



УДК 631.363

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КУЛЬКОВИХ ОЧИСНИКІВ УДАРНОЇ ДІЇ ПРИ КАЛІБРУВАННІ НАСІННЯ ПЛОДОВИХ КІСТОЧКОВИХ КУЛЬТУР**

Караєв О.Г., к.т.н.,

*Інститут зрошуваного садівництва ім. М.Ф. Сидоренка УААН*

Тел. (06192) 42-24-36

Бондаренко Л.Ю., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (06192) 42-24-36

**Анотація** - наведено математичну модель оптимізації параметрів кулькових очисників решіт із випадковим рухом робочих органів за рахунок мінімізації часу вибивання застряглого насіння з отвору. Одержано залежності впливу параметрів кулькових очисників на енергію вибивання застряглого насіння.

**Ключові слова** – кулькові очисники решіт, ефективно вибивання, калібрування, посівний матеріал, моделювання процесу.

*Постановка проблеми.* Процес розділення насіння сільськогосподарських культур на фракції за допомогою плоских решіт відбувається якісно за умови, коли в отворах решіт якнайменше застряглого насіння. Найбільш ефективними і економічно вигідним пристроєм для очищення решіт є використання кулькових очисників ударної дії. У зв'язку з тим, що насіння плодкових кісточкових культур значно відрізняється за формою і розмірами від насіння сільськогосподарських культур, то виникає задача обґрунтування параметрів роботи кулькових очисників, які б забезпечили якісне очищення отворів решіт від застряглого насіння.

*Аналіз останніх досліджень.* Фундаментальні дослідження з визначення параметрів роботи кулькових очисників викладені у працях [1-11], у яких розглядається процес очищення решіт за рахунок удару кульки безпосередньо по насінню, що заклинило в отворах решіт. При цьому вважалося, що ймовірність вибивання застряглого насіння є відомою величиною. Адаже така ймовірність є залежною від геометричних параметрів кулькових очисників та кінематичних параметрів установки. Тому виникає необхідність в розробці моделі оптимізації, яка дозволяє мінімізувати математичне очікування часу вибивання

насіння з отвору і отримати оптимальні параметри кулькових очисників.

*Формулювання цілей статті.* Розробити математичну модель оптимізації параметрів кулькових очисників установки для калібрування насіння плодкових кісточкових культур, які б забезпечили ефективне вибивання застряглої насіння з отворів решіт в процесі їх роботи, за рахунок мінімізації математичного очікування часу вибивання кісточки з отвору.

*Основна частина.* Для побудови математичної моделі оптимізації геометричних параметрів кулькових очисників умовно розіб'ємо один повний цикл руху кульки в підрешітному просторі на такі стадії: удар об решето; вільне падіння в полі сил тяжіння; удар об поверхню прутка; підйом до решета (рис. 1).

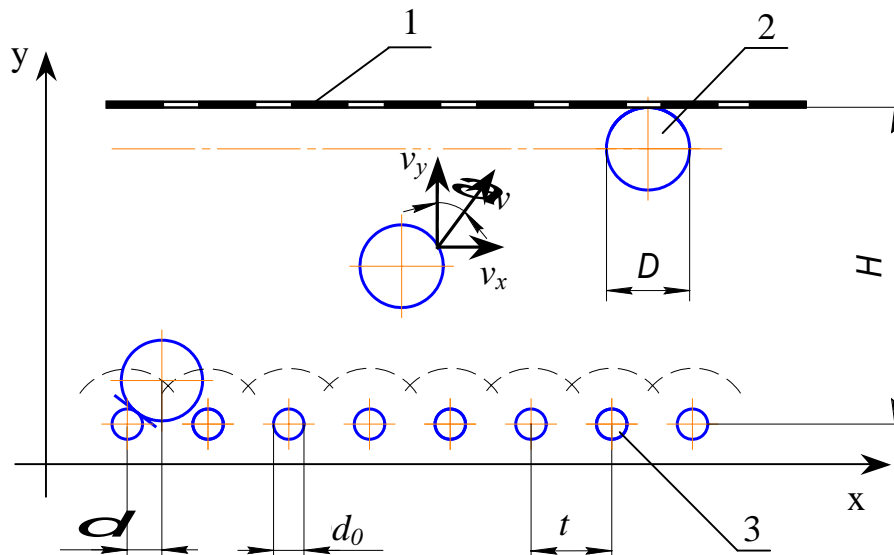


Рис. 1 - Розрахункова схема параметрів кулькового очисника: 1 – сортувальне решето; 2 – гумова кулька; 3 – пруток;  $D$  – діаметр кульки;  $H$  – висота підрешітного простору;  $t$  – відстань між прутками;  $d_0$  – діаметр прутка.

Режими роботи установки, повинні бути такими, щоб надати кульці енергію, необхідну для вибивання кісточок, що застрягли в отворах решета. Значення цих параметрів приймемо як середні для зерноочисних і сортувальних машин: (частота коливання решітної частини  $\omega=48,2\text{c}^{-1}$ , амплітуда коливань  $A=0,01\text{м}$ ).

Розробку моделі здійснено із урахуванням таких припущень:

1. Зміщення кульки відносно прутка  $\delta$  – стохастична величина, розподілена рівномірно на відрізку  $[0;t/2]$ .

2. Фаза коливання  $\tau$  у момент зіткнення кульки з прутком – стохастична величина, розподілена рівномірно на відрізку  $[0;2\pi/\omega]$ .

3. Модуль швидкості  $v$  кульки безпосередньо перед ударом об решето є випадковою величиною з функцією розподілу  $f(v)$ .

4. Кут відхилення швидкості перед ударом об решето  $\alpha$  розподілений приблизно нормально, при цьому  $3\sigma = \pi/2$  ( $90^0$ ).

Вважатимемо, що після усталеного процесу руху кожна з кульок при підйомі до решета має горизонтальну і вертикальну складові швидкості.

Швидкість кульки на початку руху має такі складові

$$(v_{0x}, v_{0y}) = (v_0 \sin \alpha, v_0 \cos \alpha). \quad (1)$$

При ударі об решето горизонтальна складова швидкості кульки у середньому зберігається, а вертикальна перетворюється як при частково пружному ударі, тому швидкість кульки в момент удару об решето має такі складові

$$(u_{1x}, u_{1y}) = (v_{0x}, -k \cdot v_{0y}), \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт відновлення швидкості кульки після удару.

Швидкість кульки наприкінці падіння

$$(u_{2x}, u_{2y}) = \left( v_0 \sin \alpha - A\omega \cos \omega \tau - \sqrt{k^2 v_0^2 \cos^2 \alpha + g(2H - D - \sqrt{(d_0 + D)^2 - 4\delta^2})} \right). \quad (3)$$

Швидкість кульки після удару об прутки

$$(u_{3x}, u_{3y}) = (|u_3| \sin \theta, |u_3| \cos \theta), \quad (4)$$

де  $\theta$  - кут між напрямком швидкості після удару об прутки та вертикаллю.

Швидкість при підйомі до решета

$$(v_{1x}, v_{1y}) = \left( u_{3x} + A\omega \cos \omega \tau, \begin{cases} \sqrt{u_{3y}^2 - g(2H - D - \sqrt{(d_0 + D)^2 - 4\delta^2})}, \\ u_{3y} > \sqrt{g(2H - D - \sqrt{(d_0 + D)^2 - 4\delta^2})}; \\ 0, & u_{3y} \leq \sqrt{g(2H - D - \sqrt{(d_0 + D)^2 - 4\delta^2})} \end{cases} \right) \quad (5)$$

Звідки маємо, що швидкість кульки після повного циклу задається стаціонарною функцією від параметрів  $(v_0, \alpha, \delta, \tau)$

$$v_1 = \sqrt{v_{1x}^2 + v_{1y}^2} = F(v_0, \alpha, \delta, \tau). \quad (6)$$

Для знаходження функції розподілу  $f(v)$  досить відмітити, що вона задовольняє:

- інтегральному рівнянню

$$f(v_1) = \int_0^{+\infty} R(v_1, v_0) f(v_0) dv_0, \quad (7)$$

де  $R(v_1, v_0)$  – щільність розподілу величини  $v_1$  після повного циклу за умови, що швидкість на початку циклу дорівнює  $v_0$ .

$$R(v_1, v_0) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \zeta(\alpha) \frac{\int_{U_t} \left( \sum_i \left| \frac{\partial}{\partial v_1} H_i(v_0, \alpha, v_1, \tau) \right| \begin{matrix} v_1 \in D(H_i(v_0, \alpha, v_1, \tau)) \\ v_1 \notin D(H_i(v_0, \alpha, v_1, \tau)) \end{matrix} \right) d\tau}{\iint_{U_\delta \times U_t} \mu(v_0, \alpha, \delta, \tau) d\tau d\delta} d\alpha; \quad (8)$$

- умові нормування

$$\int_0^{+\infty} f(v_0) dv_0 = 1. \quad (9)$$

Знаходження такої функції проведено чисельними методами. Припустимо, що час повного циклу руху кульки коливається навколо деякої середньої величини, для чого визначимо:

- середню швидкість кульки у поверхні решета на початку циклу

$$\hat{v} = \int_0^{+\infty} v f(v) dv; \quad (10)$$

- середній шлях кульки при падінні

$$\hat{L} = H - D/2 - \left( \frac{1}{4} \sqrt{(d_0 + D)^2 - t^2} + \frac{(d_0 + D)^2}{4t} \operatorname{arctg} \frac{t}{\sqrt{(d_0 + D)^2 - t^2}} \right); \quad (11)$$

- тривалість часу проходження кулькою половини циклу при умові, що вертикальна складова швидкості кульки на початку циклу була  $v_y$

$$t_0 = \frac{2}{g} (\sqrt{v_y^2 + 2g\hat{L}} - v_y). \quad (12)$$

Тоді при умові, що початкова швидкість дорівнює  $\hat{v}$ , середній час руху кульки у повному циклі визначиться за формулою

$$\hat{t}_0 = \frac{4}{g} \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(\alpha) (\sqrt{(\hat{v} \cos \alpha)^2 + 2g\hat{L}} - \hat{v} \cos \alpha) d\alpha. \quad (13)$$

Ймовірність того, що за один цикл кулька виб'є кісточку обчислюється за формулою

$$P = nS \cdot \left( 1 - \int_0^{\sqrt{\frac{12E}{\pi \rho D^3}}} f(v) dv \right), \quad (14)$$

де  $E$  – енергія кульки, необхідна для вибивання кісточки з отвору;

$\rho$  - щільність матеріалу кульки ( $\text{кг/м}^3$ ).

Тоді математичне очікування часу вибивання кісточки дорівнюватиме

$$\hat{T} = \hat{t}_0 \sum_{i=1}^{\infty} iP(1-P)^{i-1} = \frac{\hat{t}_0}{P} = \frac{1}{nS} \frac{\hat{t}_0}{\sqrt{\frac{12E}{\pi\rho D^3}}} \rightarrow \min. \quad (15)$$

$$1 - \int_0^{\hat{t}_0} f(v)dv$$

Таким чином, для отримання оптимальних параметрів кулькових очисників достатньо мінімізувати функцію (15) із застосуванням по координатного методу пошуку мінімуму.

Функція (15) залежить також від енергії вибивання  $E$ , яка може бути розрахована за формулою

$$E = \frac{2F \cdot h}{3}, \quad (16)$$

де  $F$  - сила зчеплення кісточки з крайкою отвору (прийmemo в середньому для всіх кісточок  $F \approx 2\text{Н}$ );

$h$  - величина контакту кісточки з отвором, мм (прийнято дві товщини решета, тобто  $h = 0,0028$  мм).

Тоді згідно з (16) енергія кульки, що необхідна для вибивання застряглого насіння  $E = 1,867 \cdot 10^{-3}$  Дж  $\approx 2\text{мДж}$ .

Для визначення меж оптимальних значень параметрів кулькового очисника побудовано графіки щільності розподілу енергії кульки при різних значеннях параметрів за допомогою розробленого програмного забезпечення (рис. 2 – 4).

Обчислення проводились при значеннях:  $k = 0,7$ ;  $\omega = 48,2 \text{ с}^{-1}$ ;  $A = 0,01\text{м}$ ;  $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$ . На графіках вертикальною лінією позначено межу області енергій, при яких в середньому відбувається вибивання кісточки з отвору.

Із графіків видно, що при  $D < 25$  мм і  $t < 0,4 \cdot D$  процес вибивання кісточки з отвору практично не відбувається, тому що енергії кульки буде недостатньо. Отримані залежності визначають області оптимальних значень параметрів кулькового очисника, а саме:

1) діаметр кульки належить до інтервалу 25 - 35 мм (практичні обчислення показали, що при діаметрах, менших за 25 мм енергія кульки є надто малою);

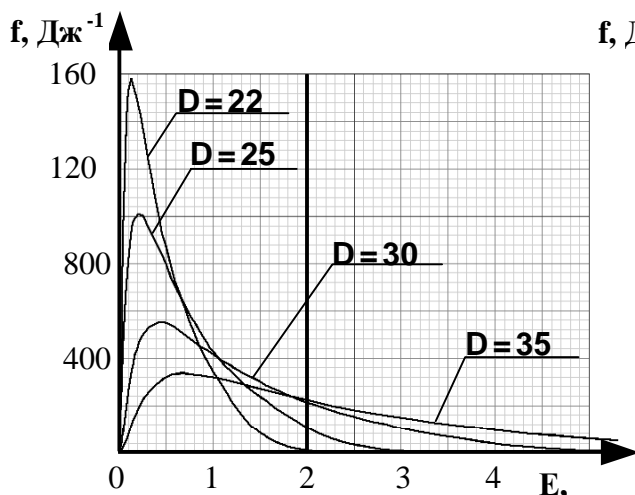


Рис. 2. Щільність розподілу енергії кульки в залежності від її діаметра (при  $t = 0,7D$ ;  $H = 1,2D$ ).

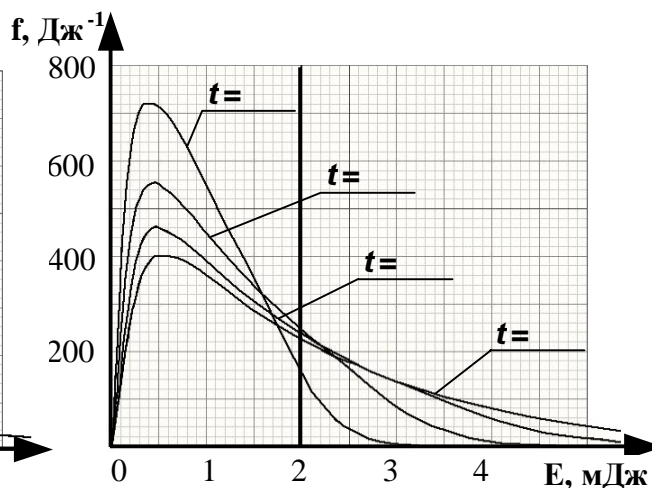


Рис. 3. Щільність розподілу енергії кульки в залежності від відстані між прутками (при  $D = 0,033\text{м}$ ;  $H = 1,2D$ ).

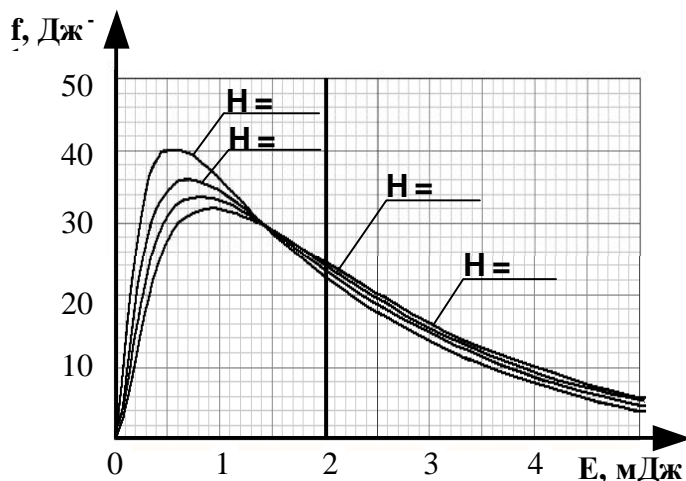


Рис. 4. Щільність розподілу енергії кульки в залежності від висоти підрешітного простору (при  $D = 33\text{ мм}$ ;  $t = 0,7D$ ).

2) згідно з [2], інтервал значень для висоти підрешітного простору є залежним від діаметра кульки і повинен складати  $H = (1,2-1,4)D$ .

3) інтервал значень для відстані між прутками визначено, враховуючи, що він повинен бути не більше ніж  $0,7D$  (в протилежному випадку стає істотним явище багатократного удару кульки о прутки) і не менше ніж  $0,5 \cdot D$  (згідно отриманих залежностей). Прийнято  $t \approx (0,5-0,7) \cdot D$ .

Як метод пошуку мінімуму функції однієї змінної застосовано метод золотого перерізу. Цей метод збігається повільніше, ніж градієнтні методи, але не потребує неперервної диференційованості функції.

Оптимізацію функції (15) було проведено за допомогою розробленої програми та отримано такі оптимальні параметри кулькового очисника: діаметр кульки  $D = 33\text{ мм}$ ; відстань між прутками  $t = 23\text{ мм}$ ; висота підрешітного простору  $H = 40\text{ мм}$ .

*Висновки.* Встановлено, що для вибивання застряглого насіння з отвору кінетична енергія кульки повинна бути не менша, ніж  $E = 2$  мДж (для кісточок абрикоса та мигдалю).

Отримано рівняння щільності розподілу швидкості та енергії кульок при ударі об решето, та встановлено, що енергія кульки істотно залежить від діаметра кульки  $D$ , відстані між прутками  $t$  та висоти підрешітного простору  $H$ .

Визначено, що для оптимізації геометричних параметрів кулькового очисника достатньо застосувати алгоритм пошуку мінімуму функції трьох змінних, яка є функціоналом від щільності розподілу швидкості кульки. Фізична суть введеної цільової функції полягає в тому, що вона є оцінкою математичного очікування часу вибивання застряглого насіння з отвору решета.

*Література.*

1. *Півень М.В.* Обґрунтування параметрів процесу решітного сепарування зернових сумішей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / *М.В. Півень*; Харків. нац. техн. ун-т сільського господарства – Харків, 2006. – 21 с.
2. *Заика П.М.* Динамика вибрационных зерноочистительных машин / *П.М. Заика*. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
3. *Файбушевич Г.З.* Исследование забиваемости решет зерноочистительных машин / *Г.З. Файбушевич* // *Механиз. и электриф. соц. с/х.* – 1965. – №2. – С.39.
4. *Файбушевич Г.З.* Очистка вибрационных решет / *Г.З. Файбушевич* // *Техника в сельском хозяйстве.* – 1964. – № 8. – С. 75-78.
5. Шариковая очистка решет, совершающих горизонтальные колебания / *П.М. Заика, В.Ф. Ридний, А.В. Миняйло, Н.В. Слоновский* // *Динамические процессы и надежность машин*; МИИСП. – М.; 1977. – Т. XIV. – Вып. 12. – С. 68-75.
6. К вопросу о забиваемости вибрационных зерноочистительных решет / *П.М. Заика, Н.В. Слоновский, В.Ф. Ридний, А.В. Миняйло* // *Вісник сільськогосподарської науки.* – 1969. – № 8. – С.92-100.
7. *Заика П.М.* Периодический режим движения рабочего органа шарикового очистителя вибрационного решета / *П.М. Заика, В.Ф. Ридний, А.В. Миняйло* // *Применение новейших математических методов и вычислительной техники в решении инженерных задач*; МИИСП. – М., 1977. – Т.14, вып. 10. – С. 46-52 .
8. *Слоновский Н.В.* Параметры расклинивания семян при ударном методе очистки решет вибрационных семяочистительных машин / *Н.В. Слоновский, А.П. Заика* // *Совершенствование конструкции рабочих органов сельскохозяйственной техники: Сб. науч. тр. / Харьк. с-х. ин-т им. В.В. Докучаева.* Харьков, 1988. – С.96-104.

9. *Ридный В.Ф.* Определение параметров шариковых очистителей плоских решет, качающихся в горизонтальной плоскости / *В.Ф. Ридный* // Повышение эффективности и качества работы вибрационных семяочистительных машин; МИИСП. – М.; 1981. – С.55-57.
10. *Ридный В.Ф.* Определение параметров шариковых очистителей плоских вибрационных решет / *В.Ф. Ридный, А.В. Миняйло* // Совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин; МИИСП. – М., 1979. – С.22-25
11. *Загородний О.І.* Наукові основи процесів очищення отворів решіт зерноочисних машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11 / *О.І. Загородний*; Харків.держ. техн. ун-т сільського господарства. – Харків, 2001. – 37с.

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШАРИКОВЫХ  
ОЧИСТИТЕЛЕЙ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ  
КАЛИБРОВАНИИ  
СЕМЯН ПЛОДОВЫХ КОСТОЧКОВЫХ КУЛЬТУР**

*Караев О.Г., Бондаренко Л.Ю.*

*Аннотация* - приведена математическая модель оптимизации параметров шариковых очистителей решет со случайным движением рабочих органов за счет минимизации времени выбивания застрявших семян из отверстия. Получены зависимости влияния параметров шариковых очистителей на энергию выбивания застрявших семян.

**GROUND OF PARAMETERS BALL-SHAPED  
PURIFIERS OF SHOCK ACTION OF ARRANGEMENT FOR  
CALIBRATION SEED OF FRUIT – STONE CULTURES**

*O. Karaev, L. Bondarenko*

*Summary*

The mathematical model of optimization of parameters of ball-shaped purifiers of sieves is resulted with casual motion of workings organs due to minimization of time of beating out seized-up seed from opening. Dependences of influence of parameters of ball-shaped purifiers are got on energy of beating out seized-up seed from opening of sieve.