

УДК. 631.362.3.004.4

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА**

Михайлов Е.В., д.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-12-65, e-mail: evgenii1958@mail.ru

***Аннотация*** – в статье представлен алгоритм моделирования процессов функционирования технических средств послеуборочной обработки зерна.

***Ключевые слова*** – моделирование, послеуборочная обработка зерна (ПУОЗ), техническая оснащенность (ТО).

*Постановка проблемы.* К перечню важнейших технологических требований, предъявляемых к ПУОЗ входят поточность (критерий минимума затрат), качество обрабатываемой продукции и показатель потерь зерна. При рациональном обосновании основных параметров ЗОМ и агрегатов могут быть правильно организованы технологические процессы, которые отвечают этим требованиям. При этом учитывается сложный характер взаимодействия уборочной техники (поступление исходного материала на зернокомплексы), транспортных средств и машин для ПУОЗ, погодных условий и характеристик зерновых материалов – засоренности, влажности, натуры и др.

Вышеупомянутые особенности предусматривают необходимость в системном подходе и использовании вероятностных методов системного анализа, в частности, имитационного моделирования – одного из наиболее мощных и универсальных методов изучения процесса функционирования объектов сложной структуры [1].

*Анализ последних исследований.* Суть системного подхода заключается в том, что исследователи изучают поведение системы в целом, а не концентрируют свое внимание на отдельных ее элементах.

В этом случае рассматривается факт, что даже если каждый элемент или подсистема имеют оптимальные конструктивные или функциональные характеристики, то поведение всей системы может оказаться нерациональной из-за взаимодействия между элементами и подсистемами. Системный подход при изучении поведения больших (сложных) систем изложен в работе Н. П. Бусленко [2, 3].

Анализ механизированных процессов в растениеводстве и жи-

вотноводстве, проведенный С. В. Кардашевским, Л. В. Погорелым и др. [2, 3], позволяет сформулировать основные характерные особенности сложных систем относительно комплексов сельскохозяйственных машин, использованных для осуществления этих процессов [4]:

- наличие иерархической структуры – принципиальная возможность расчленения системы на взаимодействующие между собой элементы и подсистемы, которые выполняют разные технологические, организационные и производственные функции;

- стохастический характер процессов функционирования подсистем и элементов, который заключается в их взаимодействии с постоянно и случайным образом меняющимися факторами внешней среды и внутренними возмущениями;

- наличие общей для системы целенаправленной задачи и конкурирующих целей функционирования подсистем при наложении ограничений технического, технологического и экономического характера;

- систематическая направленность системы управления на достижение определенных показателей эффективности путем целенаправленного влияния обслуживающего персонала.

Для комплексов ПУОЗ в разной мере характерны все изложенные черты, что позволяет рассматривать процессы их функционирования, как процессы сложных систем.

*Цель исследования* – создание теоретических основ для моделирования и обеспечения эффективной работы технических объектов (систем) в процессе их эксплуатации.

*Задачи:*

- систематизация нарушений работоспособности технической оснащённости системы ПУОЗ и оптимизация параметров технологических линий;

- прогнозирование отдельных блоков системы ТО на стадиях проектирования информационных систем.

*Основная часть.* Сроки реализации процесса ПУОЗ в значительной мере зависят от погодных условий. Для уборочного сезона каждого года формируется свой конкретный график выполнения работ. Состав средств ТО может изменяться в зависимости от условий года уборки, что еще раз подтверждает необходимость учета вероятностной природы условий формирования сроков ПУОЗ.

В работах В. Г. Еникеева и П. Л. Пашичева [6, 7] структура и состав средств ТО обоснованы в результате выполнения следующего ряда формализованных процедур:

- вероятностная процедура формирования сроков проведения механизированных работ области для ряда лет (размер ряда должен обеспечивать заданную достоверность оценочных показателей, обус-

ловленных в следующих процедурах);

– оптимизация состава и структуры средств ТО растениеводства для каждого из вариантов графиков выполнения работ, сформированных на предыдущем этапе расчета;

– построение плотности распределения оценочных показателей, полученных в результате оптимизации ряда графиков выполнения работ по обоснованию структуры и состава средств ТО.

Цели, методы и средства решения иерархической схемы задачи обоснования уровня ТО могут быть разработаны иначе. Так, предлагается найти несколько отличные схемы, построенные по технологическим и территориальным принципам, которые охватывают более высокие уровни (техническую оснащенность природно-экономической зоны, района, региона и т.д.) и построенные по технологическим и территориальным принципам.

Для решения задач на каждом уровне используются показатели качества, которые отображают эффективность функционирования машин и агрегатов [6-8].

Как основной показатель эффективности сельскохозяйственных агрегатов следует считать условие:

$$E \in E_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где  $E = Y - Y_n$  – случайный вектор отклонений функции результатов работы агрегата  $Y$  от некоторой заданной функции  $Y_n$ , что показывает, как он должен работать;

$E_{\text{доп}}$  – допустимая область отклонений.

Способность агрегата выполнять заданные операции на уровне не ниже заданного на протяжении определенного промежутка времени определяет оценку эффективности его функционирования.

При решении задач на всех уровнях, кроме показателей эффективности функционирования средств ТО, важное значение имеет показатель приведенных затрат на единицу продукции.

При исследовании любой сложной системы Н. П. Бусленко [5, 9] предлагает два способа:

- обработка данных натурального эксперимента;
- метод моделирования процесса функционирования систем.

Экспериментальное исследование при этом должно придерживаться следующих условий:

- система допускает изменение режимов функционирования, необходимых для решения задачи;
- существует возможность фиксации всей необходимой информации при допустимых затратах;
- фиксация и обработка этой информации в реальном масштабе времени позволяют накопить достаточный объем данных;
- изменение режимов функционирования оборудования при

проведении эксперимента не ведет к значительным потерям, аварии и другим нежелательным последствиям.

Наиболее целесообразным, на наш взгляд, является соединение экспериментального и математического методов моделирования.

Для систем, образованных из зависимых по восстановлению подсистем учитывается дисциплина обслуживания элементов – приоритет обслуживания, т.е. порядок выполнения рассмотренных операций. Описание функционирования системы осуществляется с помощью построения графа состояния и составления системы линейных алгебраических и дифференциальных уравнений.

Математическая модель функционирования системы может быть представлена следующим алгоритмом.

Пусть  $E$  – множество всех состояний системы,  $E_+$  – множество исправных,  $E_-$  – множество отказов состояний,  $p_i(t)$  – вероятность пребывания системы в момент времени  $t$  в состоянии  $i$ ,  $i \in E$ ;  $\lambda_{i,j}$  – интенсивность перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$ . Если состояние  $i$  в состоянии  $j$  отсутствует, то  $\lambda_{i,j} = 0$ .

Система линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, описывающая процесс функционирования листингом программ в пакете MathCad – решение системы уравнений методом Рунге – Кутты определяет вероятности функционирования системы и имеет вид:

$$p'_i(t) = -\sum_{j \in E} \lambda_{i,j} p_i(t) + \sum_{j \in E} \lambda_{j,i} p_j(t), \quad i \in E \quad (2)$$

$p'_i(t) = \frac{dp_i(t)}{dt}$  – производная по времени.

Предполагая, что в момент времени  $t=0$  система полностью исправна, начальные условия функционирования имеют вид

$$p_0(0) = 1, \quad p_i(0) = 0, \quad i \in E \setminus \{0\}.$$

Решение системы (2) с заданными начальными условиями позволяет найти вероятность безотказной работы  $P(t)$  технической системы за время  $t$  при условии, что все состояния отказа являются поглощающимися

$$P(t) = \sum_{i \in E_+} p_i(t). \quad (3)$$

Для определения среднего времени безотказной работы по графу состояний (рис. 1) составляется система линейных алгебраических уравнений относительно времени пребывания технической системы в неисправных состояниях  $\tau_i$

$$-\sum_{j \in E} \lambda_{i,j} \tau_i + \sum_{j \in E} \lambda_{j,i} \tau_j = -p_i(0), \quad i \in E_+. \quad (4)$$

Суммарный риск системы за время  $t$  находится по формуле:

$$R(t) = -\sum_{i \in E} r_{k(i)} p_i(t), \quad (5)$$

где  $r_{k(i)}$  – риск системы из-за отказа  $i$ -го элемента.

Рассмотрим структурную схему возможных вариантов последовательности основных технологических процессов послеуборочной обработки и складирования товарного зерна и семян [1].

Основное технологическое оборудование делится на две группы: машины для обработки ненормализованного (свежеубранного или частично подработанного) и машины для обработки нормализованного (предварительно очищенного и высушенного) зерна. К первой группе относятся машины для предварительной очистки зерна и его сушки, а ко второй – для окончательной очистки и сортирования материала. Условия работы машин второй группы более благоприятны, чем первой.

Оборудование на предприятиях расставляют таким образом, чтобы технологические операции выполнялись последовательно и тем самым обеспечивалось доведение зернового материала до посевных, базисных или ограничительных кондиций за один пропуск или проход [10].

Описание функционирования системы представляет граф возможных вариантов последовательности основных технологических процессов послеуборочной обработки и складирования товарного зерна и семян (рис. 1).

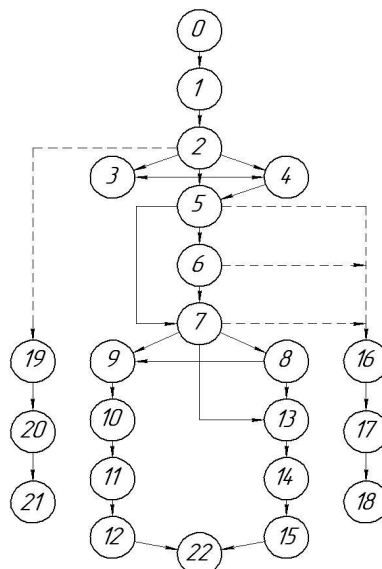


Рис. 1. Граф возможных вариантов последовательности основных технологических процессов послеуборочной обработки и складирования товарного зерна и семян

Функционирование системы ПУОЗ представлено следующими технологическими операциями: 0 – взвешивание вороха; 1 – разгрузка вороха; 2 – предварительная очистка; 3 – временное хранение, актив-

ное вентилирование; 4 – сушка; 5 – первичная очистка; 6 – вторичная очистка; 7 – триерование; 8 – очистка на пневмосортировальном столе; 9 – затаривание и взвешивание мешков; 10 – зашивание и укладывание мешков; 11 – перевозка мешков; 12 – укладка мешков в зернохранилище; 13 – загрузка и взвешивание авто; 14 – перевозка зерна; 15 – загрузка в зернохранилище; 16 – загрузка и взвешивания фуража; 17 – перевозка зернофуража; 18 – складирование фуража; 19 – загрузка незерновых отходов; 20 – перевозка отходов; 21 – утилизация отходов; 22 – хранение зерна.

Система последовательности основных технологических процессов послеуборочной обработки и складирования товарного зерна и семян представляется в виде дифференциальных уравнений.

*Выводы.* Описание функционирования системы осуществляется с помощью построения графа состояний и системы линейных алгебраических и дифференциальных уравнений, в результате чего получают листинг программ в пакете MathCad – решение системы уравнений методом Рунге – Кутты и определяют вероятности функционирования системы. Это позволяет обосновать параметры технической оснащённости послеуборочной обработки зерна.

#### *Литература*

1. Михайлов Є. В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України / Є. В. Михайлов. – Мелітополь: Люкс, 2012. – 260 с.
2. Испытания сельскохозяйственной техники // С. В. Кардашевский, Л. В. Погорелый, Г. М. Фудиман, П. И. Лобко, В. В. Брей. – М.: Машиностроение, 1979. – 288 с.
3. Погорелый Л. В. Инженерные методы испытания сельскохозяйственных машин / Л. В. Погорелый. – К.: Техника, 1981. – 185 с.
4. Елизаров В. П. Предприятия послеуборочной обработки и хранения зерна (расчет на ЕОМ) / В. П. Елизаров. – М.: Колос, 1977. – 216 с.
5. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1968. – 365 с.
6. Еникеев В. Г. Вопросы совершенствования технической оснащённости сельского хозяйства / В. Г. Еникеев // Науч. труды ЛСХИ. – Л., 1976. – Т. 301. – С. 16-27.
7. Пашичев П. Л. Оценка качества технической оснащённости сельскохозяйственного производства с учетом вероятностных параметров / П. Л. Пашичев // Науч. труды ЛСХИ. – Л., 1980. – Т. 388. – С. 27-29.
8. Лурье А.Б. Основы теории эффективности функционирования рабочих процессов сельскохозяйственных машин и их систем управления / А. Б. Лурье // Науч. труды ЛСХИ. – Л., 1981. – Т. 415. – С. 3-6.
9. Бусленко В. Н. Автоматизация имитационного моделирования

сложных систем / В.Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 249 с.

10. Михайлов Є.В. Методология обоснования состава и функциональных параметров технических средств послеуборочной обработки зерна (на примере Юга Украины): дис...докт. техн.. наук / Є.В. Михайлов. – Мелитополь, 2014. – 413 с.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА**

Є.В. Михайлов

***Анотація*** – в статті представлений алгоритм моделювання процесів функціонування технічних засобів післязбиральної обробки зерна.

## **SIMULATION OF THE OPERATION OF TECHNICAL MEANS POSTHARVEST PROCESSING OF GRAIN**

E. Mikhailov

### ***Summary***

**The article presents a simulation algorithm of the functioning of technical means postharvest processing of grain.**