

В статье приведены методика экспериментальных исследований изменения вылета башенного крана с шарнирно-сочлененной стреловой системой, а также измерительно-регистрирующее оборудование, которое при этом используется.

Эксперимент, исследования, кран, колебания, датчик, усилие, движение, частота вращения.

The paper deals with experimental studies of luffing of articulated jib tower crane and adopted necessary recording and measuring equipment.

Experiment, study, tap, vibration sensor, force, motion, speed.

УДК 631.371

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ КАРТОПЛЕСОРТУВАЛОК

С.В. Смолінський, кандидат технічних наук

В статті приведено аналітичне дослідження процесу сортування бульб картоплі на поверхні картоплесортувалок із побудовою математичної моделі робочого процесу сортування.

Картоплесортувалка, сортування, бульби картоплі.

Постановка проблеми. Картопля – один з найважливіших продуктів в раціоні людей всього світу, але рівень механізації робіт в картоплярстві залишається ще досить не високим, а затрати праці при збиранні, післязбиральній і передпосадковій обробці картоплі – істотні. Важливе значення для отримання високих і стійких врожаїв картоплі є посадка відсортованого на фракції посадкового матеріалу. Крім того, процес сортування картоплі істотно впливає також на якість зберігання бульб. Для механізації післязбиральної обробки врожаю картоплі із сортуванням їх на фракції застосовують картоплесортувалки різних конструктивних схем і фірм виробників.

Основними типами сортувальних поверхонь, якими обладнують картоплесортувалки, є роликова, транспортерна, грохотна та барабанна. Найбільш поширеними робочими органами для сортування бульб картоплі є роликові та транспортерні, а картоплесортувалки для фермерських господарств обладнують

© С.В. Смолінський, 2014

робочими органами барабанного типу. При сортуванні бульб картоплі на фракції може використовуватися також решітчастогвинтовий робочий орган. При цьому сортування бульб картоплі за розмірними характеристиками здійснюється на решітчастій поверхні, що утворена V-подібно встановленими напрямними. Всі типи сортувалок ефективно працюють при попередній підготовці матеріалу до сортування, насамперед, при забезпеченні одношарової подачі на сортувальні поверхні. Крім того, серед перспективних напрямків вдосконалення картоплесортувалок є застосування в їх конструкціях автоматичних пристроїв, що функціонують на основі різних властивостей бульб. Але подібні картоплесортувалки мають високу вартість і складні в обслуговуванні.

Оскільки існує велика кількість різних засобів механізації для сортування картоплі, які внаслідок технічних, технологічних та інших передумов не завжди якісно виконують процес сортування, для вдосконалення існуючих конструкцій та розробки нових технічних пристроїв на даний момент існує потреба в науковому обґрунтуванні робочого процесу картоплесортувалок.

Аналіз останніх досліджень. Проблематиці дослідження технологічного процесу і механізації сортування картоплі присвячені роботи вчених В.П. Горячкина, Е.А. Глухих, Н.Н. Колчина, В.П. Трусова, А.А. Сорокина, Н.П. Настенко, Н.И. Верещагина, Б.М. Юна та інші. Дослідження більшості науковців пов'язані із вибором характеристики бульб, яка дозволила б більш якісно розділити бульби на фракції, або теоретичне і експериментальне дослідження сортування бульб на різних робочих поверхнях сортувалок. Аналіз досліджень вчених свідчать, що жодний геометричний розмір бульби не може бути єдиним при сортуванні.

Останніми п'ятьма роками дослідження картоплесортувалок переважно ґрунтувалися на моделюванні взаємодії бульби із робочим органом із використанням основ кінематики і динаміки твердого тіла (бульба приймалася у формі кулі) з метою обґрунтування параметрів і режимів роботи досліджуваного робочого органу. Орешиним Е.Е. [1] проведено теоретичні і експериментальні дослідження роликowo-дискової сортувальної поверхні. Саврасовою Н.Р. [2] при дослідженні робочого процесу стрічкової картоплесортувалки отримано математичні моделі взаємодії бульб між собою на сортувальній поверхні, що описує процес проходження бульб через шар вороху при опусканні на сортувальну поверхню. Шкляев К.Л. [3] досліджував робочий процес картоплесортувалки роторно-гвинтового типу. При цьому

проаналізовано подачу бульб живильником та рух по поверхні барабана сортувалки.

Дослідженнями німецьких вчених [4] визначено необхідність управління робочим процесом картоплесортувалки на основі математичних моделей процесу і застосуванню мехатронних систем. Ці дослідження мають індивідуальний характер і їх подальше застосування потребує комплексного аналізу. Крім того, процес сортування бульб має випадковий характер, тому необхідно розглядати технологічний процес із застосуванням теорії ймовірності.

Мета досліджень – аналітичне дослідження робочого процесу картоплесортувалок шляхом побудови математичної моделі. Методика досліджень ґрунтується на основах теорії ймовірностей та математичної статистики, враховуючи особливості робочого процесу картоплесортувалки.

Результати досліджень. При розгляді процесу сортування бульб допустимо, що на поверхні робочого органу знаходиться картопляний ворох як суміш бульб із різними розмірно-масовими характеристиками та незначним вмістом домішок (при проведенні дослідження наявністю домішок знехтуємо). Бульби, що знаходиться у воросі, динамічною дією робочого органу (при її наявності) і власної ваги опускаються, безпосередньо контактують із сортувальною поверхнею та рухається по ній. При спів паданні із сортувальним зазором бульба, що відокремилась від вороху, проходить крізь зазор і опиняється за межами сортувальної поверхні. Тому, бульба при русі по сортувальній поверхні перебуває в трьох основних станах: 1) бульба у воросі; 2) бульба проходить через ворох і опиняється безпосередньо на сортувальній поверхні; 3) бульба проходить через зазори сортувальної поверхні і виноситься за межі сортувалки.

При роботі картоплесортувалки на її робочу поверхню подаються бульби I, II та III фракцій із подачею відповідно $q_I = \frac{dm_I}{dt}$, $q_{II} = \frac{dm_{II}}{dt}$, $q_{III} = \frac{dm_{III}}{dt}$. Наявність домішок при цьому виключатимемо. Отже, подача бульб на I ступінь сортування складатиме

$$\frac{dM_0}{dt} = \frac{dm_I}{dt} + \frac{dm_{II}}{dt} + \frac{dm_{III}}{dt}. \quad (1)$$

При проходженні по поверхні I ступені сортування відокремлюватимуться бульби фракції I із інтенсивністю сортування Δq_I . Тоді на II ступінь сортування подаватиметься картопляний ворох із подачею $\frac{dM_I}{dt} = \frac{dm_I}{dt} - \Delta q_I + \frac{dm_{II}}{dt} + \frac{dm_{III}}{dt}$. Після проходження II

ступені, де відокремлюватиметься фракція II із інтенсивністю Δq_{II} , на III ступінь подаватиметься ворох із подачею $\frac{dM_{II}}{dt} = \frac{dm_I}{dt} - q_I + \frac{dm_{II}}{dt} - \Delta q_{II} + \frac{dm_{III}}{dt}$. В більшості випадків III ступінь являє собою перебиральний стіл, де вручну або за допомогою автоматичних пристроїв відокремлюватимуться маточні, гнилі та пошкодженні бульби. Якщо допустити відсутність таких складових, то умова ефективної роботи картоплесортувалки записуватиметься у вигляді виразу:

$$\frac{dm_I}{dt} - \Delta q_I + \frac{dm_{II}}{dt} - q_{II} = 0. \quad (2)$$

або

$$\frac{dm_{III}}{dt} = \frac{dM_0}{dt} - \Delta q_I - \Delta q_{II}. \quad (3)$$

Масові інтенсивності сортування бульб на I ступені - Δq_I та на II ступені - Δq_{II} визначимо на основі рівняння просіювання у вигляді [5]

$$\Delta q_I = \frac{dm_I}{dt} \cdot [1 - e^{-\mu_I X_I}], \quad \Delta q_{II} = \frac{dm_{II}}{dt} \cdot [1 - e^{-\mu_{II} X_{II}}], \quad (4)$$

де μ_I, μ_{II} - інтенсивність просіювання I та II фракції на I та II ступені сортування відповідно.

Найбільш доцільно для опису динаміки сортування скористаємося ймовірнісними рівняннями Колмогорова [6, 7, 8]. Ймовірності розглядатимемо в залежності від узагальненої координати q переміщення матеріалу по сортувальній поверхні (можуть визначатися як лінійною, так і кутовою координатами). Вигляд рівняння Колмогорова для даного процесу матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d}{dq} P_1(q) = -k_{12} P_1(q), \\ \frac{d}{dq} P_2(q) = k_{12} P_1(q) - k_{23} P_2(q), \\ \frac{d}{dq} P_3(q) = k_{23} P_2(q), \end{cases} \quad (5)$$

де $P_1(q), P_2(q), P_3(q)$ - ймовірність знаходження бульби у відповідному стані. При чому, для певного моменту часу $P_1 + P_2 + P_3 = 1$; $P_{12}(q), P_{23}(q)$ - ймовірність переходу бульби із одного в інший стан; k_{12}, k_{23} - інтенсивності переходів бульб із одного в інший стани.

На значення ймовірностей переходу бульб із одного в інший стан істотний вплив мають розмірно-масові характеристики бульб (ймовірність знаходження бульб у відповідному розмірному інтервалі) та їх форма (ймовірність переходів досить висока для круглих бульб, дещо нижча - для бульб еліпсоїдної форми і найнижча - для бульб неправильної форми).

Для визначення інтенсивності переходів бульб із одного в інший стан k_{12}, k_{23} доцільно розглянути динаміку проходження бульб крізь ворох (тобто, опускання на сортувальну поверхню) та взаємодію бульби із сортувальною поверхнею і проходження через зазор у цій поверхні. Ці задачі знайшли часткове рішення у роботах П.М. Заїки, О.І. Завгороднього та інших щодо сортування зерна.

Повна ймовірність проходження бульби певного розміру із урахуванням взаємодії із іншими бульбами, фракційного складу вороху та форми бульб складатиме:

$$\begin{aligned} P_2 &= P_F \cdot P(D_I^{MIN} < D_I < D_I^{MAX}) \cdot P_{12}(q), \\ P_3 &= P_F \cdot P(D_{II}^{MIN} < D_{II} < D_{II}^{MAX}) \cdot P_{23}(q), \end{aligned} \quad (6)$$

де P_F – умовна ймовірність відповідності бульби кулястій формі; $P(D_I^{MIN} < D_I < D_I^{MAX}), P(D_{II}^{MIN} < D_{II} < D_{II}^{MAX})$ – умовна ймовірність відповідності розміру бульб I і II фракцій розмірам зазорів сортувальної поверхні.

При цьому, розподіл бульб за формою (по коефіцієнту форми F , який застосував вперше академік В.П.Горячкін [9]) та розмірами описуватиметься згідно закону нормального розподілу рівняннями

$$\begin{cases} Y_F = \frac{1}{\sigma_F \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\bar{F}-F)^2}{2\sigma_F^2}}, \\ Y_{D_I} = \frac{1}{\sigma_{D_I} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{D}-D_I)^2}{2\sigma_{D_I}^2}}, \\ Y_{D_{II}} = \frac{1}{\sigma_{D_{II}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{D}_{II}-D_{II})^2}{2\sigma_{D_{II}}^2}}, \end{cases} \quad (7)$$

Система отриманих виразів (1)-(7) є узагальненою математичною моделлю процесу сортування бульб. При аналізі даної системи стає можливим дослідження впливу різноманітних факторів: властивостей бульб, режимів роботи сортувалок, подачі тощо на якість сортування різними типами машин, а також оперативне керування їх робочим процесом.

Висновок. На основі проведеного аналізу встановлено, що робочий процес картоплесортувалок являє собою послідовне розділення компонентних сумішей із різним фракційним складом. Враховуючи варіації властивостей вороху, що подається на поверхню картоплесортувалок, найбільш доцільно розглядати сортування як випадковий процес. В результаті проведених досліджень побудовано математичну модель робочого процесу картоплесортувалок на основі теорії ймовірності та математичної статистики.

Список літератури

1. Орешкин Е.Е. Повышение эффективности сортирования картофеля путем оптимизации параметров и режимов работы роликово-дисковой сортирующей поверхности / Е.Е. Орешкин // Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2009. – 18 с.
2. Саврасова Н.Р. Совершенствование процесса калибрования картофеля на основании моделирования работы ленточного сортирующего устройства / Н.Р. Саврасова // Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Челябинск, 2011. – 25 с.
3. Шкляев К.Л. Обоснование параметров и режимов работы сортировки клубней картофеля роторно-винтового типа / К.Л. Шкляев // Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Киров, 2011. – 19 с.
4. Hoppe U. Innovative Ansätze zur Verbesserung des Nachernte-Sortierprozesses von Kartoffeln / U. Hoppe, M. Huesing, B. Corves // VDI-Landtechniktagung, 2004. – P. 114–119.
5. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.
6. Алферов Г.С. Динамика сепарации почвы в корнеклубнеуборочных машинах. / Г.С. Алферов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №5. – С. 27–32.
7. Вентцель Г.С. Теория вероятностей / Г.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – С. 34.
8. Скороход А.В. Елементи теорії ймовірностей та випадкових процесів / А.В. Скороход. – К.: Вища школа, 1975. – 295 с.
9. Горячкин В.П. О сортировании картофеля / В.П. Горячкин // Полное собрание сочинений в 3 томах. Т.3. – М.: Колос, 1965. – С. 190–202.

В статье проведено аналитическое исследование процесса сортировки картофеля на поверхности картофелесортировки с построением математической модели рабочего процесса сортирования.

Картофелесортировка, сортирование, клубни картофеля.

There are described in paper the results of analytic research of potatoes sorting as mathematical model.

Potatoes sorter, sorting, potatoes tuber.

УДК 621.87

СТІЙКІСТЬ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ВІЗОК-ВАНТАЖ ЗА ОПТИМАЛЬНОГО ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ РУХУ

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
О.Г. Шевчук, магістр***

© В.С. Ловейкін, О.Г. Шевчук, 2014