

УДК 631.331

## МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ ИХ ОЧЕСЫВАНИЯ НА КОРНЮ

Леженкин А.Н., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-68-74

**Аннотация** – в статье приводится математическая модель уборочного процесса и ее анализ, а также сравнительная оценка существующей комбайновой и предлагаемой стационарной технологии уборки методом очесывания растений на корню.

**Ключевые слова** – математическая модель, очесывание растений на корню, модель функционирования, уборочная машина, стационар.

*Постановка проблемы.* Уборка является ключевой операцией в общей технологической цепи возделывания зерновых культур. Однако, техническое обеспечение зернопроизводства находится на недостаточном уровне.

В Украине наблюдается серьезное сокращение парка зерноуборочных комбайнов. Общее количество комбайнов за 17 лет уменьшилось более чем в 2,5 раза и составляет 41 тыс.шт. [1].

Кроме того, комбайновая технология уборки имеет ряд существенных недостатков, которые снижают ее эффективность.

Повысить эффективность можно, если вместо традиционного скашивания и обмолота использовать метод очесывания растений на корню [2]. При этом наиболее целесообразным является очесывание растений в поле и доработка очесанного вороха на стационаре [3].

В этой связи встает проблема научного обоснования технологии уборки зерновых культур.

*Анализ последних исследований.* Исследованию метода очесывания растений на корню посвящены работы Шабанова П.А. [4], Данченко Н.Н. [5], Голубева И.К. [6], Повиляя В.М. [7], Гончарова Б.И. [8] и др. Данные исследования направлены, главным образом, на обоснование и разработку очесывающих устройств.

Разработке стационарной технологии уборки зерновых культур посвящены исследования [9, 10, 11]. Дальнейшим развитием данных

исследований применительно к условиям фермерских хозяйств явились работы [2, 12, 13].

*Формулирование целей статьи.* С целью обоснования стационарной технологии уборки зерновых культур необходимо решить следующие задачи:

- разработать и обосновать общую технологическую схему уборки зерновых культур методом их очеса на корню;
- разработать модели функционирования технологических процессов машин и агрегатов, обеспечивающих эффективную уборку и послеуборочную доработку зерновых культур;
- построить общую математическую модель всего уборочного процесса и проанализировать ее;
- научно обосновать и выполнить процедуры учета энергозатрат комбайновой и стационарной технологий уборки зерновых культур.

*Основная часть.* На основании анализа результатов предыдущих исследований [А. Б. Лурье, Л. В. Погорелова, Э. В. Жалнина, П. А. Шабанова, Н. Н. Данченко, И. К. Голубева. и др.], а также исследований агробиологических и механико-технологических свойств зерновых культур была разработана структурная схема технологического процесса уборки зерновых культур методом очесывания их на корню (рис.1), преобразующая входные воздействия в виде условий функционирования  $X(\Gamma_q)$  в выходные  $Y(\Gamma_q)$ , определяющие количественные и качественные показатели работы.



Рис.1. Модель функционирования технологического процесса уборки зерновых методом очеса на корню.

Подсистемами в данной системе являются, в основном, последовательно соединенные технологические процессы, выполняемые комплексами мобильных машин и стационарных агрегатов, например, таких как: 1 - очесывание растений на корню; 2 - срез, измельчение и разбрасывание очесанной соломы по полю; 3 - сепарация очесанного вороха; 4 – измельчение оборванных колосков и грубых солоmistых примесей; 5 – смешивание измельченной массы; 6 – приготовление кормовых брикетов; 7 – очистка зернового вороха.

Уборочный процесс зерновых является сложной многопараметрической системой, схема функционирования которой имеет иерархи-

ческую структуру, включающую в себя модели отдельных процессов, явлений и их взаимосвязи.

Первой операцией в технологической цепи уборки зерновых культур является очес растений на корню, который выполняет полевая уборочная машина.

Полевая уборочная машина работает в условиях постоянно меняющихся внешних воздействий вероятностной природы. Такими факторами являются: неровности поверхности поля  $Z(l)$ , вызывающие колебания очесывающего устройства, урожайность соломы  $U_c(l)$  и зерна  $U_3(l)$ , высота стеблестоя  $H(l)$ , влажность зерна  $W_3(l)$  и влажность соломы  $W_c(l)$  и т.д. В связи с этим все внешние воздействия и выходные показатели работы полевой уборочной машины следует рассматривать как случайные функции (процессы) времени или пути. Для изучения технологического процесса уборочной машины представим ее в виде информационной модели, построенной по принципу «вход-выход» (рис.2).

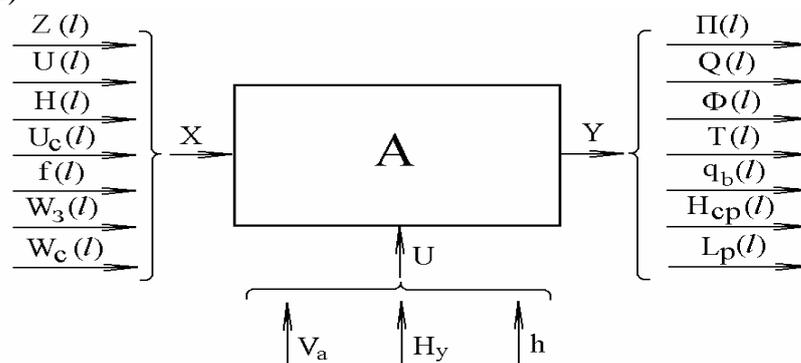


Рис.2. Информационная модель технологического процесса полевой уборочной машины.

На входе модели действует вектор-функция условий работы (внешних возмущений):

$$X = \{Z(\ell), U(\ell), H(\ell), U_c(\ell), f(\ell), W_3(\ell), W_c(\ell)\}. \quad (1)$$

В качестве выходной переменной принимается вектор-функция количественных показателей выполнения технологического процесса уборки:

$$Y = \{\Pi(\ell), Q(\ell), \Phi(\ell), T(\ell), q_b(\ell), H_{cp}(\ell), L_p(\ell)\}, \quad (2)$$

где  $\Pi(\ell)$  - суммарные потери зерна за машиной;

$\Phi(\ell)$  - фракционный состав вороха;

$T(\ell)$  - общее травмирование зерна;

$Q(\ell)$  и  $q_b(\ell)$  - производительность характеризующаяся количеством уборочной площади (га/ч) и количеством очесанного вороха в единицу времени (кг/с);

$H_{cp}(\ell)$  - высота среза стерни;

$L_p(\ell)$  - длина резки соломы.

Управляющими воздействиями в модели являются глубина погружения очесывающего устройства в стебли ( $h$ ), скорость движения уборочного агрегата ( $V_a$ ) и высота установки режущего аппарата.

Второй операцией технологического процесса уборки зерновых является доработка очесанного вороха.

Доработка зернового вороха может быть представлена в виде взаимосвязанных операций, описывающей возможные реализации отдельных технологических операций различными рабочими органами (рис. 3). Стационарная работа этих рабочих органов в поточной линии, особенности их технологических процессов, а также особенности очесанного вороха, определяют специфику моделей, а также методов и средств обеспечения их технологической надежности.

Модель функционирования технологического процесса, выполняемого бункером-дозатором очесанного вороха, можно рассматривать, как модель трех основных технологических операций: кратковременное хранение (ХВ), транспортирование (ТВ) и дозирование (ДВ). Вектор входных возмущений модели (БД) целесообразно рассматривать как многокомпонентный градиент, описывающий состояние очесанного вороха, характеризуемого его фракционным составом  $\Phi(t)$ , размерно-массовыми характеристиками  $L(t)$ , влажностью зерна  $W(t)$  и влажностью соломы  $W_c(t)$ .

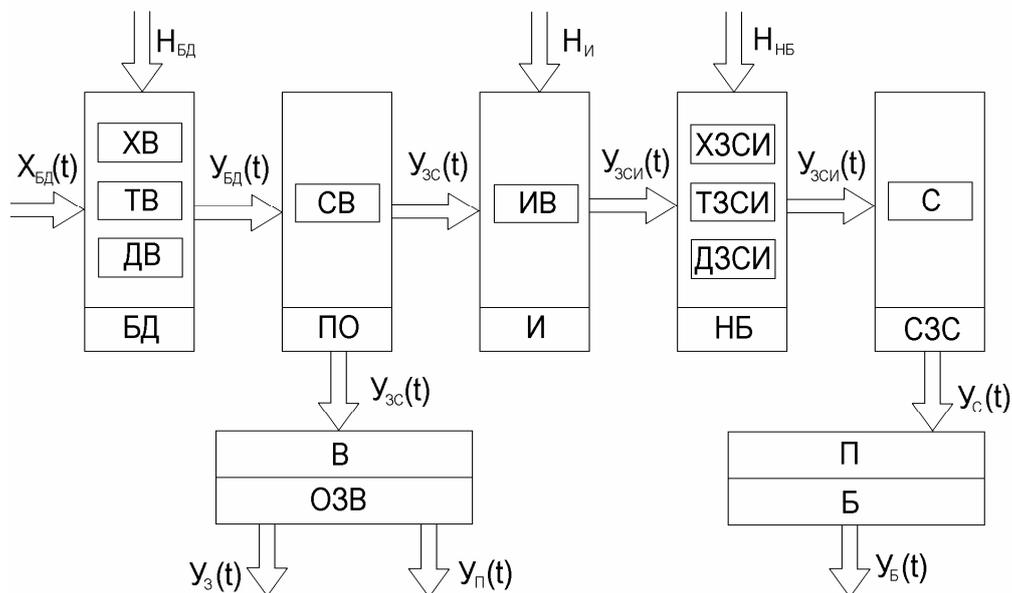


Рис.3. Структурно-логическая схема функционирования стационарного пункта доработки очесанного вороха.

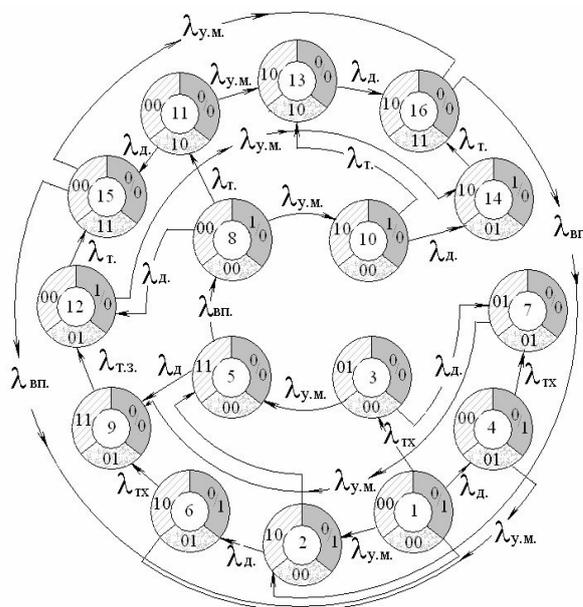
Результатом функционирования  $Y_{БД}(t)$  технологического процесса бункера-накопителя является дозированная подача вороха на предварительную обработку. Величина подачи характеризуется век-

тором  $N_{БН}$ .

Первая составляющая выходного вектора модели ПО -  $U_{зпо}$  является входным вектором модели очистки зернового вороха (ОЗВ), а вторая ( $U_{сно}$ ) – входом в измельчитель вороха, который измельчает необмолоченные колоски (метелки) и грубые соломистые примеси. Выходной процесс измельчения можно представить в виде вектора  $U_{зс}$ , который характеризует длину резки соломистых примесей и необмолоченных колосков (метелок). Измельченная зерносоломистая масса поступает в накопительный бункер, модель функционирования которого включает модели временного хранения измельченной зерносоломистой массы (ХЗСИ) ее транспортирования (ТЗСИ) и дозирования (ДЗСИ). Смешивание измельченной зерносоломистой массы осуществляется в смесителе СЗС, функционирование которого предполагает подачу различных добавок. Выход смесителя  $U_c(t)$  является входом для брикетирования. В результате работы прессы из зерносоломистой смеси получают кормовые брикеты.

Для очистки зернового вороха используется ворохоочиститель ОЗВ, в результате работы которого входной поток разделяется на два выходных. Первый характеризует качественные характеристики очищенного зерна  $U_3$ , а второй - состояние соломистых примесей  $U_c$ .

Для построения математической модели уборочного процесса была использована теория массового обслуживания.



$$\left. \begin{aligned}
 & -(\lambda_{y.m.} + \lambda_{m.x.} + \lambda_o) \cdot p_1 + \lambda_{en} \cdot p_{15} = 0; \\
 & -(\lambda_m + \lambda_o) \cdot p_2 + \lambda_{y.m.} \cdot p_1 + \lambda_{e.n.} \cdot p_{16} = 0; \\
 & -(\lambda_m + \lambda_o) \cdot p_3 + \lambda_{m.x.} \cdot p_1 = 0; \\
 & -(\lambda_{y.m.} + \lambda_{m.x.}) \cdot p_4 + \lambda_o \cdot p_1 = 0; \\
 & -(\lambda_o + \lambda_{e.n.}) \cdot p_5 + \lambda_{y.m.} \cdot p_3 + \lambda_{m.x.} \cdot p_2 = 0; \\
 & -\lambda_{m.x.} \cdot p_6 + \lambda_o \cdot p_2 + \lambda_{y.m.} \cdot p_4 = 0; \\
 & -\lambda_{y.m.} \cdot p_7 + \lambda_o \cdot p_3 + \lambda_{m.x.} \cdot p_4 = 0; \\
 & -(\lambda_{y.m.} + \lambda_{m.x.} + \lambda_o) \cdot p_8 + \lambda_{m3} \cdot p_5 = 0; \\
 & -\lambda_{тз} \cdot p_9 + \lambda_m \cdot p_5 + \lambda_{m.x.} \cdot p_6 + \lambda_{y.m.} \cdot p_7 = 0; \\
 & -(\lambda_m + \lambda_o) \cdot p_{10} + \lambda_{y.m.} \cdot p_8 = 0; \\
 & -(\lambda_{y.m.} + \lambda_o) \cdot p_{11} + \lambda_m \cdot p_8 = 0; \\
 & -(\lambda_{y.m.} + \lambda_m) \cdot p_{12} + \lambda_o \cdot p_8 + \lambda_{m3} \cdot p_9 = 0; \\
 & -\lambda_o \cdot p_{13} + \lambda_m \cdot p_{10} + \lambda_{y.m.} \cdot p_{11} = 0; \\
 & -\lambda_m \cdot p_{14} + \lambda_o \cdot p_{10} + \lambda_{y.m.} \cdot p_{12} = 0; \\
 & -(\lambda_{y.m.} + \lambda_{en}) \cdot p_{15} + \lambda_o \cdot p_{11} + \lambda_m \cdot p_{12} = 0; \\
 & -\lambda_{en} \cdot p_{16} + \lambda_o \cdot p_{13} + \lambda_m \cdot p_{14} + \lambda_{y.m.} \cdot p_{15} = 0; \\
 & \sum_{j=1}^{16} P_j = 1.
 \end{aligned} \right\} (3)$$

Рис.4. Граф состояний и интенсивностей перехода уборочно-транспортного комплекса

Исходя из технологического процесса уборки зерновых, за поток требований в поточной линии были приняты порции очесанного вороха с направлением их перемещения с поля на стационарный

пункт. При этом учитывалось, что поток порций очесанного вороха (требуваний) создают полевые уборочные машины, накапливая его в прицепных емкостях. Прицеп-тележка трактором перемещается с поля на стационарный пункт доработки, и тем самым, создает поток порций очесанного вороха (требуваний) на доработку (обслуживание) их стационарным агрегатом.

Возможные состояния технологической цепи уборочного процесса, которые учитывают функционирование, местонахождение и взаимодействие машин, как в поле, так и на зернотоке, можно представить в виде графа состояний (рис. 4).

На основании построенного графа состояний и интенсивности переходов была получена математическая модель уборочного процесса в виде системы алгебраических уравнений (3) описывающих совместное функционирование звеньев УТК.

Интенсивности потоков очесанного вороха ( $\lambda_{у.м}$  и  $\lambda_{т}$ ), трактора с пустым прицепом при движении с зернотока на поле  $\lambda_{т.х}$  и обслуживания машинами порций вороха ( $\lambda_{т.з}$ ,  $\lambda_{в.п}$ ,  $\lambda_{д}$ ) определялись из зависимостей:

$$\lambda_{у.м.} = \frac{1}{t_{у.м.}}; \lambda_{м.з.} = \frac{1}{t_{м.з.}}; \lambda_{м.} = \frac{1}{t_{м.}}; \lambda_{м.х.} = \frac{1}{t_{м.х.}}; \lambda_{в.п.} = \frac{1}{t_{в.п.}}; \lambda_{д.} = \frac{1}{t_{д.}}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{у.м.}$  и  $t_{у.м.}$  - интенсивность и среднее время заполнения уборочной машиной тележки очесанным ворохом;

$\lambda_{т.з.}$  и  $t_{т.з.}$  - интенсивность и среднее время замены полной тележки на пустую;

$\lambda_{т}$  и  $t_{т}$  - интенсивность и среднее время перемещения тележки с ворохом на зерноток;

$\lambda_{т.х.}$  и  $t_{т.х.}$  - интенсивность и время холостого движения трактора с пустым прицепом;

$\lambda_{в.п.}$  и  $t_{в.п.}$  - интенсивность и время выгрузки полного прицепа в бункер;

$\lambda_{д}$  и  $t_{д}$  - интенсивность и время на доработку вороха.

Для сбора очесанного вороха были разработаны технологические схемы прицепной (рис 5) и самоходной уборочных машин с рабочими органами очесывающего типа конструкции лаборатории уборочных машин ТДАТУ.

Технологический процесс прицепной уборочной машины (рис. 5) протекает следующим образом. При движении машины по полю очесывающее устройство очесывает растение, воздушный поток создаваемый барабанами 2 и 3 направляет ворох в приемную камеру 11, откуда он скребковым транспортером 4 подается в пневмотранспортер 6 и под воздействием воздушного потока создаваемого центробежным

вентилятором 5 транспортируется в тележку 10.

Технологический процесс самоходной уборочной машины протекает аналогичным образом.

Для оценки эффективности функционирования отдельных звеньев уборочно-транспортного комплекса был проведен анализ математической модели уборочного процесса.

Решение системы линейных уравнений (3) позволило определить значение вероятностей состояний звеньев УТК в общем виде. Для нахождения численных значений вероятностей состояний был проведен компьютерный эксперимент для трех факторов. В качестве переменных факторов были выбраны: интенсивность заполнения уборочной машиной прицепной тележки, интенсивность доработки очищенного вороха и интенсивность перемещения трактора.

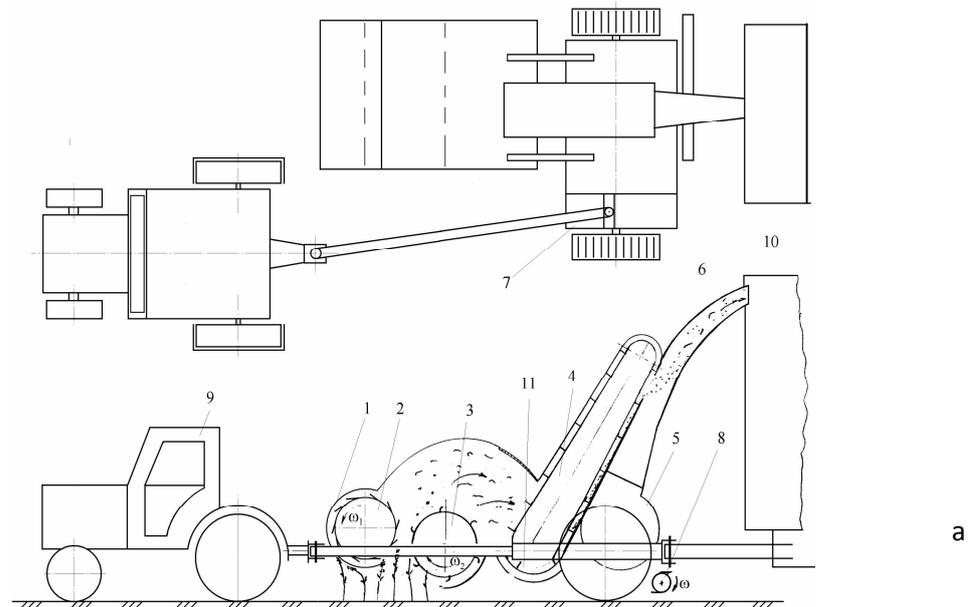


Рис.5. Технологическая схема (а) и общий вид (б) прицепной уборочной машины.

Оценка адекватности полученной модели проводилась согласно значений множественного коэффициента регрессии и дисперсии неадекватности. Согласно проведенных расчетов, множественный коэффициент регрессии находится в диапазоне 0,9977...1,000, а дисперсия неадекватности равняется нулю. Из приведенных данных следует, что полученная модель обладает достаточной точностью для описания изменения вероятностей нахождения машин уборочного комплекса в различных состояниях.

После раскодировки математическая модель приняла вид [17]:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 0,118248 - 31,2267 \cdot \lambda_D - 30,16 \cdot \lambda_T + 8533,33 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 175,975 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 30285,7 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 6349,21 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_2 &= 0,0140236 - 1,404444 \cdot \lambda_D + 0,568889 \cdot \lambda_T - 711,111 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + \\
 &\quad + 55,0889 \cdot \lambda_{YM} - 6857,14 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 7936,51 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_3 &= 0,0644853 - 18,3289 \cdot \lambda_D - 11,1467 \cdot \lambda_T + 3377,78 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 104,346 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 29142,9 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 7936,51 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_4 &= 0,0644689 + 5,06667 \cdot \lambda_D - 20,7378 \cdot \lambda_T - 2133,33 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 41,2698 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 14285,7 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 11111,1 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_5 &= - 0,00290133 + 1,40444 \cdot \lambda_D + 2,26667 \cdot \lambda_T - 888,889 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 16,0603 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 6285,71 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 7936,51 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \tag{5} \\
 p_6 &= - 0,0218262 + 15,1022 \cdot \lambda_D + 13,0044 \cdot \lambda_T - 7644,44 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 157,397 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 31428,6 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 65079,4 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_7 &= 0,730871 - 35,6444 \cdot \lambda_D - 114,462 \cdot \lambda_T + 21688,9 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T - 737,733 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 25142,9 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 138095 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_8 &= 0,00466578 - 1,36 \cdot \lambda_D + 0,444444 \cdot \lambda_T + 44,1841 \cdot \lambda_{YM} - 12571,4 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 3174,6 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_9 &= 0,0295476 - 4,01778 \cdot \lambda_D - 8,23111 \cdot \lambda_T + 1955,56 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 19,4032 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 15428,6 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 7936,51 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{10} &= - 0,00122844 - 0,186667 \cdot \lambda_D - 0,871111 \cdot \lambda_T + 533,333 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + \\
 &\quad + 21,3365 \cdot \lambda_{YM} \\
 &\quad - 5142,86 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 1587,3 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{11} &= - 0,0164431 + 6,59556 \cdot \lambda_D + 21,0222 \cdot \lambda_T - 7111,11 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 24,5016 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 12571,4 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 11111,1 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{12} &= 0,134399 + 3,08444 \cdot \lambda_D - 42,6222 \cdot \lambda_T - 888,889 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 87,3778 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 30857,1 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 12698,4 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{13} &= - 0,0309062 + 14,2578 \cdot \lambda_D + 8,124444 \cdot \lambda_T - 5155,56 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 77,946 \cdot \lambda_{YM} - \\
 &\quad - 35428,6 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 22222,2 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{14} &= - 0,027972 + 0,728889 \cdot \lambda_D + 11,2 \cdot \lambda_T - 1777,78 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T + 232,857 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 14285,7 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 85714,3 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{15} &= - 0,055648 + 43,2267 \cdot \lambda_D + 168,16 \cdot \lambda_T - 8533,33 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T - 324,133 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 4571,43 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} - 33333,3 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}; \\
 p_{16} &= 0,00122 + 1,15556 \cdot \lambda_D + 1,68 \cdot \lambda_T - 711,111 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_T - 2,58413 \cdot \lambda_{YM} + \\
 &\quad + 3428,57 \cdot \lambda_D \cdot \lambda_{YM} + 11111,1 \cdot \lambda_T \cdot \lambda_{YM}.
 \end{aligned}$$

В качестве оценочного критерия функционирования УТК был

принят коэффициент эффективности уборочных машин, транспортных средств и стационарного агрегата доработки вороха.

$$\eta_{у.м.} = \frac{1}{Y} \sum Y_j p_{yj}; \quad \eta_m = \frac{1}{T} \sum T_j p_{mj}; \quad \eta_o = \frac{1}{D} \sum D_j p_{oj}. \quad (6)$$

где  $Y_j$  - число работающих уборочных машин;

$T$  - число тракторов для транспортировки очесанного вороха;

$D$  - число агрегатов доработки очесанного вороха;

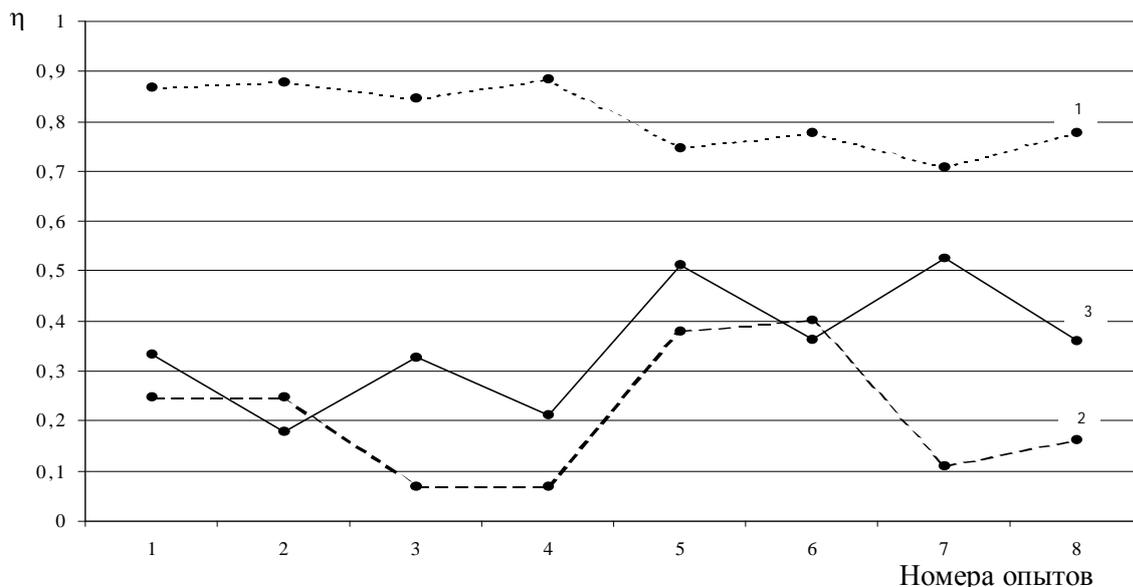
$p_{Y_j}$ ,  $p_{T_j}$ ,  $p_{D_j}$  - соответствующие вероятности состояний.

Полученные математические модели (5), а также формулы (6) дают возможность найти выражение для определения коэффициента эффективности в зависимости от изменений интенсивности потоков, которые в общем случае зависят от производительности звеньев УТК.

При расчете принималось число тракторов для транспортировки очесанного вороха равным числу уборочных агрегатов, а также было принято, что в фермерском хозяйстве функционирует один стационарный агрегат доработки очесанного вороха.

Тогда с учетом формул (6), а также графа состояний и интенсивностей переходов уборочно-транспортного комплекса (рис. 5) коэффициенты эффективности уборочной машины, трактора для транспортировки очесанного вороха и стационарного агрегата доработки определяются из соотношений перевозок.

$$\begin{aligned} \eta_{у.м.} &= p_1 + p_3 + p_4 + p_7 + p_8 + p_{11} + p_{12} + p_{15} \\ \eta_g &= p_1 + p_2 + p_3 + p_5 + p_8 + p_{10} + p_{12} + p_{13} \\ \eta_T &= p_1 + p_2 + p_4 + p_6 + p_8 + p_{10} + p_{12} + p_{14}. \end{aligned} \quad (7)$$



1 – изменение коэффициента эффективности уборочной машины;

2 – изменение коэффициента эффективности агрегата;

3 – изменение коэффициента эффективности трактора.

Рис.6. Диаграмма изменений коэффициентов эффективности звеньев УТК

Коэффициенты эффективности, переменные величины, так как они зависят от численных значений вероятностей состояний звеньев уборочно-транспортного комплекса, которые в свою очередь измеряются в зависимости от значений интенсивностей потоков.

Уравнения, характеризующие изменение коэффициента эффективности имеют вид:

$$\begin{aligned} \eta_{УМ} &= 0,62564 - 10,20576 \cdot \lambda_{Д} + 23,36674 \cdot \lambda_{Т} + 14934,1 \cdot \lambda_{Д} \cdot \lambda_{Т}; \\ \eta_{Д} &= 0,30179 - 14,360615 \cdot \lambda_{Т} + 242,564 \cdot \lambda_{У} + 28572,3 \cdot \lambda_{Т} \cdot \lambda_{УМ}; \\ \lambda_{Т} &= 0,25802 - 17,76225 \cdot \lambda_{Д} + 498,01 \cdot \lambda_{УМ} + 36000 \cdot \lambda_{Д} \cdot \lambda_{УМ}. \end{aligned} \quad (8)$$

Численные значения коэффициентов эффективности в зависимости от значений интенсивностей потоков приведены на диаграмме (рис.6).

Как видно из приведенной диаграммы (рис. 6) коэффициент эффективности уборочной машины изменяется в диапазоне 0,746...0,884, т.е. его значения незначительно зависят от производительности уборочной машины. Исходя из полученного результата уборочная машина практически полностью загружена. Ее простои обусловлены технологическими причинами (сменой заполненной тележки).

Таблица 1 - Сравнительные данные энергозатрат комбайновой и стационарной технологий.

Наименование показателей	Единица измерения	Комбайновая технология	Стационарная технология с применением очесывающих устройств
Прямые затраты энергии при работе	МДЖ/га	Комбайна 627,7	Трактора 325,46
	МДЖ/кг	0,21	0,108
Энергозатраты живого труда при работе	МДЖ/га	Комбайна 71,73	Трактора 33,6
	МДЖ/кг	0,024	0,011
Энергоемкость	МДЖ/га	Комбайна 769	Трактора 39,03
	МДЖ/кг	0,25	0,013
	МДЖ/га	Комбайна 7,69	Уборочной машины 60,46
	МДЖ/кг	0,25	0,02
	МДЖ/га	-	Прицепа 2ПТС-40 149,36
	МДЖ/кг	-	0,02
Прямые энергозатраты на перевозку зерна с поля на зерноток	МДЖ/га	Автомобиля 152,77	Трактора 204
	МДЖ/кг	0,051	0,068
Энергоемкость	МДЖ/га	Автомобиля 24,88	Трактора 38,95
	МДЖ/кг	0,0083	0,013

Продолжение таблицы 1.

	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	Прицепа 2ПТС-40 149,36 0,02
Энергозатраты живого труда при перевозке зерна	МДЖ/га МДЖ/кг	Автомобиля 30,0 0,01	Тракториста 33,6 0,011
Расчет энергозатрат на доработку очесанного вороха			
Прямые энергозатраты на сепарацию очесанного вороха	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	6,0 0,002
Прямые энергозатраты на домолот оборванных колосьев	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	27,0 0,009
Прямые энергозатраты на работу трансп. механизмов	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	9,0 0,003
Энергоемкость агрегата доработки вороха	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	75,0 0,006
Энергозатраты живого труда при доработке вороха	МДЖ/га МДЖ/кг	- -	Операторов 13,02 0,004
Энергозатраты на уборку соломы			
Прямые энергозатраты на измельчение соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	146,46 0,024	- -
Прямые энергозатраты на транспортировку соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	512 0,085	8,65 0,011
Энергоемкость трактора для транспортировки соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	41,6 0,007	- -
Энергоемкость прицепа-тележки для перевозки соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	298,72 0,004	- -
Энергозатраты живого труда при перевозке соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	35,86 0,005	- -
Энергоемкость трактора при скирдовании соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	41,6 0,007	39,03 0,005
Энергоемкость погрузчика	МДЖ/га МДЖ/кг	7,44 0,007	6,97 0,009
Прямые затраты энергии на скирдование соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	762 0,127	99,06 0,127
Затраты живого труда при скирдовании соломы	МДЖ/га МДЖ/кг	183,6 0,03	13,4 0,0017
Полные энергозатраты на уборку зерновой и незерновой части урожая	МДЖ/га	3705,6	1255,95
Полные энергозатраты на уборку и трансп. зерна	МДЖ/кг	0,56	0,31
Полные энергозатраты на уборку, транспортировку и скирдование соломы	МДЖ/кг	0,31	0,203

В свою очередь эффективность использования трактора напрямую зависит от плеча. При увеличении расстояний от поля до зернотока коэффициент эффективности трактора увеличивается и составляет 0,512...0,520, при минимальных расстояниях его значение находится в диапазоне 0,18...0,361. При расчетах принималось расстояние от поля до зернотока равным 2,5...4,0 км. Увеличение плеча перевозок очесанного вороха до 8 км может привести к простоям уборочного агрегата, из-за отсутствия пустой тележки. Поэтому наиболее целесообразно для фермерских хозяйств располагать зерноток на расстоянии 4,0...5,0 км от поля.

Численные значения коэффициента эффективности агрегата доработки очесанного вороха колеблются в широких пределах 0,07...0,401 и зависят от интенсивности.

Невысокие значения коэффициента эффективности агрегата доработки играют в целом позитивную роль, так как при этом нет простоев уборочного агрегата в поле и доставляемые с поля порции очесанного вороха обрабатываются своевременно.

Для оценки эффективности стационарной технологии уборки предлагается использовать энергетический критерий.

С этой целью была проведена сравнительная оценка энергозатрат на уборку урожая зерновых культур по существующей комбайновой и разработанной стационарной технологии с применением очеса растений на корню (табл. 1) [18].

*Выводы.* 1. Выполненные в данном исследовании методологические разработки в области совершенствования технологии уборки зерновых культур позволили сформировать общую технологическую схему уборки зерновых, включающую в себя сбор очесанного вороха в поле и его последующую доработку на стационаре.

Результаты исследований технологических процессов уборочных агрегатов и условий их функционирования посредством структуризации функции управления позволили наметить пути их совершенствования, заключающиеся в формализованном описании состояний уборочно-транспортного комплекса (УТК) и установлении временных характеристик для оценки состояний элементов УТК с последующим определением параметров и режимов работы стационарного агрегата доработки очесанного вороха.

2. Экспериментально установлено, что уборочные агрегаты в условиях нормального функционирования находятся под воздействием входных возмущений, имеющих вероятностную природу. К ним относятся урожайность зерна и соломы, высота стеблестоя, влажность зерна и соломы и т.д. Вероятностная природа входных возмущений обуславливает вероятностный характер выходных процессов и оказывает существенное влияние на показатели эффективности технологи-

ческих процессов УТК.

3. В работе технология уборки зерновых методом очёса растений на корню представлена динамической системой с многокомпонентными случайными (в вероятностном смысле) входами  $X(\Gamma q)$  в виде условий функционирования и выходом  $Y(\Gamma q)$ , определяющим качество уборочного процесса. Функционирование уборочной машины рассматривается как её реакция на входные воздействия, заданные многокомпонентной вектор-функцией

$$X = \{Z(l), U_3(l), H(l), U_C(l), f(l), W_3(l), W_C(l)\}$$

при фиксированном управлении  $u = \{h, V_a, H_y\}$ , обеспечивающие результат в виде  $m$ -мерной вектор-функции

$$Y = \{П(l), Q(l), \Phi(l), T(l), q_6(l), H_{cp}(l), L_p(l)\}.$$

4. Установлено, что общепринятый анализ экономической эффективности технологии уборки, основанный на сравнении затрат на производственный процесс не всегда объективно отражает эффективность выполненных исследований и разработок.

В данном случае для оценки эффективности технологии предлагается сравнительный анализ энергозатрат на уборку зерновой и не-зерновой части.

5. Анализ энергозатрат позволяет утверждать, что предлагаемая технология позволяет снизить общие энергозатраты на уборку 1 га на 66%, энергозатраты, приходящиеся на уборку и транспортировку на зерноток 1 кг зерна на 45%, а энергозатраты, приходящиеся на транспортировку и скирдование соломы на 35%.

#### Литература

1. Статистичний щорічник України за 2007 рік / За ред.Осауленко. – К.: Консультант, 2008. – 572 с.

2. Кушнарєв А.С. Энергосберегающая технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств / А.С. Кушнарєв, А.Н. Леженкин // Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. докл. междунар. научн.- технич. конф. – Мелитополь, 2003.- С. 17 – 21.

3. Пат. 20841 Україна, МПК А01D41/08. Спосіб збирання зернових культур/ О.М. Леженкін (Україна).- №И200609091; под. 16.08.2006; надр. 15.02.2007, бюл.№2.

4 Шабанов П.А. Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис...докт. техн. наук / П.А. Шабанов.– Мелитополь – 1988. – 336 с.

5 Данченко Н.Н. Обоснование параметров щеточного устройства для очесывания метелок риса на корню: автореф. дис... канд. техн. наук / Н.Н. Данченко. – Челябинск, 1983. – 15 с.

6 *Голубев И.К.* Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню: дис... канд. техн. наук / И.К. Голубев. – М., 1989. – 201 с.

7 *Повиляй В.М.* Исследование процесса уборки селекционных посевов риса методом очесывания метелок на корню и обоснование параметров очесывающего устройства: дис... канд. техн. наук / В.М. Повиляй. – Краснодар, 1980. – 165 с.

8 *Гончаров Б.И.* Исследование рабочего процесса очесывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна: дис... канд. техн. наук / Б.И. Гончаров. – М., 1982. – 217 с.

9 Разработать и внедрить перспективную технологию уборки зерновых культур в хозяйствах Приазовского района, обеспечивающую повышение производительности в 1,5...2,0 раза, снижение потерь зерна в 2...3 раза: отчет о НИР/МИМСХ; Рук. В.Н. Цыбульников – Мелитополь, 1986.- 67 с.

10 Разработать и внедрить перспективную технологию уборки зерновых культур в хозяйствах Приазовского района, обеспечивающую повышение производительности в 1,5...2,0 раза, снижение потерь зерна в 2...3 раза: отчет о НИР/МИМСХ; Рук. Н.Н. Данченко. - Тема 0270-Х; №ГР01860043979. – Мелитополь, 1987. – 82 с.

11 Разработать и внедрить перспективную технологию уборки зерновых культур в хозяйствах Приазовского района, обеспечивающую повышение производительности в 1,5...2,0 раза, снижение потерь зерна в 2...3 раза; отчет о НИР/МИМСХ; Рук. П.А. Шабанов. - Тема 0270-Х; №ГР01860043979. – Мелитополь, 1988. – 44 с.

12 *Леженкин А.Н.* Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств Юга Украины / А.Н. Леженкин // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: международ. науч. конф. . – Ярославль, 2003. – Ч. III. - С. 28 – 29.

13 *Леженкин А.* Уборка зерновых методом очеса / А. Леженкин // Сел. механизатор.-2004.-№11.- С.27.

14 *Леженкин А.Н.* Моделирование полевой уборки зерновой части урожая машиной для фермерских и крестьянских хозяйств / А.Н. Леженкин // Механизация и электрификация сел. х-ва. – 2005. - №5. – С. 15 – 18.

15 *Леженкин О.М.* Оптимізація технологічного процесу збирання зернових для фермерських та селянських господарств / О.М. Леженкін // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2005. – Вип.25. – С. 130 – 140.

16 *Леженкин А.Н.* Формирование стационарной технологии уборки зерновых культур в условиях фермерских хозяйств Украины / А.Н. Леженкин // Праці ТДАТА. – 2006. – [Вип.40]. - С. 195 – 204.

17 *Леженкин А.Н.* Математические модели технологического процесса уборки зерновых культур / А.Н. Леженкин // Вестник / МГАУ

им. В.П. Горячкина. Агроинженерия.- 2008.- Вып.1(26).- С.67-69.

18 *Леженкин А.Н.* Энергетическая оценка стационарной технологии уборки зерновой части урожая / А.Н. Леженкин// Механиз. и электриф. сел. хоз-ва.-2007.-№2.- С.5-7.

## **МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ СТАЦІОНАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ ЇХ ОЧОСУВАННЯ НА КОРЕНІ**

О.М. Леженкін

*Анотація* - у статті приводиться математична модель збирального процесу і її аналіз, а також порівняльна оцінка існуючої комбайнової й запропонованої стаціонарної технології збирання методом очосування рослин на корені.

## **METHODOLOGY OF MODELLING OF STATIONARY TECHNOLOGY OF CLEANING OF GRAIN CROPS THEIR METHOD ON THE ROOT**

A. Lezhenkin

### *Summary*

**In article the mathematical model of harvest process and its analysis, and also a comparative estimation of existing traditional and offered stationary technology of cleaning by a method plants on a root is resulted.**