mail: info@dsau.dp.ua

**ВИКОПУВАННЯ  
КОРЕНЕПЛОДІВ  
УДОСКОНАЛЕНИМ КОПАЧЕМ  
ВІБРУЮЧОЇ ДІЇ**

*Запропоновано математичну модель процесу вібраційного викопування коренеплодів. Передбачено режим вібрації, за якого забезпечується прискорений вихід коренеплоду з ґрунту, що дає можливість зменшити довжину лемеша і слугує додатковим фактором зниження тягового опору при викопуванні.*

**Ключові слова:** коренеплід, ґрунт, викопування, робочий орган, леміш (клин), опір, вібрація.

Останнім часом вібраційні машини та вібраційні робочі органи набувають широкого використання в різних галузях виробництва, у тому числі й в сільськогосподарському машинобудуванні [1–6]. У наукових літературних джерелах надається загальний підхід до розрахунку і проектування вібраційних машин, відмічаються переваги взаємодії активного робочого органа із середовищем, що піддається обробці, проте причини цих переваг не завжди достатньо з'ясовані. У роботі [7] розглянута можливість зниження тягового опору з використанням вібрації робочого органа на прикладі клина (лемеша) як складової і основної частини вдосконаленого копача коренеплодів, що має форму скоби [8]. Математична модель різання ґрунту клином, що рухається рівномірно в горизонтальному напрямку, наведена в роботі [9]. Автори для аналізу відносного руху об'єму ґрунту, що взаємодіє з клином, застосовують теорему Ейлера для суцільного середовища, що дало можливість визначити сили, які виникають в системі "клин-ґрунт".

Однак вплив вібрації на процес видалення коренеплоду з ґрунту, а також характер вібрації залишається не до кінця з'ясованими. Тому **метою роботи** наших досліджень було створення математичної моделі процесу вібраційного викопування та надання рекомендацій щодо його практичного застосування.

Дослідження взаємодії вібруючого клина з ґрунтом проведено за розрахунковою схемою, наведеною на рис. 1. Схема передбачає, що клин, рухаючись в горизонтальному напрямку, здійснює ще й гармонійні коливання в напрямку осі  $OY$ . Прийнято припущення, що за незначної амплітуди коливань ( $a = 2 \dots 3$  мм) і достатньої високої частоти  $\omega$ , яку можна реалізувати, виходячи з технічних і економічних можливостей, підрізаний шар ґрунту не буде здійснювати коливань разом з клином, а в підрізаному стані отримуватиме імпульсні поштовхи знизу, в напрямку осі  $OY$ . Відносно (уздовж) вібруючої поверхні ґрунт буде рухатися з такою ж відносною швидкістю, як і по поверхні клина, коливання якого відсутні. Аналітичні дослідження підтвердили, що за один період коливання клин тільки незначну частину цього часу буде перебувати в контакті з підрізаним шаром ґрунту і тільки в цей час виникає опір переміщенню, який є суттєво меншим, ніж у випадку руху "пасивного" клина.

Розглянемо, як впливає вібрація клина на викопування коренеплоду. Враховуючи, що масив ґрунту на клині знаходиться в об'ємі, замкненому з боків стояками скоби, а попереду і позаду – ґрунтом, який з клином безпосередньо не взаємодіє, висновки, що отримані на основі гіпотези твердого тіла, можна поширити на випадок однорідного вологого піщаного ґрунту або пластичного глинистого.

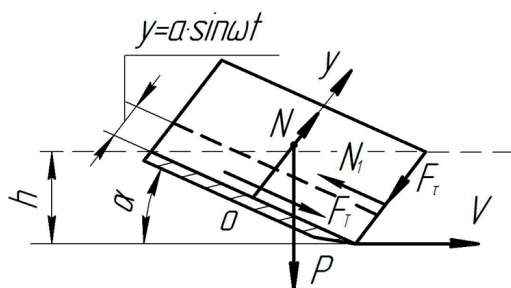


Рис. 1. Схема взаємодії ґрунту з віброуючим клином

Реальний ґрунт частіше являє собою неоднорідне середовище, яке формувалося погодно-кліматичними умовами, верхній шар його змінювався, ущільнюючись, у процесі зростання в ньому коренеплідів. Неважко передбачати, що під дією вібраційних поштовхів від клина нижня частина масиву ґрунту буде ущільнюватися, а вся інша розкришуватиметься. В'язі між окремими агрегатними частинами і коренеплідом будуть при цьому руйнуватися, що покращує його умови видалення на денну поверхню. На початку викопування коренеплід підрізується клином і при вібрації з кожним поштовхом клина, як суцільне тіло, буде рухатися в напрямку вібрації, все більше виштовхуючись з ґрунту, який розкришується. Якщо клин має достатню довжину, то коренеплід після виходу із скоби повністю звільниться від взаємодіючого з ним ґрунту. Такого висновку можна дійти, розглядаючи рух масиву ґрунту на клині і рух буряку після отриманого поштовху від клина (рис. 2).

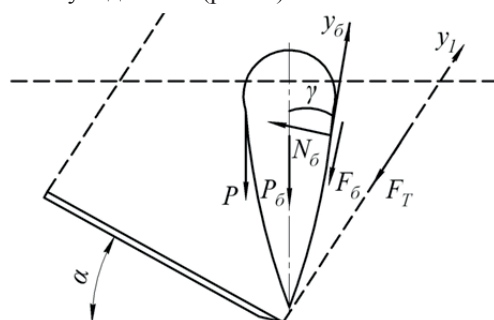


Рис. 2. Схема сил, що діють на коренеплід, та масив ґрунту на клині після поштовху від клина

Теоретично вихід коренеплоду на денну поверхню можна поділити на два етапи. На першому етапі ґрунт і коренеплід, зазнавши поштовху від клина знизу, набувають однакової швидкості в напрямку вібрації клина

$$V_0 = a \cdot \omega + V \sin \alpha \quad (1)$$

де  $a\omega$  – максимальна відносна швидкість клина;  $V$  – швидкість трактора.

Як показує досвід експлуатації клина, розкришений ґрунт не уникає поштовху, а, інтенсивно гальмуючись силами сколювання  $F_T$  за одне коливання, реально переміщується в напрямку коливань на відстань

$$\Delta y = a + V \cdot 0.25T \sin \alpha \quad (2)$$

Після поштовху буряк може відокремитися від масиву, який стримується силою  $F_T$  на лінії сколювання. Диференціальне рівняння руху буряку вздовж осі  $y_0$  матиме вигляд

$$m_0 \ddot{y}_0 = -P_0 \cos \gamma - F_0 \quad (3)$$

де  $F_0$  – сила тертя; її визначимо за рівнянням

$$F_0 = f \cdot N_0 = f \cdot P_0 \sin \gamma \quad (4)$$

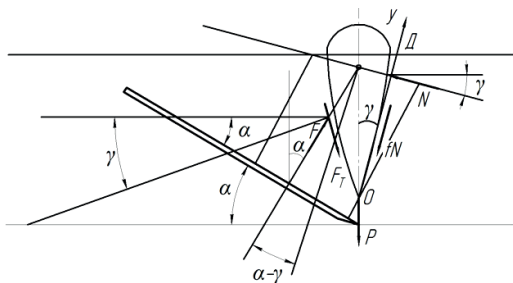
Тоді  $m_0 \ddot{y}_0 = -P_0 \cos \gamma - f \cdot P_0 \sin \gamma$ , що дає можливість розраховувати переміщення коренеплоду за час, протягом якого клин здійснить нове коливання, після якого і відбудеться наступний поштовх.

На другому етапі викопування вихід коренеплоду відбувається завдяки поштовхам, які забезпечуються не підрізаючим клином, а ґрунтом. Для цієї ситуації умовна схема сил, що діють на буряк, представлена на рис. 3. Динамічний тиск ґрунту на буряк визначимо як

$$F = \frac{\gamma_{об}}{g} \cdot S_{np} \cdot V_k^2, \quad (5)$$

де  $\gamma_{об}$  – питома вага ґрунту;  $S_{np}$  – площа проєкції буряку на площину клина;  $V_k$  – швидкість клина в напрямку вібрації.

Нормальна реакція  $N$ , Кулонове тертя  $F_T$  та динамічний тиск  $F$  умовно показані на рис. 3. Ці сили реально розподілені по всій бічній поверхні буряку, який приймається за конус діаметром  $d$ , висотою  $h$  і конусністю  $\gamma$ . Надалі сили  $F_T$  і  $N$  будемо вважати рівнодійними динамічного тиску на буряк від клина (зліва на буряк) і реактивного тиску ґрунту на буряк справа. Під дією сил  $F$  і  $N$  буряк буде виштовхуватися, при цьому виникати-



**Рис. 3. Схема сил, що діють на коренеплід за вібраційного викопування**

муть сили тертя  $F_T$  і нормальної реакції  $N_T$ , які визначимо так:

$$N_T = f \cdot N; F_T = f \cdot F \cos(90^\circ - \alpha - \gamma). \quad (6)$$

Приймаючи, що при викопуванні буряк буде рухатися вздовж лінії розглянемо рівновагу сил в напрямку дії сили  $N$ .

$$N - F \sin(\alpha - \gamma) - F_T \sin 2\gamma - P \sin \gamma = 0, \quad (7)$$

або, враховуючи формулу (6), знайдемо  $N = F[\sin(\alpha - \gamma) + f \cos(90^\circ - \alpha - \gamma) \sin 2\gamma] + P \sin \gamma$ . Диференціальне рівняння руху буряку в напрямку осі  $OY$  набуде вигляду

$$m\ddot{y} = F \cos(\alpha - \gamma) - P \cos \gamma - fN - F_T \cos 2\gamma \quad (8)$$

При визначенні сили  $F$  будемо враховувати, що клин у разі взаємодії з ґрунтом має швидкість

$$\dot{y} = a \cdot \omega (\cos \omega t) + V \sin \alpha,$$

$$\text{тоді } F = \frac{\gamma_{об}}{g} S_{np} [a \cdot \omega (\cos \omega t) + V \sin \alpha]^2. \quad (9)$$

Інтегрування рівняння (8) з урахуванням виразів (7) і (9) дає можливість отримати переміщення коренеплоду за один поштовх, що передається ґрунтом. Як витікає з наведених викладок, вібрація клина в напрямку, перпендикулярному до його поверхні, забезпечує, крім підйому шару ґрунту на задану висоту, ще й виштовхування з нього коренеплоду на денну поверхню.

Отже, клин, який здійснює коливання, викопуватиме коренеплід швидше, ніж клин пасивний, а його довжина може бути зменшеною. За такої зміни конструкції робочий орган буде взаємодіяти з меншим об'ємом ґрунту, внаслідок чого знизиться опір його переміщенню. Запропонована математична модель процесу вібраційного викопування коренеплодів дозволяє за заданими характеристиками коливань раціонально змінювати геометричні характеристики удосконаленого копача коренеплодів, що має форму скоби, зокрема зменшувати довжину підрізаючого лемеша. Наслідком такої зміни є додаткове зниження тягового опору копача, що має форму скоби, при викопуванні коренеплодів.

### Бібліографія

1. Булгаков В.М. Використання вібраційних робочих органів при викопуванні коренеплодів цукрових буряків / В.М. Булгаков // Вісник аграрної науки. – 2004. – № 2. – С. 40–45.
2. Машини та технологічне обладнання вібраційної дії (теорія і розрахунок): навч. посібник / [Калетник Г.М., Булгаков В.М., Паламарчук І.П. та ін.]. – К.: Хай-Тек Прес, 2013. – 280 с.
3. Верняев О.В. Активные рабочие органы культиваторов / О.В. Верняев. – М.: Машиностроение, 1983. – 80 с.
4. Максимов П.Л. Новые рабочие органы и машины для производства корнеклубнеплодов / П.Л. Максимов, Л.М. Максимов. – Ижевск, 2002. – 80 с.
5. Головач І.В. Механіко-технологічне обґрунтування вібраційного викопування коренеплодів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук / І.В. Головач. – К., 2011. – 49 с.
6. Закалов І.О. Розробка конструкції і обґрунтування параметрів коливних викопуючих органів

лемішного типу бурякозбиральних машин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / І.О. Закалов. – Тернопіль, 2001. – 20 с.

7. Кобець А.С. Математична модель взаємодії ґрунту з віброуючим клином, та визначення кінематичних характеристик вібрації при викопуванні коренеплодів / А.С. Кобець, М.М. Науменко, С.П. Сокол // Вісник Харківського нац. техн. ун-ту с.г. ім. П. М. Василенка. – Харків, 2010. – Вип. 93, т. 1. – С. 143–148.

8. Пат. № 56385 Україна, МПК А01D 25/00. Викопувальний орган коренезбиральної машини / Кобець А.С., Науменко М.М., Кобець О.М., Сокол С.П., Пугач А.М.; Дніпропетровський ДАУ. – № u2010 08527; заявл. 08.07.2010; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.

9. Математична модель взаємодії рухомого клина з ґрунтом / А.С. Кобець, М.М. Науменко, С.П. Сокол, А.М. Пугач // Наук. вісник НУБіП України. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 1. – С. 43–50.

Рецензент – доктор технічних наук, професор С.С. Тищенко