
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 631.361.8

DOI: 10.31521/2313-092X/2020-2(106)-11

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИН ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ НАСІННЕВОЇ МАСИ ОВОЧЕ-БАШТАННИХ КУЛЬТУР

В. С. Шебанін, доктор технічних наук, професор, академік НААН

ORCID ID: 0000-0002-0391-396X

І. П. Атаманюк, доктор технічних наук, професор

ORCID ID: 0000-0002-8127-6193

О. А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

ORCID ID: 0000-0001-6006-6931

Н. А. Доценко, кандидат технічних наук, доцент

ORCID ID: 0000-0003-1050-8193

Миколаївський національний аграрний університет

Для визначення оптимальних параметрів машин для виділення насінневої маси овоче-баштанних культур представлено метод моделювання, в основу якого покладено нелінійний канонічний розклад випадкового вектора. Представлено блок-схему процедури обчислення параметрів канонічного розкладання. Метод математичного моделювання апробований при дослідженні технологічного процесу відділення насіння дині на експериментальній установці. Представлено математичні моделі третього порядку для чистоти і втрат насіння, що описують технологічний процес виділення насіння дині.

Ключові слова: овоче-баштанні культури, виділення насінневої маси, математичний метод, оптимальні параметри.

Постановка проблеми. Для забезпечення інтенсифікації і гарантованого виробництва сільськогосподарської продукції велике значення має добре налагоджене насінництво овоче-баштанних культур. Одним з найважливіших напрямків розвитку насінництва є впровадження сучасних технологій, механізація і автоматизація виробництва, створення принципово нових машин і технологічних ліній, що забезпечуватимуть значне скорочення витрат праці. Вирішення таких задач можливе за наявності спеціалізованих господарств, які зможуть застосовувати інтенсивні технології, розраховані на комплексну механізацію і автоматизацію процесів. Виробництво насінневого матеріалу овоче-баштанних культур є однією з важливих проблем, яка існує в області переробки сільськогосподарської продукції. Тому створення комплексу машин для реалізації механізованої технології додаткового виділення та доопрацювання насіння дозволить мінімізувати його втрати і засміченість, що забезпечить відповідність агротехнічним вимогам розвитку галузі насінництва України. У зв'язку з цим, для формування прогнозних моделей, що визначають зв'язок вхідних параметрів

(особливості та розміри робочих органів, режими роботи) з вихідними (характеристики насіння), потрібно використовувати методи теорії випадкових векторів та послідовностей. Таким чином, розробка методу моделювання, що дозволить визначати оптимальні параметри машин для виділення насінневої маси овоче-баштанних культур, є актуальною проблемою.

Аналіз актуальних досліджень. Нині проблемам насінництва овоче-баштанних культур не приділяється достатньо уваги. На зміну районуваному насінню прийшло гібридне, яке закуповують за кордоном [1]. Для розробки та обґрунтування конструктивних і режимних параметрів машин і робочих органів необхідно здійснити вивчення такого об'єкта, як технологічна маса овоче-баштанних культур (кавун, диня), що отримується в процесі подрібнення насінників і складається з шкірки, м'якоти, соку і насіння [2].

Розглянуто етапи наукового забезпечення галузі баштанництва, від якості отриманого насіння залежить майбутній урожай, тому вплив робочих органів на насіння та їх втрати повинні бути мінімальними [3]. Технологічний процес виділення і доробки насіння на сучасних

насінневідокремлювальних машинах складається з ряду послідовних операцій, в процесі яких робочі органи машин і установок впливають на насінневі плоди і на насіння.

Створення сучасних насінневідокремлювальних машин і поточкових ліній, що відповідають вимогам сучасного виробництва і належать до складних технічних систем, вимагає більш глибокого вивчення взаємодії робочих органів з об'єктом впливу – технологічною масою, закономірностей технологічних процесів, динаміки і умов їх функціонування [4]. Технологія виробництва насіння овоче-баштанних культур є дуже трудомісткою і вимагає застосування спеціальних машин, випуск яких проводиться в обмеженій кількості з низькими техніко-економічними показниками [5].

Характерною особливістю синтезу високоточних математичних моделей технологічних процесів є стохастична природа технологічних процесів обробки насінневої маси. Розв'язання задач визначення оптимальних параметрів машин для виділення насінневої маси овоче-баштанних культур відноситься до задач нелінійної екстраполяції, прикладом якої є поліном Колмогорова-Габова [6], але знаходження його параметрів для великого числа відомих значень і порядку нелінійної зв'язку, що використовується, є досить складною і трудомісткою процедурою (так, вже для 11 відомих значень і порядку нелінійності 4 необхідно отримати і вирішити 1819 рівнянь частинних похідних середнього квадрата похибки екстраполяції). У зв'язку з цим, при формуванні алгоритмів прогнозу, що можуть бути реалізовані на практиці, використовують різні спрощення і обмеження на властивості випадкової послідовності. Існує вичерпне рішення задачі оптимальної лінійної екстраполяції для різних класів випадкових послідовностей і різного рівня інформаційного забезпечення задачі прогнозу (рівняння А. Н. Колмогорова для стаціонарних випадкових послідовностей, вимірюваних без похибок; метод

Калмана [7] для марковських зашумлених випадкових послідовностей; фільтр-екстраполятор Вінера-Хопфа [8] для стаціонарних послідовностей за умови існування похибок вимірювань; алгоритми оптимальної лінійної екстраполяції В. Д. Кудрицького [9] на основі лінійного канонічного розкладання В. С. Пугачова і т.д.). Однак максимальної точності прогнозу за допомогою методів лінійної екстраполяції можна досягти тільки для гаусівських випадкових послідовностей [10]. Найбільш універсальним з точки зору обмежень (лінійність, марковість, стаціонарність, монотонність, скалярність і т.д.), що накладаються на властивості послідовностей випадкових величин, є метод [11] на основі нелінійного канонічного розкладання. Використання методу моделювання, в основу якого покладено нелінійний канонічний розклад випадкового вектора для визначення оптимальних параметрів машин для виділення насінневої маси овоче-баштанних культур дозволить врахувати особливості технологічних процесів обробки насінневої маси і досягти максимальної якості сепарації.

Метою статті є розробка методу математичного моделювання, в основу якого покладено нелінійний канонічний розклад випадкового вектора, для визначення оптимальних параметрів машин для виділення насінневої маси овоче-баштанних культур

Виклад основного матеріалу. Розглянемо метод моделювання технологічних процесів обробки насінневої маси.

$$\bar{X} = \{X(1), \dots, X(k), X(k+1), \dots, X(I)\},$$

в якому $X(i)$, $i = \overline{1, k}$ – вхідні параметри моделі (фізичні параметри робочих органів, деталей, режимів роботи машини), $X(i)$, $i = \overline{k+1, I}$ – вихідні параметри (характеристики насіння). Для такого вектора нелінійний канонічний розклад має вигляд [12]:

$$X(i) = M[X(i)] + \sum_{v=1}^{i-1} \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{N-1} V_{\xi_1^{(1)}}(v) \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(1)}(v, i) + V_1(i) + \sum_{v=1}^{i-1} \sum_{l=2}^{M(v)} \sum_{p_1^{(l)}=1}^{p_1^{(l)}} \dots \sum_{p_{l-1}^{(l)}=p_{l-2}^{(l)}+1}^{p_{l-1}^{(l)}} \sum_{\xi_1^{(l)}=1}^{\xi_1^{(l)}} \dots \sum_{\xi_l^{(l)}=1}^{\xi_l^{(l)}} V_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}(v) \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(1)}(v, i), \quad i = \overline{1, I}, \quad (1)$$

де $M(v) = \begin{cases} v, & \text{при } v < N-1; \\ N-1, & \text{при } v \geq N-1. \end{cases}$

Вираз для визначення дисперсії $D_{\alpha_1}(v)$, $D_{\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n}(v)$ випадкових коефіцієнтів $V_{\alpha_1}(v)$, $V_{\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n}(v)$:

$$\begin{aligned}
 D_{\alpha_1}(\nu) = & M[X^{2\alpha_1}(\nu)] - M^2[X^{\alpha_1}(\nu)] - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{N-1} D_{\xi_1^{(1)}}(\lambda) \left\{ \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(\alpha_1)}(\lambda, \nu) \right\}^2 - \\
 & - \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{\alpha_1-1} D_{\xi_1^{(1)}}(\nu) \left\{ \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(\alpha_1)}(\nu, \nu) \right\}^2 - \\
 & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{l=2}^M(\lambda) \sum_{p_1^{(l)}=1}^{p_1^{(l)}} \dots \sum_{p_{l-1}^{(l)}=p_{l-2}^{(l)}+1}^{p_{l-1}^{(l)}} \sum_{\xi_1^{(l)}=1}^{\xi_1^{(l)}} \dots \sum_{\xi_l^{(l)}=1}^{\xi_l^{(l)}} D_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}(\lambda) \left\{ \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(\alpha_1)}(\lambda, \nu) \right\}^2, \quad \nu = \overline{1, I};
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n}(\nu) = & M[X^{2\alpha_n}(\nu - \beta_{n-1}) \dots X^{2\alpha_1}(\nu)] - M^2[X^{\alpha_n}(\nu - \beta_{n-1}) \dots X^{\alpha_1}(\nu)] - \\
 & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{N-1} D_{\xi_1^{(1)}}(\lambda) \left\{ \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n)}(\lambda, \nu) \right\}^2 - \\
 & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{l=2}^M(\lambda) \sum_{p_1^{(l)}=1}^{p_1^{(l)}} \dots \sum_{p_{l-1}^{(l)}=p_{l-2}^{(l)}+1}^{p_{l-1}^{(l)}} \sum_{\xi_1^{(l)}=1}^{\xi_1^{(l)}} \dots \sum_{\xi_l^{(l)}=1}^{\xi_l^{(l)}} D_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}(\lambda) \left\{ \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n)}(\lambda, \nu) \right\}^2 -
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n}(\nu) = & M[X^{2\alpha_n}(\nu - \beta_{n-1}) \dots X^{2\alpha_1}(\nu)] - M^2[X^{\alpha_n}(\nu - \beta_{n-1}) \dots X^{\alpha_1}(\nu)] - \\
 & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{N-1} D_{\xi_1^{(1)}}(\lambda) \left\{ \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n)}(\lambda, \nu) \right\}^2 - \\
 & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{l=2}^M(\lambda) \sum_{p_1^{(l)}=1}^{p_1^{(l)}} \dots \sum_{p_{l-1}^{(l)}=p_{l-2}^{(l)}+1}^{p_{l-1}^{(l)}} \sum_{\xi_1^{(l)}=1}^{\xi_1^{(l)}} \dots \sum_{\xi_l^{(l)}=1}^{\xi_l^{(l)}} D_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}(\lambda) \left\{ \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n)}(\lambda, \nu) \right\}^2 -
 \end{aligned}$$

Координатні функції $\varphi_{\alpha_1}^{(b_1 \dots b_{m-1}; a_1 \dots a_m)}(\nu, i)$, $\varphi_{\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n}^{(b_1 \dots b_{m-1}; a_1 \dots a_m)}(\nu, i)$ канонічного розкладення (1)

визначаються:

$$\begin{aligned}
 \varphi_{\alpha_1}^{(b_1 \dots b_{m-1}; a_1 \dots a_m)}(\nu, i) = & \frac{1}{D_{\alpha_1}(\nu)} \left\{ M[X^{\alpha_1}(\nu) X^{a_m}(i - b_{m-1}) \dots X^{a_1}(i)] - \right. \\
 & - M[X^{\alpha_1}(\nu)] M[X^{a_m}(i - b_{m-1}) \dots X^{a_1}(i)] - \\
 & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{N-1} D_{\xi_1^{(1)}}(\lambda) \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(\alpha_1)}(\lambda, \nu) \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(b_1 \dots b_{m-1}; a_1 \dots a_m)}(\lambda, i) - \\
 & - \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{\alpha_1-1} D_{\xi_1^{(1)}}(\nu) \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(\alpha_1)}(\nu, \nu) \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(b_1 \dots b_{m-1}; a_1 \dots a_m)}(\nu, i) - \\
 & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{l=2}^M(\lambda) \sum_{p_1^{(l)}=1}^{p_1^{(l)}} \dots \sum_{p_{l-1}^{(l)}=p_{l-2}^{(l)}+1}^{p_{l-1}^{(l)}} \sum_{\xi_1^{(l)}=1}^{\xi_1^{(l)}} \dots \sum_{\xi_l^{(l)}=1}^{\xi_l^{(l)}} D_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}(\lambda) \times \\
 & \times \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(\alpha_1)}(\lambda, \nu) \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(b_1 \dots b_{m-1}; a_1 \dots a_m)}(\lambda, \nu) \left. \right\}, \quad \nu = \overline{1, I}.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 \varphi_{\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n}^{(b_1 \dots b_{m-1}; a_1 \dots a_m)}(\nu, i) = & \frac{1}{D_{\beta_1 \dots \beta_{n-1}; \alpha_1 \dots \alpha_n}(\nu)} \left\{ M[X^{\alpha_n}(\nu - \beta_{n-1}) \dots X^{\alpha_1}(\nu) \times \right. \\
 & \times X^{a_m}(i - b_{m-1}) \dots X^{a_1}(i)] - M[X^{\alpha_n}(\nu - \beta_{n-1}) \dots X^{\alpha_1}(\nu)] \times
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

$$\begin{aligned} & \times M \left[X^{a_m} (i - b_{m-1}) \dots X^{a_1} (i) \right] - M \left[X^{\alpha_n} (\nu - \beta_{n-1}) \dots X^{\alpha_1} (\nu) \right] M \left[X^{a_m} (i - b_{m-1}) \dots X^{a_1} (i) \right] - \\ & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{N-1} D_{\xi_1^{(1)}}^{(j)} (\lambda) \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n)} (\lambda, \nu) \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m)} (\lambda, i) - \\ & - \sum_{\lambda=1}^{\nu-1} \sum_{l=2}^M (\lambda) \sum_{p_1^{(l)}=1}^{p_1^{(l)}} \dots \sum_{p_{l-1}^{(l)}=p_{l-2}^{(l)}+1}^{p_{l-1}^{(l)}} \sum_{\xi_1^{(l)}=1}^{\xi_1^{(l)}} \dots \sum_{\xi_l^{(l)}=1}^{\xi_l^{(l)}} D_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(l)} (\lambda) \times \\ & \quad \times \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n)} (\lambda, \nu) \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m)} (\lambda, i) - \\ & - \sum_{l=2}^{n-1} \sum_{p_1^{(l)}=1}^{p_1^{(l)}} \dots \sum_{p_{l-1}^{(l)}=p_{l-2}^{(l)}+1}^{p_{l-1}^{(l)}} \sum_{\xi_1^{(l)}=1}^{\xi_1^{(l)}} \dots \sum_{\xi_l^{(l)}=1}^{\xi_l^{(l)}} D_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(l)} (\nu) \times \\ & \quad \times \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n)} (\nu, \nu) \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m)} (\nu, i) - \\ & - \sum_{p_1^{(n)}=1}^{p_1^{(n)}} \dots \sum_{p_{n-1}^{(n)}=p_{n-2}^{(n)}+1}^{p_{n-1}^{(n)}} \sum_{\xi_1^{(n)}=1}^{\xi_1^{(n)}} \dots \sum_{\xi_n^{(n)}=1}^{\xi_n^{(n)}} D_{p_1^{(n)} \dots p_{n-1}^{(n)} \xi_1^{(n)} \dots \xi_n^{(n)}}^{(n)} (\nu) \times \\ & \quad \times \varphi_{p_1^{(n)} \dots p_{n-1}^{(n)} \xi_1^{(n)} \dots \xi_n^{(n)}}^{(\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n)} (\nu, \nu) \varphi_{p_1^{(n)} \dots p_{n-1}^{(n)} \xi_1^{(n)} \dots \xi_n^{(n)}}^{(b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m)} (\nu, i) \Big\}, \nu = \overline{1, I}. \end{aligned}$$

Блок-схема процедури обчислення параметрів канонічного розкладання (1) представлена на рис. 1.

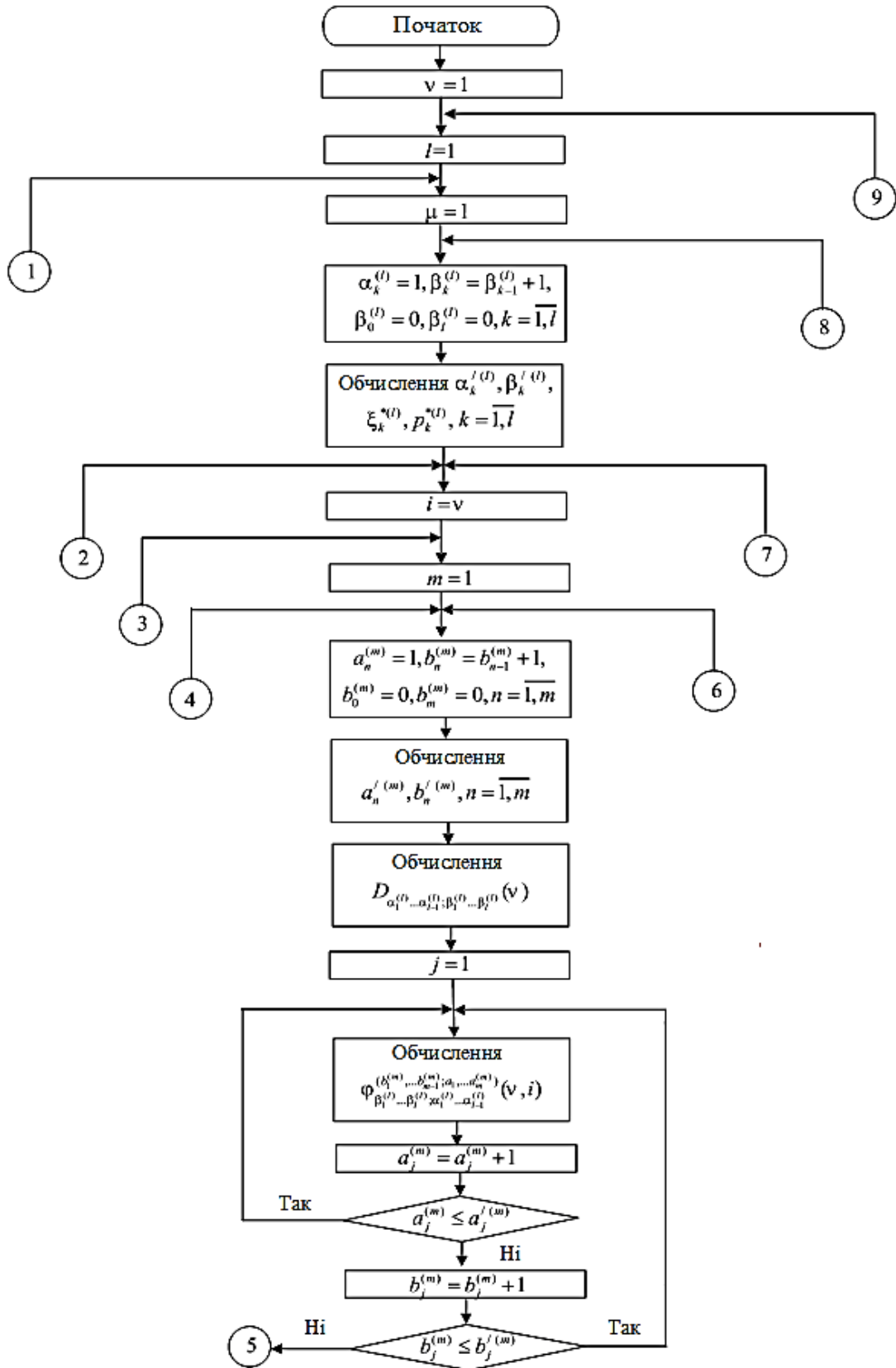
Алгоритм прогнозу характеристик насіння на основі розкладання (1) має вигляд [13]:

$$m_x^{(\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n, \nu)} (b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m, i) = \begin{cases} M \left[X^{a_m} (i - b_{m-1}) \dots X^{a_1} (i) \right], \nu = 0; \\ m_x^{(\beta_1^*, \dots, \beta_{n-1}^*; \alpha_1^*, \dots, \alpha_n^*, \nu)} (b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m, i) + \\ \left[x^{\alpha_n} (\nu - \beta_{n-1}) \dots x^{\alpha_1} (\nu) - \right. \\ \left. - m_x^{(\beta_1^*, \dots, \beta_{n-1}^*; \alpha_1^*, \dots, \alpha_n^*, \nu)} (\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n, \nu) \right] \times \\ \times \varphi_{\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n}^{(b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m)} (\nu, i), \\ \text{якщо } \alpha_1^* \neq 0, \dots, \alpha_n^* \neq 0; \\ m_x^{(p_1^{(n-1)}, \dots, p_{n-2}^{(n-1)}; \xi_1^{(n-1)}, \dots, \xi_{n-1}^{(n-1)}, \nu)} (b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m, i) + \\ + \left[x^{\alpha_n} (\nu - \beta_{n-1}) \dots x^{\alpha_1} (\nu) - \right. \\ \left. - m_x^{(p_1^{(n-1)}, \dots, p_{n-2}^{(n-1)}; \xi_1^{(n-1)}, \dots, \xi_{n-1}^{(n-1)}, \nu)} (\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n, \nu) \right] \times \\ \times \varphi_{\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n}^{(b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m)} (\nu, i), \text{якщо } \alpha_1^* = 0, \dots, \alpha_n^* = 0. \end{cases}$$

Вираз $m_x^{(\beta_1, \dots, \beta_{n-1}; \alpha_1, \dots, \alpha_n, \nu)} (b_1, \dots, b_{m-1}; a_1, \dots, a_m, i) \in$ оптимальною оцінкою координат $X(i), i = \overline{k+1, I}$ (характеристики насіння) випадкового вектора \bar{X} .

Середній квадрат похибки для k вхідних значень $x(j), j = \overline{1, k}$ і N порядку нелінійності запишеться як:

$$E^{(k,N)}(i) = M \left[\left\{ X(i) - M[X(i)] \right\}^2 \right] - \sum_{v=1}^k \sum_{\xi_1^{(1)}=1}^{N-1} D_{\xi_1^{(1)}}(v) \left\{ \varphi_{\xi_1^{(1)}}^{(1)}(v,i) \right\}^2 - \sum_{v=2}^k \sum_{l=2}^M \sum_{p_1^{(l)}=1}^{p_1^{(l)}} \dots \sum_{p_{l-1}^{(l)}=p_{l-2}^{(l)}+1}^{p_{l-1}^{(l)}} \sum_{\xi_1^{(l)}=1}^{\xi_1^{(l)}} \dots \sum_{\xi_l^{(l)}=1}^{\xi_l^{(l)}} D_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}(v) \left\{ \varphi_{p_1^{(l)} \dots p_{l-1}^{(l)} \xi_1^{(l)} \dots \xi_l^{(l)}}^{(1)}(v,i) \right\}^2 \quad i = \overline{k+1, I}. \quad (11)$$



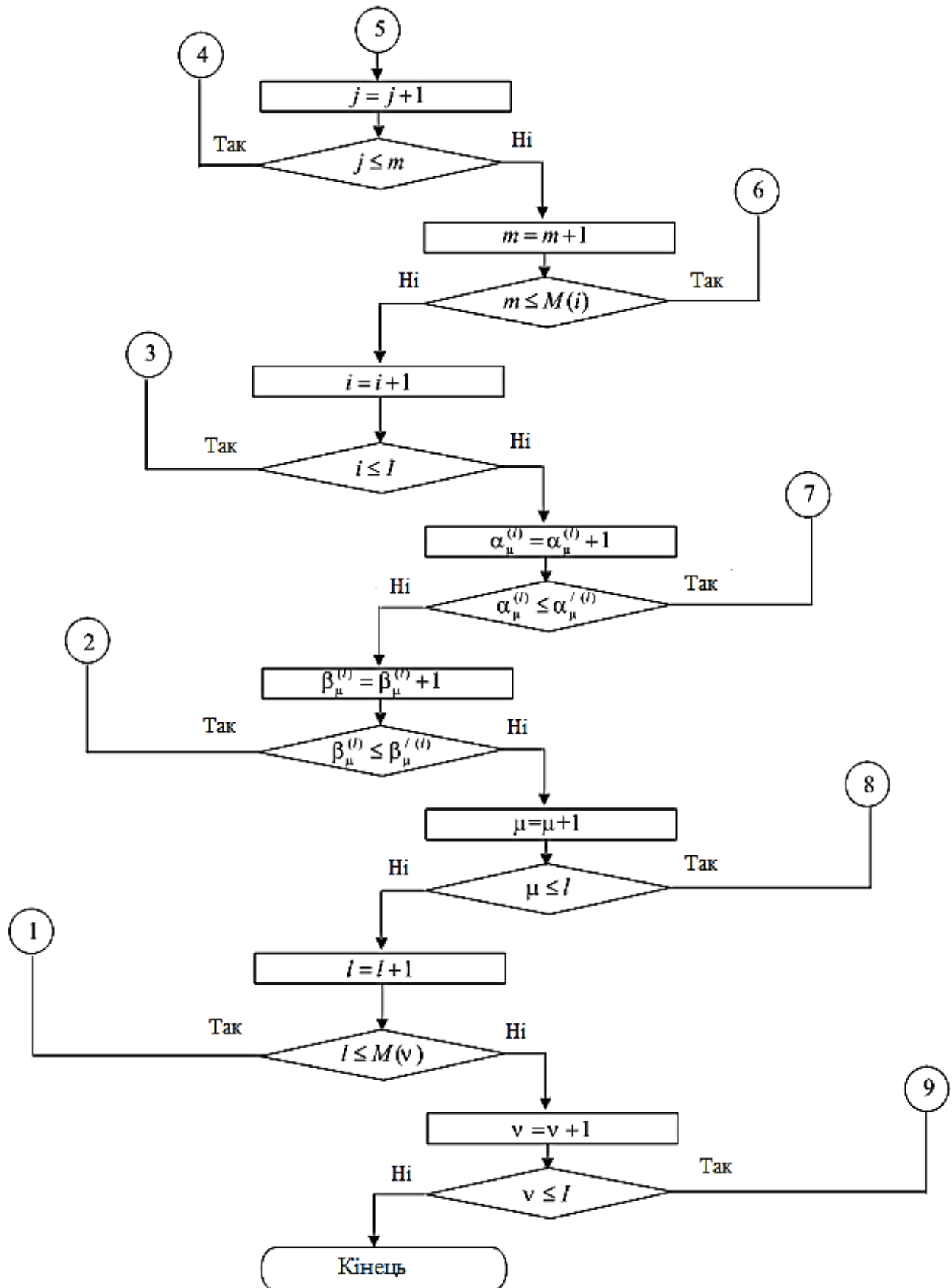


Рис. 1. Блок-схема алгоритму обчислення параметрів канонічного розкладання (1)

Метод математичного моделювання для визначення оптимальних параметрів машин для виділення насінневої маси овоче-баштанних культур складається з наступних етапів:

Збір статистичних даних про випадковий вектор \bar{X} на основі багаторазового проведення досліджень на експериментальній установці;

Оцінка моментних функцій $M[X^l(\nu)X^p(\mu)...X^s(i)]$ на основі

накопичених реалізацій випадкового вектора;

Формування з використанням обчислювальної процедури (рис.1) канонічного розкладання (1);

Обчислення параметрів математичної моделі (1);

– Оцінка значень вихідних параметрів $X(i), i = k + 1, I$ (характеристики насіння) на основі прогнозу моделі (10);

Оцінка якості розв'язання задачі оцінки характеристик насіння за допомогою виразу (11).

Розглянемо експериментальну установку сепаратора циліндричного типу [14]. З метою поліпшеного проходження насіння крізь отвори решітного барабану, а також якісного просування насінневої маси до вивантажувального лотка, рама циліндричного барабану сепаратора, що спирається на чотири опори, має можливість змінювати довжину з двох опор. Це дозволяє змінювати кут нахилу барабану. Машина працює таким чином. Подрібнена маса через завантажувальний лоток 6 подається в похилий циліндричний барабан 7 сепаратора. Насіннева маса під дією сил тертя та інерції захоплюється внутрішньою поверхнею ротора, який обертається, і поступово просувається вниз. Насіння при цьому проходить крізь отвори циліндричного барабану 2 і потрапляє у піддон. Внаслідок нахилу поверхні, що сепарує насіння,

скочування подрібненої маси виконується під кутом до площини його обертання, тому матеріал пересувається вниз вздовж сітчастої поверхні. Далі цикл повторюється, що забезпечує рух матеріалу по зигзагоподібній лінії. Частота обертання барабана обмежується певною межею, оскільки при великих швидкостях обертання відцентрова сила, що виникає, притискає матеріал до робочої поверхні і сепарація ускладнюється. Виходячи з цього, за рахунок тертя по циліндричній поверхні барабану відбувається розділення маси на насіння із мезгою, що проходить через прямокутні отвори решета та більш крупну фракцію, яка самоходом виводиться з циліндру до вивантажувального лотка 8.

На основі статистичних даних, отриманих в результаті переробки на експериментальній установці циліндричного сепаратора (диня сорту «Колгоспниця») [15], серед можливих параметрів машини, що впливають на чистоту і втрати насіння, було відібрано такі [16]: $X(1)$ – частота обертання барабана, $X(2)$ – діаметр барабану, $X(3)$ – кут нахилу барабану; $X(4)$ – форма отворів решета, $X(5)$ – коефіцієнт живого перерізу решета. Параметри: матеріал решета (коефіцієнт тертя подрібненої маси по решету); вологість подрібненої маси; розмір частинок подрібненої маси; рівень подачі технологічної маси, що сепарується; довжина барабану) були відхилені через їх несуттєвий вплив.

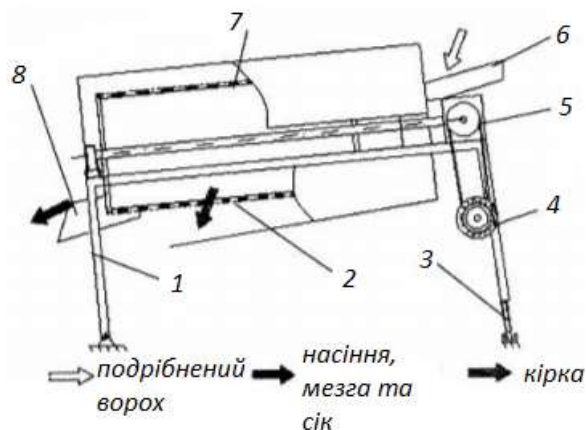


Рис.2. Експериментальна модель циліндричного сепаратора:

1 – рама; 2 – циліндричний барабан, 3 – опора, 4 – електродвигун, 5 – черв'ячний редуктор, 6 – завантажувальний лоток, 7 – сітчастий барабан, 8 – вивантажувальний лоток.

Обробка статистичних експериментальних даних з використанням комп'ютерної програми на основі алгоритму (10) дозволила отримати математичні моделі третього порядку для чистоти

і втрат насіння, що описують технологічний процес відділення для насіння дині на машині циліндричного типу:

– за критерієм втрат насіння:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{ошн}}(6) = & 4,67 + 0,556X(1) + 0,361X(2) + 0,100X(3) - 0,283X(4) - 1,028X(5) + \\
 & + 0,049X(1)X(2) + 2,044X(1)X(3) + 0,195X(1)X(4) - 0,487X(1)X(5) - \\
 & - 0,960X(2)X(3) - 1,394X(2)X(4) - 0,065X(2)X(5) + 0,273X(3)X(4) - \\
 & - 0,428X(3)X(5) - 0,151X(4)X(5) + 1,614X^2(1) + 1,597X^2(2) + 1,047X^2(3) - \\
 & - 0,403X^2(4) + 2,664X^2(5) + 1,11X^3(1) + 0,722X^3(2) + 0,2X^3(3) - 0,567X^3(4) - \\
 & - 2,06X^3(5) + 0,1X^2(1)X(2) + 0,18X^2(1)X(3) + 0,2X^2(1)X(4) + 0,02X^2(1)X(5) + \\
 & + 0,358X^2(2)X(3) + 0,444X^2(2)X(4) + 0,038X^2(2)X(5) + 0,740X^2(3)X(4) + \\
 & + 0,063X^2(3)X(5) + 0,096X^2(4)X(5) + 0,220X(1)X^2(2) + 0,440X(1)X^2(3) + \\
 & + 0,733X(1)X^2(4) + 1,118X(1)X + 0,223X(2)X^2(3) + 0,372X(2)X^2(4) + \\
 & + 0,567X(2)X^2(5) + 0,596X(3)X^2(4) + 0,910X(3)X^2(5) + 1,129X(4)X^2(5) - \\
 & - 0,301X(1)X(2)X(3) - 0,857X(1)X(2)X(4) + 0,546X(1)X(2)X(5) - \\
 & - 0,974X(2)X(3)X(4) + 0,390X(2)X(3)X(5) + 0,099X(3)X(4)X(5); \quad (12)
 \end{aligned}$$

– за критерієм чистоти насіння:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{ошн}}(7) = & 96,21 - 0,850X(1) + 0,150X(2) + 0,267X(3) + 0,094X(4) - 0,444X(5) + \\
 & + 0,108X(1)X(2) + 0,135X(1)X(3) + 0,002X(1)X(4) - 0,248X(1)X(5) + \\
 & - 0,185X(2)X(3) - 0,465X(2)X(4) + 0,169X(2)X(5) + 0,022X(3)X(4) + \\
 & - 0,087X(3)X(5) + 0,078X(4)X(5) - 0,436X^2(1) + 0,630X^2(2) - 0,086X^2(3) + \\
 & - 0,103X^2(4) + 0,347X^2(5) - 1,7X^3(1) + 0,300X^3(2) + 0,533X^3(3) + 0,189X^3(4) + \\
 & - 0,9X^3(5) - 0,03X^2(1)X(2) - 0,05X^2(1)X(3) - 0,01X^2(1)X(4) + 0,1X^2(1)X(5) + \\
 & - 0,107X^2(2)X(3) - 0,010X^2(2)X(4) + 0,120X^2(2)X(5) - 0,016X^2(3)X(4) + \\
 & + 0,200X^2(3)X(5) + 0,305X^2(4)X(5) + 0,155X(1)X^2(2) + 0,311X(1)X^2(3) + \\
 & + 0,517X(1)X^2(4) + 0,790X(1)X - 0,065X(2)X^2(3) - 0,109X(2)X^2(4) + \\
 & - 0,166X(2)X^2(5) - 0,178X(3)X^2(4) - 0,272X(3)X^2(5) - 0,025X(4)X^2(5) + \\
 & + 0,157X(1)X(2)X(3) - 0,174X(1)X(2)X(4) + 0,043X(1)X(2)X(5) + \\
 & - 0,496X(2)X(3)X(4) + 0,004X(2)X(3)X(5) + 0,215X(3)X(4)X(5). \quad (13)
 \end{aligned}$$

Застосування моделей (12)–(13) дозволяє зменшити середню похибку визначення втрат насіння на 2,2–3,4% в порівнянні з рівняннями другого порядку (кількість складових обмежена першими 21 складовими), отриманими за допомогою технології планування експерименту, і отримати вигреш в прогнозуванні чистоти насіння 2–3,1%. У порівнянні з лінійними моделями підвищення в точності прогнозування становить відповідно 5,1–5,5 і 5–5,3%.

При необхідності для підвищення точності опису технологічного процесу нелінійний порядок рівнянь (12)–(13) без особливих труднощів може бути збільшений, що практично неможливо здійснити інструментарієм планування експерименту з причини різкого збільшення обсягу проміжних обчислень.

Висновки та перспективи подальших розвідок. Представлено метод математичного моделювання, в основу якого покладено нелінійний канонічний розклад випадкового вектора, для визна-

чення оптимальних параметрів машин для виділення насінневої маси овоче-баштанних культур. Використання вказаного методу дозволяє отримати математичні моделі технологічних процесів для довільної кількості відомих вхідних параметрів. Використання запропонованої математичної моделі не накладає ніяких обмежень на властивості випадкової послідовностей вхідних і вихідних параметрів, що дозволяє повністю врахувати особливості технологічних процесів обробки насінневої маси і досягти максимальної якості сепарації насіння баштанних культур. Результати експериментальних досліджень підтвердили високу точність запропонованого методу при визначенні оптимальних параметрів машин для виділення насінневої маси овоче-баштанних культур. Перспективами подальших розвідок може стати уточнення параметрів робочих органів сепаруючих машин на основі вдосконалених математичних моделей.

Список використаних джерел:

1. Брытик О. Сорты и гибриды бахчевых культур. *Овощеводство*. 2010. № 8(68). С. 67-69
2. Бабенко Д.В., Горбенко О.А., Доценко Н.А., Кім Н.І. Дослідження засобів механізації отримання насіння овоче-бахтанних культур. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2016. Вип. 4(92) С.137-142
3. Лимар А. О., Лимар В.А. Бахтанництво України: монографія. 2-ге вид., перероб. та доп. 2012. 372 с.
4. Пастушенко А.С., Дубровін В.О. Проходження насіння овоче-бахтанних культур крізь отвори решета давальної-сепаруючої машини. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. Вип. 166. Ч. 2. С. 97-103.
5. Абезин В.Г., Шапуров М.Н., Моторин В.А., Беспалова О.Н. Технология и технические средства производства и подготовки к посеву семян бахчевых культур. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. Технические науки*. 2017. №1(45). С. 181-187.
6. Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей. *Известия АН СССР. Серия математическая*. 1941. Т. 5, №1. С. 3–14.
7. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Transactions of the ASME. Series D. Journal of Basic Engineering.*, v. 82 (Series D), 1960. P. 35–45.
8. Wiener N. Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series: With Engineering Applications. MIT Press, New-York, 1964.
9. Кудрицкий В. Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание реализаций случайных функций. К.: ФАДА, ЛТД, 2001. 176 с.
10. Прохоренков А. М., Качала Н.М. Использование методов нечеткой логики для определения классификационных характеристик случайных процессов. *Вестник МГТУ*. 2006. Том 9, №3. С. 514-521.
11. Atamanyuk, I. P. Algorithm of extrapolation of a nonlinear random process on the basis of its canonical decomposition. *Kibernetika i Sistemnyj Analiz*. 2005. №2. P. 131–138.
12. Atamanyuk, I. P. Optimal Polynomial Extrapolation of Realization of a Random Process with a Filtration of Measurement Errors. *Journal of Automation and Information Sciences*. Volume 41, Issue 8, Begell House, USA, pp. 38-48 (2009)
13. Atamanyuk I., Kondratenko Y., Shebanin V., Mirgorod V. Method of polynomial predictive control of fail-safe operation of technical systems. *In The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics IEEE*. 2015. P. 248-251.
14. Пастушенко А.С., Горбенко О.А., Огієнко М.М., Пастушенко С.І. Циліндричний сепаратор насіння овоче-бахтанних культур. Номер патенту: 30735. Опубліковано: 11.03.2008 Режим доступу: <http://uapatents.com/2-30735-cilindrichnij-separator-nasinnya-ovoche-bashtannikh-kultur.html>
15. Огієнко М. М. Проведення експериментальних досліджень машин для відділення насіння овоче-бахтанних культур. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2012. Вип. 3. С. 195-202.
16. Разработка механизированных технологий получения семян овощебахчевых культур и создание рабочих органов машин для семеноводства. Исследования: отчет про НИР (промеж.) / Николаевский государственный аграрный университет; Институт южного овощеводства и бахчевых. Николаев, 2011. 189 с.

В. С. Шебанин, И. П. Атаманюк, Е. А. Горбенко, Н. А. Доценко. Определение оптимальных параметров машин для выделения семенной массы овощебахчевых культур

Для определения оптимальных параметров машин для выделения семенной массы овощебахчевых культур представлен метод моделирования, в основу которого положено нелинейное каноническое разложение случайного вектора. Представлена блок-схема процедуры вычисления параметров канонического разложения. Метод математического моделирования апробирован при исследовании технологического процесса отделения семян дыни на экспериментальной установке. Представлены математические модели третьего порядка для чистоты и потерь семян, описывающие технологический процесс отделения семян дыни.

Ключевые слова: овощебахчевые культуры, выделение семенной массы, математический метод, оптимальные параметры.

V. Shebanin, I. Atamanyuk, O. Gorbenko, N. Dotsenko. Determining the optimal parameters of machines for processing the seed mass of vegetable and melon crops

To determine the optimal parameters of machines for isolating the seed mass of vegetable and melon crops, a modeling method is presented, which is based on the nonlinear canonical decomposition of a random vector. A block diagram of the procedure for calculating the parameters of the canonical expansion is presented. The method of mathematical modeling was tested in the study of the technological process of separating melon seeds on an experimental installation. Mathematical models of the third order for purity and loss of seeds are presented, describing the technological process of separation for melon seeds.

Keywords: emmer wheat, grain, whole grit, hulling bran, hulling, water-heat treatment.