

## ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНА В УСЛОВИЯХ ЗЕРНОТОКА ХОЗЯЙСТВА

Сергей Степаненко

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации  
сельского хозяйства»

Украина, Киевская область, Васильковский район, с. Глеваха,  
ул. Вокзальная, 11

**Аннотация.** В статье обоснован системно-проектный подход к управлению системой машин для послеуборочной обработки зерна, смоделированы процессы сепарации зерна в условиях зернотока хозяйства, определены причинно-следственные связи между технологическими звеньями системы.

**Ключевые слова:** сепарация, зерноток, моделирование, процесс.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Производство зерна всегда было и остается одной из стратегических отраслей агропромышленного комплекса Украины.

За последние годы валовый сбор зерновых увеличивается. Увеличение валового сбора зерна требует применения высокопроизводительной техники при уборке и послеуборочной обработке зерна.

При предложенном объеме сбора зерновых культур до 80 млн. т. [1], интенсивность поступления зернового материала на зерноочистительные пункты Украины увеличится по прогнозам в 3-4 раза.

При такой интенсивности поступления потока зерновых культур современные зерноочистительные комплексы не всегда вовремя перерабатывают нужную массу зернового материала, в результате чего происходит вылежка зерна в промежутке между смежными операциями технологической линии послеуборочной обработки зерна и увеличения площади буртов на току, которые требуют немедленной переработки.

Во время хранения неочищенного зерна от легких и солоmistых примесей, а также зерна с повышенной влажностью, через 3-4 дня происходит явление

самосогревания зерна и увеличение интенсивности микробиологических процессов, что способствует снижению посевных и продовольственных качеств зерна.

В результате чего теряется до 5% собранного урожая.

Такие явления возникают из-за недостаточного уровня планирования технологических систем при обслуживании многономенклатурных потоков зерновых культур.

Повышение эффективности производства и товарного качества зерна, уменьшение его потерь, можно достичь рациональной планировкой подачи многономенклатурных потоков, а также имеющимся технологическим оборудованием для послеуборочной обработки зерна.

На сегодня, исследования разработки организационно-технологических проектов комплекса машин для послеуборочной обработки зерна почти не проводились, поэтому весьма актуальной задачей является повышение эффективности работы имеющихся комплексов машин для послеуборочной обработки зерна в условиях интенсивного сбора зернового материала, путем организационно-проектного планирования.

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многие исследования были направлены на повышение эффективности работы отдельных машин [2, 3, 4, 6] и рекомендаций по определению необходимого комплекса машин для послеуборочной обработки зерна.

Совершенствованием технологических схем зерноочистительных линий занималось много ученых: И.И. Ульрих, В.А. Кубишев, В.Г. Гулаев, И.А. Тюлькибаев, А.А. Лопань, Ю.И. Ермольев, И.С. Титов, А.И. Зелин.

В данных исследованиях предлагается способ, при котором на начальном этапе выделяется часть зерна высокого качества с кондиционными свойствами, затем выделение полноценного зерна высокого качества с между операционным его доведением до кондиционных свойств.

Аналитические исследования: Е.Я. Агафонова, В.Г. Антипова, И.Е. Кожуховского, В.А. Кубишева, были направлены на изучение влияния характеристик потоков зернового материала на работу отдельных элементов поточных очистительно-сушильно-сберегающих комплексов.

Изменение влажности, чистоты зернового материала, интенсивность его поступления в пределах сезона носит случайный (стохастический) характер, что было доказано следующими учеными с использованием теории вероятности: В.А. Кубишевым, В.Д. Шаповаловым, А.Е. Ивановым, В.П. Комаровым, А.В. Процеровым и др. [7, 8, 9, 17, 19, 20, 21]. Тем не менее, первые разработанные методики предусматривали потребность в оборудовании для послеуборочной обработки зерна и семян, которые предполагали постоянство характеристик потоков зернового материала как отмечено в трудах: К.А. Агафонова, В.А. Гобермана, Г.И. Синькова, И.Е. Кожуховского.

Вышеупомянутые исследования не дают полной информации разработчику организационно-технологического проекта в условиях интенсивного многономенклатурного поступления потока

на очистительно-сушильный пункт, поэтому актуальной задачей является разработка системно-проектного подхода к исследованию системы машин для послеуборочной обработки зерна и моделирования процессов сепарации зерновых материалов в условиях зернового тока, что позволяет рассмотреть систему в целом и исследовать причинно-следственные связи между операциями технологической системы.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка системно-проектного подхода, для моделирования процессов сепарации зерна в условиях зернотока и исследование системы машин для послеуборочной обработки зерна с целью повышения эффективности функционирования их работы во время уборки урожая.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Системно-проектный подход к исследованию технологических систем обслуживания многономенклатурных потоков предусматривает определение, сравнение и обоснование альтернативных решений, позволяющих повысить эффективность и необходимую производительность технологических систем.

Входными факторами выступают показатели, определяющие качество поступающего зернового материала:  $W_c \text{ ВХ}$  – влажность поступающего зерна;  $\Psi_c \text{ ВХ}$  – засоренность поступающего в очистительно-сушильно-сберегающий пункт зерна;  $Q_c \text{ ВХ}$  – интенсивность поступления зерна. Важны также характеристики, определяющие структуру многономенклатурного потока: продолжительность –  $\Delta t_{\text{вх}}$ , номенклатурность –  $\eta(t)_{\text{вх}}$ , объем отдельных партий –  $Q_{n \text{ вх}}$ .

Кроме этого важным начальным условием является также изменение качественных показателей собранного урожая во времени (динамика поступления зерна на зеновой ток).

После обработки зернового материала технологическим комплексом машин на току, зерновая масса получает свойства, которые можно охарактеризовать следующими параметрами:  $W_{c \text{ вых } (j)}$  – исходная влажность зерна;  $\psi_{c \text{ вых } (j)}$  – исходная засоренность зерна. Важным исходным параметром является скорость обработки зернового материала системой машин на току –  $Q_{c \text{ вых } (j)}$ .

Как уже отмечалось выше, входные факторы ( $W_{c \text{ вх}}, \psi_{c \text{ вх}}, Q_{c \text{ вх}}$ ) не являются постоянными в течение времени, а изменяются как в течение суток, так и в течение уборочного периода.

Мгновенное суточное поступление зернового материала от комбайнов на зерноочистительно-сушильно-сберегающий пункт сельскохозяйственного предприятия значительно отличается от среднесуточного и зависит в основном от одновременно работающих комбайнов и обслуживающих их транспортных средств, урожайности культуры, производительности комбайнов, расстояния между полями и очистительно-сберегающего пункта, размером посевной

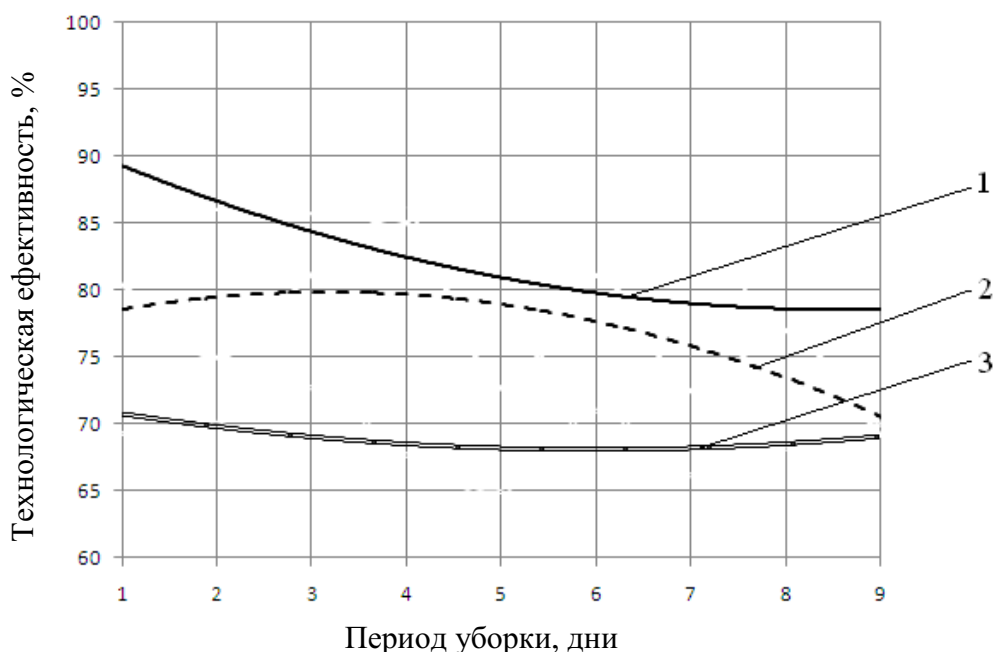
площади культуры. Среднесуточное поступление зернового материала за весь период сбора и среднесуточное поступление зерна в самый напряженный период уборки урожая значительно колеблется даже в хозяйствах с равной величиной посевных площадей, это объясняется разным уровнем организации уборочных работ. Неравномерность суточного поступления зерна характеризуется коэффициентом суточной неравномерности:

$$\delta = \frac{\overline{\Delta Q_{з \text{ доб}}}}{\overline{\Delta Q_{д \text{ доб}}}}, \quad (1)$$

где  $\overline{\Delta Q_{з \text{ доб}}}$  – среднее арифметическое трех максимальных суточных поступлений зерна за период уборки;

$\overline{\Delta Q_{д \text{ доб}}}$  – среднесуточное поступление зерна за весь период уборки.

На рис. 3 представлены графики зависимости технологической эффективности в зависимости от периода сбора при различных значениях коэффициента неравномерности  $\delta$  для хозяйства ДХ "Оленевское", Киевской обл.



1 – при  $\delta = 1,58$ ; 2 – при  $\delta = 1,8$ ; 3 – при  $\delta = 2,3$ .

Рис. 1. Зависимости технологической эффективности от периода уборки при различных значениях коэффициента неравномерности  $\delta$ .

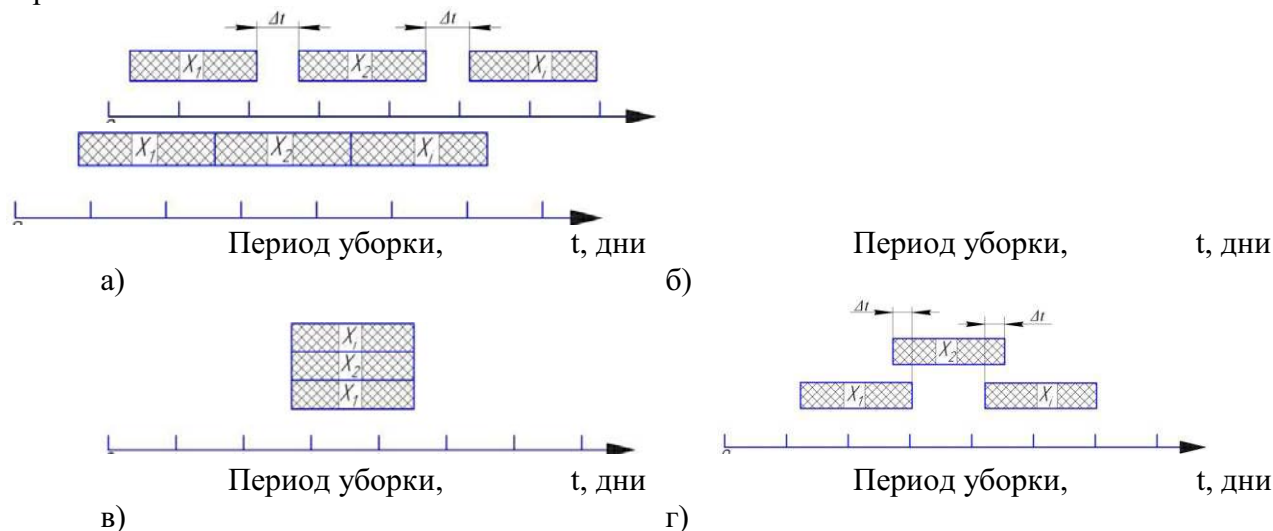
Этот коэффициент, как правило, находится в пределах от 1,5 до 2,2. Он зависит от технического оснащения хозяйств,

агротехники выращивания зерновых культур (урожайности), использования уборочной техники и почвенно-климатических условий

хозяйства. Коэффициент суточной неравномерности существенно влияет на оптимальную загрузку линии очистительно-сушильно-сберегающего пункта. От ритмичности и устойчивости работы линий напрямую зависит качество обработки и технологическая эффективность. Рис. 1 показывает, что с увеличением коэффициента неравномерности  $\delta$  технологическая эффективность системы машин для послеуборочной обработки зерна уменьшается. Поэтому при значении коэффициента суточной неравномерности более 2,0 используются переходные бункеры, или применяют дополнительное технологическое оборудование для очистки зерна.

Состав и характеристики технологических систем обслуживания многономенклатурных потоков зависят не только от объемов поступления зерна на очистительно-сушильно-сохраняющий пункт, но и от количества культур, которые одновременно собираются. Возможно также одновременная уборка различных сортов одной зерновой культуры, которые отличаются своими характеристиками. В этих случаях номенклатурность входного зернового потока  $\eta(t)_{ex} > 1$  [5, 6, 7].

Рассмотрим несколько вариантов поступления многономенклатурных потоков зерновых культур (рис. 2).



- а) последовательный с промежутками между периодами уборки различных культур  $\Delta t$ ;  
 б) последовательный без промежутков между периодами уборки различных культур;  
 в) параллельная уборка различных культур;  
 г) последовательный с промежутками  $\Delta t$  параллельно уборке различных культур.

Рис. 2. Схемы поступления различных культур (различных сортов одной культуры)  $x_1, x_2, \dots, x_i$  в течение работы очистительно-сушильно-сберегающего пункта

Наиболее оптимальный из рассмотренных способов является способ, который указан на (рис. 4 а), когда многономенклатурные потоки разлагается на однономенклатурные в определенных промежутках времени, причем между периодами уборки существует промежуток  $\Delta t$ . В течение этого промежутка возможно перенастроить систему машин очистительно-сушильно-сберегающего пункта на другую культуру. На практике такой случай наблюдается в начале и конце поступления потоков. Это обусловлено тем, что как в начале, так и в конце периода уборки,

зерновые культуры созревают на отдельных полях, поэтому в большинстве случаев возникает ситуация, когда необходимо параллельно собирать несколько культур. Во многих случаях наблюдается явление, которое показано на (рис. 4 б) и характеризуется тем, что в течение некоторого периода  $\Delta t$  происходит параллельная уборка различных культур. Для эффективного функционирования в этот период необходимо две и более поточных линии, или задействовать комплексы подвижных зерноочистительных машин. Наиболее неблагоприятным режимом

является случай который приведен на (рис. 4 в), в этом случае происходит параллельная уборка нескольких культур или разных сортов одной культуры. Для этого необходимо иметь несколько поточных линий для очистки различных сортов или группу зерноочистительных машин, в зависимости от одновременно собираемой культур.

Последовательность уборки различных зерновых культур зависит не только от сроков их созревания, но и от организации уборочных работ. Например, сроки уборки бобовых для зоны Степи, как правило, составляют по разным данным примерно 3-20 июля, а сроки уборки ранних зерновых - 6 июля-3 августа. В период с 6 июля по 20 июля возникает необходимость в послеуборочной обработке одновременно нескольких культур. Задержка в послеуборочной обработке в связи с перенастройкой режимов на другую культуру вызывает потери урожая. Поэтому в таких случаях необходимо функционирование одновременно 2 и более поточных линий в зависимости от номенклатурности культур  $\eta_{(t)вх.}$ , или применять переходные бункера для временного хранения.

Следует заметить, что для предотвращения накопления и задержки зерновой массы между операциями, нужно выполнять следующее условие:

$$q_1 < q_2 < q_3 < q_4, \quad (2)$$

где  $q_1, q_2, q_3, q_4$  - фактические производительности приемной, очистительной, сушильной и разгрузочной операций технологической системы обслуживания многономенклатурных потоков зерновых культур во время уборки урожая.

В случае невыполнения условия (2), т.е. когда производительность предыдущей операции превышает производительность следующей ( $q_i > q_{i+1}$ ), для эффективной работы нужно увеличивать производительность следующей операции  $q_{i+1}$  путем замены машиной большей производительности или установления дополнительного количества машин, возможно также установление переходных бункеров вместимостью  $Q_{пер}$ :

$$Q_{пер} = (q_i - q_{i+1}) \cdot T_{кр}, \quad (3)$$

где  $T_{кр}$  - период времени, в течение которого производительность предыдущей операции превышает производительность следующей операции ( $q_i > q_{i+1}$ ), дни;

Потери поврежденного зерна в процессе выполнения послеуборочной обработки зерна можно описать зависимостью:

$$B_y = \sum_{i=1}^n e_i, \quad (4)$$

где  $e_i$  - потери и повреждения зерна  $i$ -тим элементом технологической системы при обслуживании зерновых потоков.

Анализ формулы (4) указывает на то, что снижение потерь и повреждения можно достичь двумя путями: 1) меньшим количеством воздействием технических средств в составе технологической системы, 2) снижением воздействия  $i$ -того элемента на многономенклатурные потоки зерновых культур.

Для определения рационального состава технологических систем многономенклатурных потоков зерновых культур пользуются оценкой минимального среднего. Для этого определяют эмпирическую дисперсию  $S_n^2$ :

$$S_n^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N (\bar{\eta}_n)^2 - \frac{1}{N^2} \cdot [\sum_{n=1}^N \bar{\eta}_n]^2, \quad (5)$$

где  $\bar{\eta}_n$  - минимальное значение функционала, зависит от изменяемых параметров  $F(\beta_1, \beta_2 \dots \beta)$  с ограничениями  $G(\beta)$ .

Задача оптимизации решается в процессе статических имитационных моделей перебора и сравнения значений  $\bar{\eta}_n$  в области  $\Omega$  ( $\beta \in \Omega$ ). Область  $\Omega$  - множество дискретных значений, которые определяются величиной шагов при изменении параметров и ограничений  $G(\beta)$ .

Моделирование процессов сепарации зерна в условиях зернотока опишем зависимостями: плотности распределения влажности, плотности распределения производительности зерноочистительных машин, коэффициентом корреляции.

Плотность распределения влажности и засоренности зернового материала, поступающего на послеуборочную обработку в условиях тока:

$$f(w, s) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_w \cdot \sigma_s \cdot \sqrt{1-r^2}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2 \cdot (1-r^2)} \cdot \left[ -\frac{(w-m_w)^2}{\sigma_w^2} - \frac{2r \cdot (w-m_w) \cdot (s-m_s)}{\sigma_w \cdot \sigma_s} + \frac{(s-m_s)^2}{\sigma_s^2} \right] \right\} \quad (6)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции;

$$r = \frac{m_{w \cdot s} - m_w \cdot m_s}{\sigma_w \cdot \sigma_s}, \quad (7)$$

$\sigma_w$ ,  $\sigma_s$  – среднее квадратическое отклонение влажности и засоренности, соответственно;

$m_w$ ,  $m_s$  – математическое ожидание влажности и засоренности, соответственно.

Коэффициент корреляции рассчитывается по формуле:

где  $m_{w \cdot s}$  – математическое ожидание произведения влажности на засоренность.

Плотность распределения производительности зерноочистительных машин в зависимости от влажности  $w$  и засоренности  $s$ :

$$f(P_{ws}) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{P_{ws}}}} \exp \left[ -\frac{(P_{ws} - m_{P_{ws}})^2}{2 \cdot \sigma_{P_{ws}}^2} \right], \quad (8)$$

где  $m_{P_{ws}}$  – математическое ожидание производительности зерноочистительной машины рассчитывается по формуле:

$$m_{P_{ws}} = P_{зп} \cdot K_з \cdot (1 - k_w \cdot m_w) \cdot (1 - k_s \cdot m_s), \quad (9)$$

где  $P_{зп}$  – паспортная производительность зерноочистительной машины, т/ч;  $K_з$  – коэффициент, характеризующий условия работы зерноочистительной машины;  $k_w$  – коэффициент, учитывающий снижение производительности при увеличении влажности;  $k_s$  – коэффициент,

учитывающий снижение производительности при увеличении засоренности;  $\sigma_{P_{ws}}$  – среднее квадратическое отклонение производительности зерноочистительной машины рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{P_{ws}} = P_{зп} \cdot K_з \cdot \sqrt{[k_w \cdot (1 - k_s \cdot m_s)]^2 \cdot \sigma_w^2 + [k_s \cdot (1 - k_w \cdot m_w)]^2 \cdot \sigma_s^2 + 2 \cdot [k_w \cdot (1 - k_s \cdot m_s)]} \quad (10)$$

Плотность распределения производительности зерносушилок в зависимости от влажности  $w$ :

$$f(P_c) = \frac{1}{P_c^2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{K_c \cdot P_{сп}} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_w}} \exp \left[ -\frac{\left( \frac{1}{P_c} - \frac{m_w}{K_c \cdot P_{сп}} \right)^2}{2 \cdot \sigma_w^2 \cdot \left( \frac{1}{K_c \cdot P_{сп}} \right)^2} \right], \quad (11)$$

где  $P_{сп}$  – паспортная производительность зерносушилки, т/ч;

$K_c$  – коэффициент пропорциональности, рассчитывается по формуле:

$$K_c = \frac{k_H \cdot k_k \cdot k_e \cdot k_t}{c \cdot (1 - k_H) + k_H} \cdot \Delta w, \quad (12)$$

$k_H$  – коэффициент, учитывающий зависимость производительности зерносушилки от назначения зерна;

$k_k$  – коэффициент, учитывающий зависимость производительности зерносушилки от вида зерна;

$k_e$  – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации зерносушилки;

$k_\tau$  – коэффициент использования времени смены;

$C$  – содержание семенного зерна в общей массе зерна, %;

$\Delta w$  – изменение влажности при паспортной производительности зерносушилки, %.

Математическая модель процесса функционирования системы тока представлена, как замкнутая квазистатическая система с различными  $\kappa_s$  - ми функциональными схемами в общем виде можно записать уравнениями:

$$E_{O\delta} = \{F_0, A_0, G_\delta[K_\delta(x), T_\delta(x)]\} \rightarrow \max \quad (13)$$

$$Z_{прв} = \left\{ \begin{array}{l} F_0, A_0, G_\delta[K_\delta(x), T_\delta(x)], \Pi_{T\delta}[K_\delta(x), \alpha_{1\delta}(x), \alpha_{4\delta}(x), b_{c\delta}(x), b_{m\delta}(x)] \\ \Pi_\delta[K_\delta(x), N_\delta(x), B_\delta(x)] \end{array} \right\} \rightarrow \min \quad (14)$$

$$A_0 \subset \vec{A}_0, \quad F_0 \subset \vec{F}_0, \quad x \in G(x, u)$$

$E_{O\delta}$  - критерий оптимизации, который характеризует полноту выделения из входного вороха отдельные компоненты;  $Z_{прв}$  - приведенные затраты.

Ограничения, налагаемые на технологические показатели конечного

$$\alpha_{i\delta} \geq [\alpha_{i\delta}], \quad \delta_{i\delta} \leq [\delta_{i\delta}], \quad b_{c\delta}(x) \leq [b_{c\delta}(x)], \quad b_{m\delta}(x) \leq [b_{m\delta}(x)] \quad (15)$$

$F_0$  - вектор входного воздействия на рассматриваемую систему

$$F_0 = \{Q, a_j, W, \gamma, M(b_i), \sigma_{bj}^2, V_{bj}, f_{Vbj}(V), f_Q(B)\} \quad (16)$$

где  $Q$  - подача зернового вороха в зерноочистительно-сушильный комплекс;  $a_j, W, \gamma$  - содержание в исходном материале  $j$ -х компонентов, их плотность и влажность соответственно;  $M(b_i), \sigma_{bj}^2$  - математическое ожидание и дисперсия размеров признаков разделения  $j$ -х компонентов;  $V_{bj}, f_{Vbj}(V)$  - средняя скорость витания и плотность

вероятности ее распределения для  $j$ -х компонентов вороха;  $f_Q(B)$  - плотность вероятности распределения зернового материала по ширине решетной поверхности очистной машины.

$A_0$  - Вектор управляющих факторов системы, обеспечения ее функционирования:

$$A_0 = \{h_u, V_{bi}, f_{Vi}(b_i), C_i, B_{0i}, l_{pi}, B_{pi}, n_{pi}, K_\delta(x)\} \quad (17)$$

где  $h_u$  - регулятор ширины выпускной щели бункера в распределительных устройствах машин;  $V_{bi}, f_{Vi}(b_i)$  - средняя скорость витания и плотность вероятности ее распределения

для  $i$ -х компонентов вороха;  $C_i, B_{0i}, l_{pi}, B_{pi}$  - тип решетной части соответствующей машины, форма отверстий, их длина и ширина соответственно;  $n_{pi}$  - частота

колебаний решетных станов;  $K_\delta(x)$  - вид той или иной схемы очистки в зерноочистительно-сушильном комплексе.

$G_\delta[K_\delta(x), T_\delta(x)]$  - функционал, определяющий показатели технологического процесса в комплексе (полнота выделения  $j$ -х компонентов, потери зерна, чистота очищенного зерна, содержание в очищенном зерне других  $j$ -х компонентов) для различных  $K_\delta(x)$  схем.

При этом для оценки показателей функции цели (13) и показателей технологического процесса  $G_\delta[K_\delta(x), T_\delta(x)]$  для различных вариантов функциональных схем необходимо построить соответствующие математические модели, часть которых уже известна, которые описывают рассмотренные в схемах подсистемы при заданных аргументах векторов  $F_0(4)$  и  $A_0(5)$ .

$\Pi_{T\delta}[K_\delta(x), \alpha_{1\delta}(x), \alpha_{4\delta}(x), b_{c\delta}(x), b_{m\delta}(x)]$  - функционал который определяет стоимость потерь, связанных с выходом  $\alpha_{1\delta}(x)$  зерна в отходы, от доли выхода очищенного зерна  $\alpha_{4\delta}(x)$ ; содержание в очищенном зерне

$$B_0 = \{E_\phi, Z_\Pi, Q_N, Q_\phi, Q_B, \varepsilon_{bji}, b_{ji}, q_{cji}, q_{nji}, \delta_{ji}\} \quad (18)$$

Г

де  $E_\phi$  - критерий эффективности реализации технологического процесса в комплексе;  $Z_\Pi$  - прямые затраты;  $Q_N, Q_\phi, Q_B$  - массовые выходы семенного материала, фуража, отходов;  $\varepsilon_{bji}$  - полнота выделения из обработанного материала  $j$ -х компонентов;  $q_{cji}, q_{nji}$  - количество  $j$ -го компонента в семенном материале и проходовых фракциях;  $\delta_{ji}$  - потери семян в отходы в  $i$ -й фракции.

Задача оптимальной структуры состоит и в нахождении:

- Узлов системы  $V$  [8, 9];
- Связей между ними  $Q_V$  [10, 11];
- Возложенных на технические средства задачи  $A$  и вариантов их решения

примесей  $b_{c\delta}(x)$ , а также и других в том числе минеральных примесей  $b_{m\delta}(x)$  в зависимости от реализации  $K_\delta(x)$  схемы зерноочистительно-сушильного комплекса.

$\Pi_\delta[K_\delta(x), N_\delta(x), B_\delta(x)]$  - функционал который определяет изменения в использовании энергии  $N_\delta(x)$  и балансовой стоимости оборудования  $B_\delta(x)$  в зависимости от использования различных схем очистки и сушки на зерноочистительно-сушильном комплексе  $K_\delta(x)$ ;

$G(x, u)$  - графическая модель функциональных схем комплекса, определяет варианты  $x$ -й схемы и минимизирует  $Z_{ПрВ}$ .

Исходные показатели системы определяются вектором  $B_0$ , аргументы которого являются случайными величинами в вероятностно-статистическом смысле:

$\omega_i, \omega_i = \overline{1, \Omega_i}$  (где  $\Omega_i$  - количество вариантов решения задачи  $A_i$ ) в распределении их по уровням и узлам системы и в выборе комплекса технических средств  $T$ , при которых максимизируется эффект решения задач и описывается выражением:

$$\max \sum_{g_i \in A, \omega_i \in \Omega} E_{g_i}^{\omega_i} \sum X_{g_i, j, tC}^{\omega_i} \quad (19)$$

где  $E_{g_i}^{\omega_i}$  - эффект от внедрения  $g_i$ -го этапа на  $i$ -й задаче при использовании  $\omega_i$ -го варианта его решения; переменная  $X_{g_i, j, tC}^{\omega_i}$  принимает значение 1, если  $g_i$ -й этап  $i$ -й задаче при использовании  $\omega_i$ -го варианта



его реализации решается в  $j$ -м узле  $t_C$ -м техническим средством  $C$  типа и значение 0 - в противном случае.

Так предполагается, что каждый этап задачи решается в одном узле как приведено в исследованиях [12, 13, 14].

$$\sum_{g_i \in A, \omega_i \in \Omega, t_C \in T} W_{g_i, j, t_C, r}^{\omega_i} \cdot X_{g_i, j, t_C}^{\omega_i} \leq W_r \quad (20)$$

где  $r = \overline{1, R}$  - тип ресурса;  $W_r$  - величина используемого ресурса.

$$\sum_{g_i \in A, \omega_i \in \Omega, t_C \in T} I_{g_i, j}^{\omega_i} \cdot F_{g_i, j, t_C}^{\omega_i} \cdot X_{g_i, j, t_C}^{\omega_i} \leq \Psi_{j, t_C} \quad (21)$$

где  $I_{g_i, j}^{\omega_i}$  - интенсивность (частота) решения  $g_i$ -го этапа  $i$ -й задачи при  $\omega_i$ -м варианте решения;  $\Psi_{j, t_C}$  - загрузка  $t_C$ -го технического средства  $C$  типа в  $j$ -м узле;  $F_{g_i, j, t_C}^{\omega_i}$  - время выполнения  $g_i$ -го этапа  $i$ -й задачи в  $j$ -м узле  $t_C$ -го технического средства при  $\omega_i$ -м варианте его решения.

## ВЫВОД

Системно-проектный подход к управлению системой машин для послеуборочной обработки зерна позволяет сформировать инженерное множество задач проектирования и эффективного управления технологической системой зернотока. При этом, имея данные о входящих факторах, климатических особенностях местности, структуре посевных площадей, валового сбора - исследователь, проектировщик может синтезировать необходимую для данных условий схему технологической системы с ее рациональными параметрами. Моделирование процессов сепарации в условиях зернотока позволяет упростить расчеты, по определению оптимального количества технических средств их

При этом очевидно, что  $\sum X_{g_i, j, t_C}^{\omega_i} = 1$ .

Оптимальная структура по данным [15, 16, 17, 21] определяется при ограничении на ресурсы, загрузки технических средств и своевременность решения задач, то есть:

Суммарное количество вариантов анализа, как отмечают авторы [17, 18, 19, 20] можно рассчитать по формуле:

технологических и конструкционных параметров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Програма "Зерно України – 2015" – К.: ДІА, 2011 г. – 48 с.
2. Власов М.И. Совершенствование технологического процесса очистки семенного зерна на зерноочистительной линии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Власов Михаил Иванович – Челябинск, 1995 г. – 20 с.
3. Елькин В.К. Исследование динамики и организация технологического процесса обработки семян: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Елькин Виталий Кузьмич — Орджоникидзе, 1975 г. – 31 с.
4. Макарычев Б.А. Исследование и оптимизация структуры предприятий послеуборочной обработки зерна методом статистического моделирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Макарычев Борис Александрович — Москва, 1976 г. – 30 с.
5. Сидорчук О.В. Інженерія машинних систем. Монографія. [Текст] / О.В. Сидорчук – К.: ННЦ "ІМЕСГ" УААН, 2007. – 263 с.
6. Степаненко С.П. Функціонально-структурне моделювання технологічних процесів післязбиральної обробки зерна на

- току. /С.П. Степаненко/ Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 166. ч. 2 – С. 187–197.
7. Завалишин Ф.С. Методы исследования по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М.: Колос, 1982. – 231 с.
8. Бусленко Н.М. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 401 с.
9. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
10. Максимей И.В. Система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов, реализующая агрегатный способ имитации /И.В. Максимей/ Проблемы программирования. – М.: – 2004. – №4. – С.25–31.
11. Котов Б.І. Нечітка автоматична система керування охолоджувачем повітря / Б.І. Котов, В.О. Грищенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип.103. – С. 116–121.
12. Гольцев А.С. Моделирование сложных систем. /А.С. Гольцев, В.И. Капля, Д.Н. Лясин/ Волгоград: ВолгГТУ, 2007. – 177 с.
13. Кулямин В.В. Методы верификации программного обеспечения /В.В. Кулямин/. М.: Институт системного программирования РАН, 2009. – 160 с.
14. Петров Ю.А. Комплексная автоматизация управления предприятием. /Ю.А. Петров/ Информационные технологии – теория и практика. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 160 с.
15. Феклисов Г.И. Математическое обеспечение систем управления запасами. – М.: Мир, 1981. – 576 с.
16. Фишберн Н. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
17. Хабатов Р.Ш. Прогнозирование оптимальных параметров агрегатов и состава МТП. 1969. – 76 с.
18. Цвит Б.Д., Степанов В.Е., Митрофанов А.И. Обоснование состава уборочно-транспортных комплексов. // Механиз. и электр. с. х-ва. – 1988. №8. – С. 17–20.
19. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
20. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
21. Лэсдон Л.С. Оптимизация больших систем. Перев. с англ. – М.: Наука, 1975. – 240 с.

#### FEATURES MODELING OF SEPARATION OF GRAIN ON THRESHING FLOOR MANAGEMENT

**Summary.** In paper the system-design approach to management of system of machines for post harvest grain, model the separation of grain corn in current economy, determine the cause and effect relationship between the technological parts of the system.

**Key words:** separation, threshing floor, modeling, process.