

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ И СОРТИРОВАНИЯ СЕМЕННЫХ СМЕСЕЙ НА МЕХАТРОННЫХ ВИБРОМАШИНАХ

Лукьяненко В.М., к.т.н., доц.

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)*

*Сделан анализ различных подходов к оптимизации технологических процессов очистки и сортирования семенных смесей на новейших мехатронных вибромашинах и определена при этом роль математического моделирования движения совокупности семян с учетом их взаимодействия и внутрислоевых процессов семенной смеси, находящейся внутри плоских вибрирующих каналов, которые образованы двумя близкорасположенными рабочими поверхностями мехатронной виброочистительной машины.*

**Постановка проблемы.** Экстремальные задачи или, иначе, задачи оптимизации весьма распространены в различных технических дисциплинах и инженерных приложениях. Такие вопросы как:

- оптимальное сочетание параметров какой-либо конструкции [1] или производственного процесса [2];
- оптимальная последовательность действий [3];
- оптимальный маршрут [4];
- оптимальное распределение ресурсов и т.д. [5, 6], всегда были, и будут оставаться актуальными на протяжении времени, пока осуществляется хозяйственная деятельность человека.

В области сельского хозяйства и, в частности, при осуществлении очистки и сортирования семенных смесей также являются актуальными задачи проектирования оптимальных конструкций специальных машин и их оптимальной настройки (регулировки) на ту или иную культуру [7 - 9].

**Результаты исследований.** В большей степени исследователей всегда интересовали задачи оптимизации второй группы – задачи регулировки или настройки уже созданных или спроектированных машин под очистку или сортирование той или иной семенной культуры (смеси семенных культур). Задачи первой группы или задачи оптимизации конструкций, иначе, оптимального проектирования специальных машин затрагивались в меньшей степени. Как правило, варьировались лишь некоторые конструктивные параметры в пределах работоспособности моделей рабочих процессов очистки (сортирования) рассматриваемых семенных культур, а также для заданных альтернативных вариантов конструкций машин.

Тем не менее, не зависимо от типа задачи оптимизации, наибольшей трудностью, связанной с их решением, всегда было:

- большая размерность, когда количество значимых параметров было более 5-ти;

- несколько критериев оптимальности.

В отношении первой трудности, трудности, связанной с размерностью задач оптимизации, пока действенных способов их преодоления ещё не найдено. Размерность преодолевается искусственным разделением решаемых задач на несколько составляющих задач меньшей размерности или же путём использования достаточно мощных вычислительных машин. В отношении же многокритериальности в настоящее время разработаны и успешно применяются различные методы многокритериальной оптимизации.

Так, например, если оптимизировать некоторый рабочий процесс очистки (сортирования) заданного семенного материала с помощью машины установленной конструкции по нескольким критериям оптимальности, имеющих вид:

$$K_i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M) \rightarrow \max, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где  $K_i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M)$  - показатель  $i$ -го критерия оптимальности;  $p_j, j = 1, 2, \dots, M$  - множество оптимизируемых параметров рабочего процесса, то общая постановка задачи многокритериальной оптимизации может иметь вид:

$$W = \min \max_i \bar{K}_i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

$$\bar{K}_i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M) = \frac{K_i^{\text{пред.}} - K_i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M)}{K_i^{\text{пред.}}}, \quad (3)$$

$$p_j \leq p_j^{\text{макс. доп.}}, \quad j = 1, 2, \dots, M,$$

$$Q_k(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M) \leq Q_k^{\text{макс. доп.}}, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (4)$$

где  $\bar{K}_i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M)$  - приведенный (отнормированный) безразмерный показатель  $i$ -го критерия оптимальности;

$K_i^{\text{пред.}}$  - предельно-достижимое, для имеющегося технического совершенства машин рассматриваемого класса, значение показателя  $i$ -го критерия оптимальности;

$Q_k(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M)$  - комплексная характеристика рабочего процесса, зависящая от принятых значений параметров настройки машины и не являющаяся показателем критерия оптимальности;

$p_j^{\text{макс. доп.}}$ ,  $Q_k^{\text{макс. доп.}}$  - максимально-допустимые, определяемые конструктивными особенностями машины, значения настраиваемых и комплексных параметров рабочего процесса.

Исходя из приведенной постановки, задача многокритериальной оптимизации решается как последовательность оптимизационных однокритериальных задач, где в качестве критерия оптимальности выбирается критерий улучшения процесса по наихудшему показателю эффективности, достигнутому на пред-

ыдушем шаге. Все остальные показатели выводятся в ограничения, которые имеют вид

$$\bar{K}_h(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M) \leq \max_i \bar{K}_i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M), h \neq i, h = 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

В результате решения данной итерационной задачи оптимизации отыскивается такое сочетание параметров рабочего процесса  $(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M)_{opt.}$ , при котором достигается одинаковое относительное приближение показателей эффективности рассматриваемого процесса к их предельно-достижимым значениям

$$\bar{K}_1 = \dots = \bar{K}_i = \dots = \bar{K}_N = \min. \quad (6)$$

Заменяв критерий минимакса другой его разновидностью, когда минимизируется мера приближения вектора частных показателей эффективности,  $K_i, i = 1, 2, \dots, N$ , к некоторой предельно-достижимой или идеальной точке,  $K_i^{пред.}, i = 1, 2, \dots, N$ , получим однокритериальную задачу оптимизации, которая имеет вид

$$\sum_{i=1}^N (\bar{K}_i(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M))^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$p_j \leq p_j^{\text{макс. доп.}}, j = 1, 2, \dots, M,$$

$$Q_k(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M) \leq Q_k^{\text{макс. доп.}}, k = 1, 2, \dots, K. \quad (7)$$

Задача оптимального проектирования конструкции специальных машин несколько сложнее по своей постановке, чем задача настройки параметров конкретного рабочего процесса. Машина проектируется не под один какой-то процесс очистки (сепарации), не под какую-то одну семенную культуру, а под группу процессов, группу семенных культур. Эта особенность оказывает существенное влияние на вид постановки задачи оптимизации, используемой для оптимального проектирования специальных машин.

Так, например, если проектируемая машина должна обеспечивать очистку (сепарацию)  $S$  типов семенных культур или, иначе, реализовывать  $S$  рабочих процессов, то тогда имеет место  $S$  оптимальных сочетаний рабочих параметров  $(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M)_s^{opt.}, s = 1, 2, \dots, S$ , характеризующих оптимальную настройку проектируемой машины на осуществление очистки (сепарации) семенных культур соответствующих типов. Оптимальные сочетания  $(p_1, \dots, p_j, \dots, p_M)_s^{opt.}, s = 1, 2, \dots, S$  могут быть получены как результат решения ряда задач оптимизации параметров рабочего процесса очистки семенных культур рассматриваемых типов с помощью машины принятой конструктивной схемы (принятого принципа очистки (сепарирования)).

Обобщая данные по оптимальным настройкам машины для очистки (сепарации)  $S$  типов семенных культур, могут быть получены необходимые рабочие диапазоны параметров реализуемых рабочих процессов:

$p_j \in [p_j^{\text{мин.}}; p_j^{\text{макс.}}]^{\text{потр.}}$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$ . Создаваемая машина должна реализовывать такие диапазоны изменения параметров настройки рабочих процессов  $[p_j^{\text{мин.}}; p_j^{\text{макс.}}]^{\text{реализ.}}$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$ , которые совпадают или перекрывают диапазоны потребные. Граничные реализуемые величины  $p_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$  зависят от конструкции рассматриваемой машины.

При проектировании новой мехатронной машины необходимо подобрать такую её конструкцию, которая бы позволяла перекрывать потребные диапазоны изменения параметров настройки реализуемых на данной машине рабочих процессов и удовлетворять заданному перечню критериев оптимальности проектирования. Как правило, в качестве показателей, используемых для формирования критериев оптимальности проектирования машин очистки (сепарирования) семенных культур используются такие показатели как: производительность; надёжность; экономичность и другие производственные характеристики машины.

То есть, в формальном виде, общая постановка задачи оптимального проектирования мехатронной машины для очистки (сепарирования) семенных культур установленного типажа имеет вид

$$H = \min_k \max_k \bar{R}_k(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v), \quad k = 1, 2, \dots, K_{\text{шт}}, \quad (8)$$

для минимаксного критерия или

$$\sum_{k=1}^{K_{\text{шт}}} (\bar{R}_k(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v))^2 \rightarrow \min, \quad (9)$$

для критерия в форме векторной меры, если:

$$\bar{R}_k(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v) = \frac{R_k^{\text{пред.}} - R_k(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v)}{R_k^{\text{пред.}}}, \quad (10)$$

$$p_j^{\text{макс.}}(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v) - (p_j^{\text{макс.}})^{\text{потр.}} \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, M, \quad (11)$$

$$(p_j^{\text{мин.}})^{\text{потр.}} - p_j^{\text{мин.}}(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v) \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (12)$$

$$\Xi_d(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v) \leq \Xi_d^{\text{макс. доп.}}, \quad d = 1, 2, \dots, D, \quad (13)$$

где  $\bar{R}_k(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v)$  - относительная степень приближения  $k$ -го показателя эффективности или совершенства конструкции машины к его предельно-достижимому значению;

$R_k^{\text{пред.}}$ ,  $R_k(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v)$  - предельно-достижимое и реализованное для выбранного сочетания конструктивных параметров (решений) машины значения  $k$ -го показателя конструктивного совершенства, соответственно;

$\Xi_d(q_1, \dots, q_v, \dots, q_v)$ ,  $\Xi_d^{\text{макс. доп.}}$  - реализуемое при заданном сочетании конструктивных параметров и максимально-допустимое значения  $d$ -го производственного показателя, не используемого в качестве частного критерия оптимальности. Например, в качестве такого производственного показателя может быть показатель максимального уровня шума, производимого при работе машины;

$K_{III}$  - количество производственных показателей, используемых в качестве частных критериев оптимальности конструкции машины.

Как видно из приведенных постановок задач оптимизации, центральными их элементами являются модели процессов взаимодействия очищаемой смеси с рабочими органами машины и взаимодействия машины с окружающей средой (влияния на окружающую среду).

Модель процесса взаимодействия очищаемой смеси с рабочими органами машины (иначе модель динамики частиц смеси относительно рабочего тракта) позволяет установить функциональную связь между параметрами настройки рабочего процесса машины и оптимизируемыми частными показателями эффективности очистки (сепарирования).

Модель взаимодействия машины с окружающей средой (иначе модель овеществления производственных функций, модель существования машины) позволяет установить взаимосвязь между конструктивными параметрами и частными производственными показателями.

По обоим направлениям существует широкое поле деятельности для исследователей. Во многом вопрос создания адекватных математических моделей, как реализуемых рабочих процессов, так и овеществления производственных показателей продолжает оставаться открытым. Исследователи, решая различные задачи по настройке рабочих процессов или проектирования машин, часто прибегают к натурному эксперименту. С одной стороны это, безусловно, позволяет получать предельно адекватные данные, а с другой – сужает рамки проводимых исследований, ограничивая их конструктивными особенностями имеющихся стендов и машин, а также обуславливает достаточно большую трудоёмкость по сбору представительных выборок статистических данных.

Для преодоления указанных ограничений, конечно же, необходима дальнейшая разработка математических моделей, позволяющих с приемлемой адекватностью прогнозировать значения, как показателей эффективности очистки, так и производственных показателей проектируемых машин.

## Список використаних джерел

1. Максимов С.А. Разработка методики расчета и подбора оптимального сочетания технологических параметров при поливе по бороздам: автореф. дис. на соиск. степени канд. техн. наук /С.А. Максимов.– М., 1994. -24 с.

2. Гусев Е.Л. Решение задач оптимального проектирования многослойных полимерных конструкций при воздействии волн методами теории оптимального управления: автореф. дис. на соиск. степени канд. техн. наук /Е.Л. Гусев.– Якутск, 1984. -20 с.

3. Оптимизация последовательных комбинаторных процессов: пат. 2352984 Рос. Федерация: МПК G 06 F 19/00 / Олсен Тур-Мортен Евербю (SE), Руннемальм Карл Хенрик (SE), Кин Эндрью Джон (GB), Вучков Иван (GB), Бхаскар Атул (GB), заявитель и патентообладатель Вольво Аэро Корпорейшн (SE), Университи оф саутхэмптон (GB). – №2006111738/09; заявл. 10.09.04; опубл. 20.04.09, Бюл. №11. – 57 с.

4. Саврасов, Ф.В. Методы оптимизации динамического формирования маршрута движения транспортных средств / Ф.В. Саврасов, А.Ю. Дёмин // Известия Томского политехнического университета. - 2011. – Т. 318, №5. – С. 149-153.

5. Сарымсакова, Г.В. Оптимизация распределения ресурсов в многоуровневой системе управления отраслью (на примере швейной промышленности Узбекской ССР): дис. ... канд. эконом. наук / Г.В. Сарымсакова. – Ташкент, 1984. – 146 с.

6. Тутова Н.В. Разработка методики оптимизации распределения ресурсов центров обработки данных в сети интернет: дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Тутова. – М., 2009. – 183 с.

7. Лук'яненко В.М. Обґрунтування параметрів процесу сепарації насіння ріпака і суріпиці на вібраційній машині: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук / В.М. Лук'яненко.– Харків, 2001. -20 с.

8. Богомоллов О.В. Наукове обґрунтування енергозберігаючих процесів та обладнання для сепарації харчової сипкої сировини: автореф. дис. на здоб. наук. ступ. д - ра техн. наук / О.В. Богомоллов.– Харків, 2006. -24 с.

9. Михайлов А.Д. Обоснование параметров технологического процесса очистки и сортирования семян сахарной свеклы на вибрационной семеочистительной машине: автореф. дис. на соиск. степени канд. техн. наук / А.Д. Михайлов.– Харьков, 1994. -25 с.

## **Анотація**

### **Методи оптимізації в задачах дослідження процесів очищення і сортування насіннєвих сумішей на мехатронних вібромашинах**

Лук'яненко В.М.

*Зроблено аналіз різних підходів до оптимізації технологічних процесів очищення і сортування насіннєвих сумішей на новітніх мехатронних вібромашинах і визначена при цьому роль математичного моделювання руху сукупності насіння з урахуванням їх взаємодії і внутрішньшарових процесів насіннєвої суміші, що знаходиться всередині плоских віброуючих каналів, які утворені двома довшими робочими поверхнями мехатронної віброочисної машини.*

## **Abstract**

### **Optimization methods in tasks of the research process of clearing and sorting seed mixture on mechatronic vibrating machines**

V. Lukyanenko

*The analysis of the different approaches to optimize the purification processes and mixtures for screening new seed mechatronic vibration picked up and thus the role of the mathematical modeling of the motion aggregate seeds based on their interaction processes and intralayer seed mixture contained inside the plane of the*

*vibrating channel, which are formed by two closely spaced working surfaces mechatronic vibration cleaning machine.*