

## МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

*Александр Сидорчук<sup>1</sup>, Владимир Скибчик<sup>1</sup>, Виктор Днес<sup>1</sup>, Леонид Сидорчук<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», ул. Вокзальная, 11, Глеваха, Украина. E-mail: [skibczyk@mail.ru](mailto:skibczyk@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Львовский национальный аграрный университет, ул. В. Великого, 1, Дубляни, Украина*

*Alexandr Sydorchuk<sup>1</sup>, Vladimir Skibchik<sup>1</sup>, Viktor Dnes<sup>1</sup>, Leonid Sydorchuk<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*National scientific center «Institute for Agricultural Engineering and Electrification»,  
st. Vokzalna, 11, Glevaha, Ukraine. E-mail: [skibczyk@mail.ru](mailto:skibczyk@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Lviv National Agrarian University,  
st. V. Velikogo, 1, Dubliany, Ukraine*

**Аннотация.** Для исследования систем предварительной очистки зерна использованы методы системного подхода, анализа и синтеза, статистического имитационного моделирования, дедукции и индукции, статистического анализа и итераций.

Для адекватного описания имитационной модели процесса функционирования систем послеуборочной обработки зерна их работа рассматривается во взаимодействии с уборочно-транспортными системами.

Проведен структурный анализ систем послеуборочной обработки зерна и выделены их составные части, которыми являются системы (подсистемы) предварительной, первичной, вторичной очистки и сушки зерна. Определение рациональных параметров систем послеуборочной обработки зерна заключается в системном определении рациональных параметров каждой из их составляющих.

Параметры систем предварительной очистки зерна отображаются: количеством машин предварительной очистки; их производительностью; объемом накопительного бункера; площадью площадок для временного размещения зерна; численностью обслуживающего персонала.

Метод определения рациональных параметров систем предварительной очистки зерна сельхозтоваропроизводителей базируется на выборе каждой из составляющих на основе стоимостного или энергетического критерия. Для прогнозирования числового значения этого критерия исследуется технологический процесс предварительной очистки зерна. Данный метод предусматривает итерационное исследование показателей функционирования технологических систем уборки и послеуборочной обработки зерна на основе статистического имитационного моделирования, которым учитываются все основные факторы процессов уборки и послеуборочной обработки урожая ранних зерновых культур.

Разработанный метод обоснования рациональных параметров систем предварительной очистки зерна позволяет учесть: влияние агрометеорологических условий на работу уборочно-транспортных комплексов и формирование характеристик зернового потока; влияние работы систем предваритель-

ной очистки зерна на работу уборочно-транспортных комплексов. Метод обоснования рациональных параметров систем предварительной очистки зерна предусматривает последовательное решение задач на каждом из восьми этапов.

**Ключевые слова:** метод, система, послеуборочная обработка зерна, зерновой поток, предварительная очистка, статистическое имитационное моделирование.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одно из основных направлений повышения эффективности производства зерна заключается в согласовании параметров зерноуборочно-транспортной системы (ЗТС) и системы послеуборочной обработки зерна (С ПОЗ).

Поскольку наиболее загруженной подсистемой С ПОЗ является подсистема предварительной очистки зерна (П ПОЗ), которая непосредственно взаимодействует с уборочно-транспортной системой и должна обеспечивать своевременность выгрузки транспортных средств с зерном и предварительную очистку всего нестационарного потока зерна от ЗТС, то обоснование параметров пункта послеуборочной обработки следует начать с обоснования рациональных параметров ППОЗ.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Используемые методы обоснования параметров П ПОЗ можно разделить на основные группы: 1) методы нормативных показателей [1-3]; 2) математический анализ [4-5]; 3) математическое программирование [6-7]; 4) теория массового обслуживания [8-9]; 4) имитационное моделирование [10-14]. Методы определения параметров П ПОЗ, основанные на нормативных показателях [1-3], не учитывают ряда факторов - посезонного изменения количественных и качественных характеристик зерна, поступающего на пункт в зависимости от параметров зерноуборочно-транспортного парка и условий их функционирования, программы выращивания зерновых культур;

функциональные взаимосвязи между уборочно-транспортной и очистительной системами, а также внутренние связи между составляющими этих систем.

Используемые детерминированные методы [4-7] обоснования параметров П ПОЗ, основанных на математическом анализе, не позволяют учесть вероятностные характеристики зернового потока, функциональных показателей технологического процесса обработки зерна. Они не позволяют адекватно отразить и учесть влияние агрометеорологических условий и показателей работы уборочно-транспортных комплексов на изменение характеристик потока зерна на пункт.

В методиках, основанных на теории массового обслуживания [8-9] используется упрощенная модель потока зерна на пункт, он рассматривается как простой стационарный поток. Это не позволяет учесть влияние агрометеорологических условий уборочного сезона и показателей работы уборочно-транспортных комплексов на формирование характеристик зернового потока.

Методики [10-14] статистического имитационного моделирования функционирования П ПОЗ также имеют ряд недостатков. Во-первых, не учтено влияние параметров уборочно-транспортного комплекса на изменение характеристик зернового потока, который определяет параметры пункта послеуборочной обработки. Авторами только создана статистическая модель зернового потока, учитывающая урожайность зерновых культур и ее отклонения, суточную интенсивность поступления, часовую и суточную неравномерность поступления зерна на пункт, среднесуточное и сезонное изменение влажности зерна не учитывается. Во-вторых, создание отдельных автономных имитационных моделей работы приемного отделения (предварительной очистки) и модели «сушилка-бункер-зерноочистительная машина» не позволяет учесть всех функциональных взаимосвязей между ними. В-третьих, не учтено влияние работы П ПОЗ на работу уборочно-транспортных комплексов.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать метод обоснования рациональных параметров подсистем предварительной очистки пунктом послеуборочной обработки зерна, который учитывал влияние стохастических характеристик зернового потока от ЗТС на технологический процесс его очистки и влияние функционирования П ПОЗ на работу уборочно-транспортных комплексов.

## ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для адекватного отражения в имитационной модели процесса функционирования системы послеуборочной обработки зерна следует рассматривать ее во взаимодействии с уборочно-транспортной системой. Эти сложные системы являются интегрированными, параметры одной системы определяют параметры другой и наоборот. Поэтому, определять рациональные параметры ЗТС и С ПОЗ следует системно (во взаимосвязи) [15-21].

Система послеуборочной обработки зерна состоит из следующих подсистем (рис.1.): предварительной, первичной, вторичной очистки и сушки зерна [16]. Параметры С ПОЗ обусловлены параметрами ее подсистем. Поэтому определение рациональных параметров этой системы заключается в системном определении рациональных параметров каждой ее подсистемы.

Параметры  $Z_{ПОЗ}$  П ПОЗ пункта послеуборочной обработки зерна отражаются следующими составляющими: 1) количеством машин предварительной очистки –  $N_{ПОЗ}$ ; 2) их производительностью –  $W_{ПОЗ}$ ; 3) объемом накопительного бункера (завальной ямы) –  $Q_6$ ; 5) площадью площадок для временного размещения зерна –  $S_m$ ; численностью обслуживающего персонала –  $n_{np}$  [16]:

$$Z_{ПОЗ} = f(N_{ПОЗ}; W_{ПОЗ}; Q_6; S_m; n_{np}). \quad (1)$$

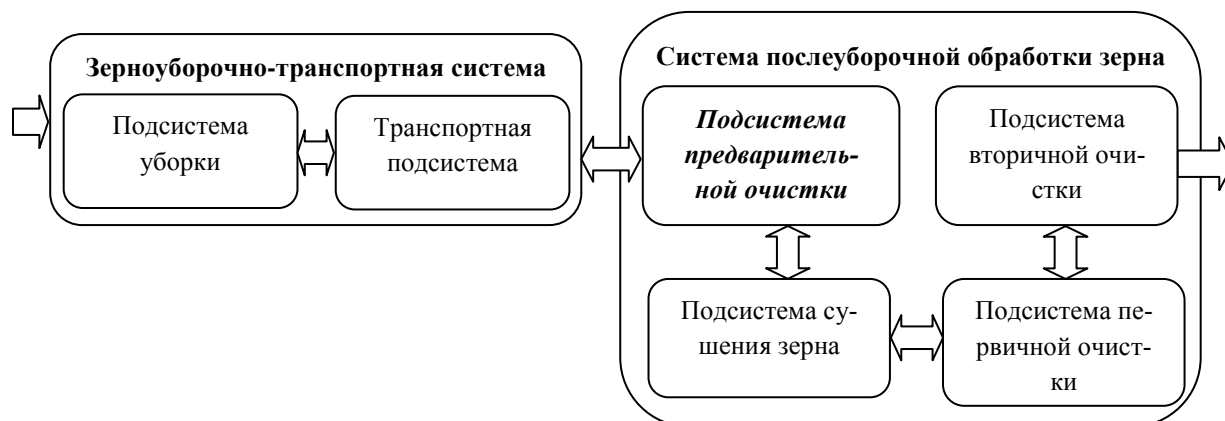


Рис. 1. Составляющие производственных систем уборки и послеуборочной обработки зерна  
Fig. 1. Parts of manufacturing systems of the gathering and the post-harvest grain

Метод определения рациональных параметров П ПОЗ пункта послеуборочной обработки зерна того или иного сельхозтоваропроизводителя (СХТ) базируется на выборе каждой из составляющих  $Z_{\text{ПОЗ}}^p$  на основе стоимостного или энергетического критерия. Для прогнозирования числового значения этого критерия исследуют технологический процесс предварительной очистки зерна (ТП ПОЗ) при заданных параметрах  $Z_{\text{ПОЗ}}$ .

Поскольку составляющие параметров  $Z_{\text{ПОЗ}}$  могут иметь разные значения, необходимо обозначить границы наиболее вероятных значений этих параметров. Это позволит сократить объем необходимых исследований. Поэтому первым этапом определения рациональных параметров  $Z_{\text{ПОЗ}}^p$  является определение напряженного периода (суток) в ТП ПОЗ. Напряженный период характеризуется максимальным значением объема собранного зерна  $Q_{\text{ЗТК}}^{j\text{max}}$  в  $j$ -е сутки. Если для своевременного обслуживания такого потока зерна объемом  $Q_{\text{ЗТК}}^{j\text{max}}$  подобрать машину (машины) предварительной очистки, то значение ее параметров будут такими, которые обеспечат своевременное обслуживание потока меньшего объема. Соответственно, влияние функционирования П ПОЗ при таких параметрах на работу ЗТК будет минимальным (отсутствующим) как в напряженный, так и в напряжен периоды. Поэтому, напряженный период технологического процесса послеуборочной обработки зерна (ТП ПОЗ) определяется с целью ориентировочного расчета параметров П ПОЗ, которые будут верхней границей среди множества всех возможных значений этих параметров.

Определение напряженного периода в ТП ПОЗ заключается в следующем. Максимальный объем зерна  $Q_{\text{ЗТК}}^{j\text{max}}$  будет характерен для уборки  $k$ -й зерновой культуры с высокой урожайностью  $U_{k\gamma}^{\text{max}}$  на  $\gamma$ -м поле наибольшей площади  $S_{k\gamma}^{\text{max}}$  среди множества всех полей производственной программы хозяйства при отсутствии влияния на работу ЗТК агрометеорологических условий. Поэтому, выполнив анализ заданной производственной программы СХТ (характеристик полей с зерновыми культурами), находим поле, характеризующееся максимальными значениями указанных показателей.

Для заданного поля по методике [17] определяем оптимальные параметры ЗТК, который обеспечит темпом выполнения работ  $W_{\text{ЗТК}}^{\text{д}}$ . Зная этот темп, мы можем определить максимальный объем  $Q_{\text{ЗТК}}^{j\text{max}}$  зерна, собранный с этого поля:

$$Q_{\text{ЗТК}}^{j\text{max}} = \frac{S_{k\gamma}^{\text{max}} \cdot U_{k\gamma}^{\text{max}}}{W_{\text{ЗТК}}^{\text{д}}} \quad (2)$$

По результатам статистического имитационного моделирования работы ЗТК с параметрами, определенными ранее, оцениваем риск возможных потерь  $B_y$  выращенного урожая из-за несвоевремен-

ности его уборки по известной методике [17], с учетом агрометеорологических условий уборочного периода. Потери  $B_y$  характеризуют эффективность функционирования ЗТК при отсутствии влияния на ее работу П ПОЗ. В этом случае параметры  $Z_{\text{ПОЗ}}$  имеют максимальное значение и обеспечивают своевременность обслуживания потока требований. В этом случае возможные потери  $B_y$  обусловлены несогласованностью характеристик производственного плана уборки ранних зерновых культур с параметрами ЗТК.

Следующим этапом определения рациональных параметров П ПОЗ является ориентировочное определение необходимой (максимальной) суточной производительности зерноочистительной машины для напряженного периода ( $W_{\text{но.р}}^{\text{д.м}}$ ). С этой целью необходимо определить суточную производительность  $W_{\text{но.р}}^{\text{д}}$  для каждой  $r$ -й машины предварительной очистки зерна, характеризующихся разной часовой производительностью  $W_{\text{но.р}}^{\text{з}}$ . Это позволяет сформировать машины в ряд по значению  $W_{\text{но.р}}^{\text{д}}$ . При определении суточной производительности  $W_{\text{но.р}}^{\text{д}}$   $r$ -й зерноочистительной машины, необходимо учесть ее организационный режим работы. В отличие от режима работы ЗТК, допустимый фонд времени работы которых ограничивается агрометеорологическими условиями, режим функционирования П ПОЗ является независимым от природных условий. При проектировании П ПОЗ целесообразно задаваться трехсменным режимом работы зерноочистительной машины. Это позволит подобрать машину меньшей суточной производительности и, соответственно, уменьшить удельные затраты на выполнения ТП ПОЗ за счет уменьшения овеществленных средств [18]. Поэтому в наших исследованиях принимаем трехсменный режим функционирования П ПОЗ. Суточная производительность  $r$ -й зерноочистительной машины:

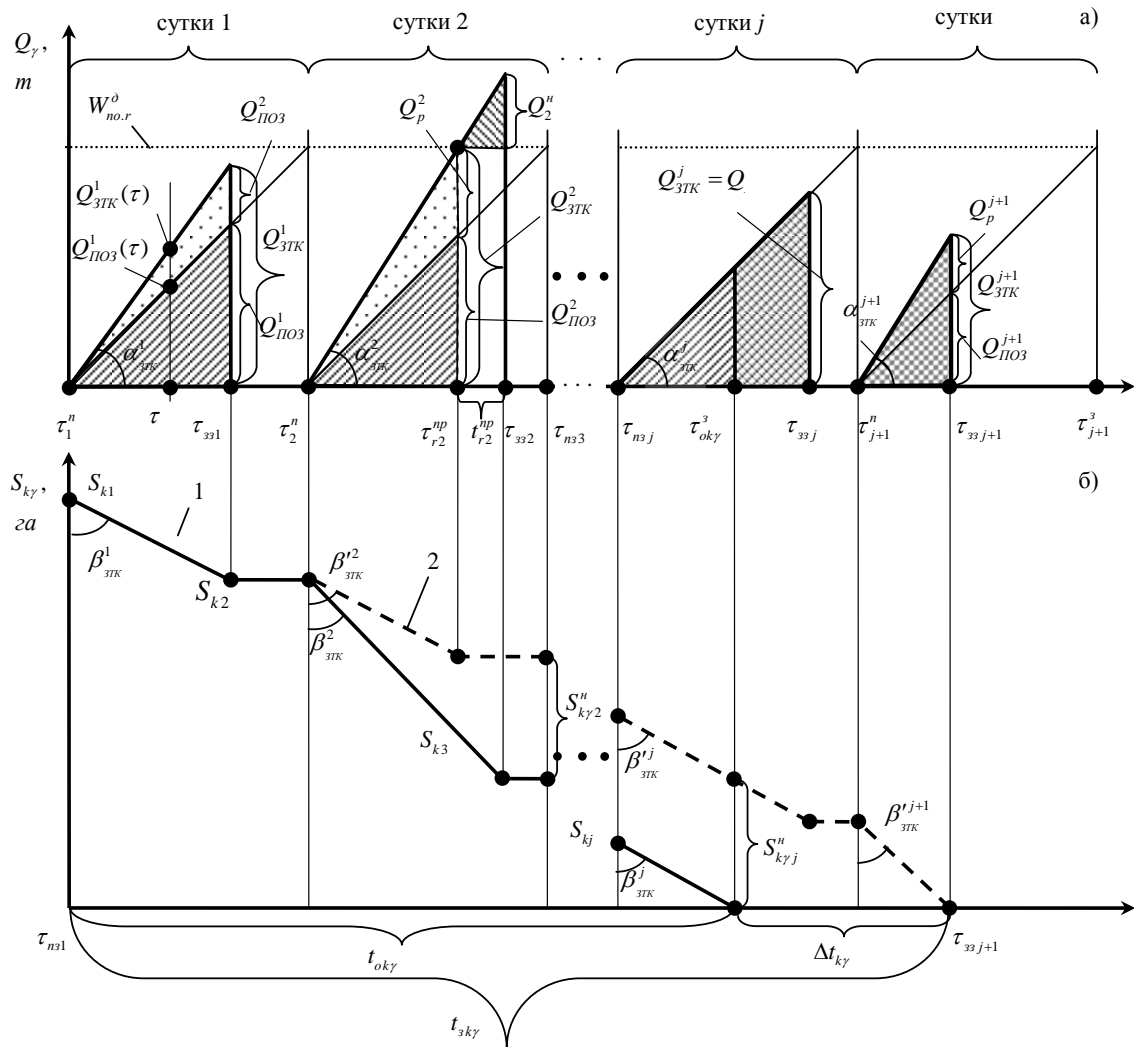
$$W_{\text{но.р}}^{\text{д}} = W_{\text{но.р}}^{\text{з}} \cdot t_{\text{зм}} \cdot n_{\text{зм}} \quad (3)$$




где:  $t_{\text{зм}}$  – продолжительность смены, ч;  $n_{\text{зм}}$  – количество рабочих смен в сутки.




Зерноочистительная машина, суточная производительность которой будет равна максимальному суточному объему собранного зерна ( $W_{\text{но.р}}^{\text{д}} = Q_{\text{ЗТК}}^{j\text{max}}$ ) будет иметь искомый параметр  $W_{\text{но.р}}^{\text{д.м}}$ .

Выбор машины предварительной очистки зерна с производительностью  $W_{\text{но.р}}^{\text{д.м}}$  позволяет не рассматривать в дальнейших исследованиях зерноочистительные машины, суточная производительность которых больше.

Следующим этапом является выбор машины предварительной очистки зерна с параметрического ряда, значение суточной производительности которой  $W_{\text{но.р}}^{\text{д}}$  является ниже максимального  $W_{\text{но.р}}^{\text{д.м}}$ .



**Рис. 2.** Графическая интерпретация обоснование параметров подсистем предварительной очистки зерна: а) графическое отображение формирования потока требований на предварительную очистку зерна с  $\gamma$  - о поля и оценка возможности его предварительной очистки; б) графическое отображение уменьшения несвоевременно убранной площади  $\gamma$ -о поля под  $k$ -й зерновой культурой в результате работы уборочно-транспортных комплексов без (1) и с (2) влиянием функционирования подсистемы предварительной очистки зерна: , ,  – соответственно, объемы предварительно очищенного зерна и зерна, временно размещенного на площадке в период поступления потока в подсистему, объем несвоевременно убранного урожая в сутки.

**Fig. 2.** The graphical interpretation of the ground for rational parameters of systems for the precleaning of grain: a) the affichage graphique of the formation for a deluge of demands one the precleaning of grain from fields  $\gamma$  – o and the appreciation of opportunity for his precleaning; b) the affichage graphique of the decrement of the untimely gathering territory  $\gamma$  – o of the field with  $k$ -й cereal with the help of the harvesting and transport complexes without (1) and with (2) impact of the functioning of the subsystem for the precleaning of grain: , ,  – volumes of the precleaning of grain and grain which is situated temporality on the territory at the time of the arrival rate in the subsystem, the volume of the untimely gathering harvest in 24 hours.

На следующем этапе обоснования  $Z^p_{ПОЗ}$  выполняется статистическое имитационное моделирование работы ЗТК для заданного производственного плана уборки, с учетом торможения этого процесса из-за несвоевременности обслуживания потока требований на ПОЗ при выбранной машине с суточной производительностью  $W^o_{но.р}$ . В результате определяем суммарное время  $t^{np}_r$  простоя ЗТК вследствие торможения зерноуборочно-транспортного процесса, а также суточный объем несвоевременно убранной площади  $S^h_{k\gamma_j}$  в  $j$ -е сутки и увеличение продолжительности

уборки на отдельных полях  $\Delta t_{k\gamma_j}$  в  $j$ -е сутки. Стоимостная оценка этих показателей позволяет определить потери, соответственно, через потери зерна  $B_y$  из-за осыпания и «стекания» в связи с несвоевременностью его уборки.

Раскроем суть определения показателей  $t^{np}_r$ ,  $S^h_{k\gamma_j}$  и  $\Delta t_{k\gamma_j}$ . Рассмотрим произвольное  $\gamma$  – е поле под  $k$  - й зерновой культурой площадью  $S_{k\gamma}$ . По оси времени (рис.2,а) отложим равные промежутки времени (сутки 1, 2, ...,  $j$ ,  $j + 1$ ), отражающие время ра-

боты П ПОЗ. Начало рабочей смены –  $\tau_j^n$ , а завершение предыдущей совпадает с началом следующей ( $\tau_j^s \equiv \tau_{j+1}^n$ ), поскольку перерывы между сменами не рассматриваем.

Для каждой сутки уборки поля  $S_{k\gamma}$  на продолжительность смены функционирования П ПОЗ накладываем суточный организационно-откорректированный фонд времени работы ЗТК, который является вероятностным (разным для каждого  $j$ -го дня). Начало этого времени  $\tau_{nzj}$  и завершение  $\tau_{zzj}$  зависят от погодных условий, а именно дефицита влажности воздуха, который определяет исчезновения и появление росы. Начало работы ЗТК в  $j$ -е сутки инициирует начало работы П ПОЗ и, соответственно, начало рабочей смены ( $\tau_{nzj} \equiv \tau_j^n$ ). Ось ординат отражает суточный объем собранного урожая  $Q$ . Объем собранного урожая зерновых ЗТК в течение  $j$ -о дня (суточная производительность) зависит от продолжительности организационно-откорректированного фонда времени  $t_j^o$  работы ЗТК, урожайности  $U_{k\gamma}$ , коэффициента соломистости  $\delta_{k\gamma}$   $k$ -й зерновой культуры на  $\gamma$ -м поле и длины гона  $\gamma$ -о поля  $L_\gamma$ :

$$Q_{ЗТК}^j = f(t_j^o, U_{k\gamma}, \delta_{k\gamma}, L_\gamma). \quad (4)$$

Суточная производительность  $Q_{ЗТК}^j$  отображается углом  $\alpha_{ЗТК}^j$  (рис. 2, а) – чем больше значение  $Q_{ЗТК}^j$ , тем угол  $\alpha_{ЗТК}^j$  является большим и наоборот.

Чтобы определить продолжительность простоя ЗТК в  $j$ -е сутки ( $t_{rj}^{np}$ ), необходимо по оси ординат (рис. 2, а) отложить значение суточной производительности  $W_{no.r}^o$   $r$ -й зерноочистительной машины, которая была выбрана на предыдущем этапе. Во время выполнения повторного статистического имитационного моделирования работы ЗТК находим момент времени  $\tau_{rj}^{np}$  в который суточный объем собранного урожая превысит суточную производительность зерноочистительной машины ( $Q_{ЗТК}^j > W_{no.r}^o$ ). То есть, в момент  $\tau_{rj}^{np}$  работа ЗТК (в  $j$ -е сутки) останавливается. Дальнейший сбор зерна и его поступления к П ПОЗ приведет к возникновению риска несвоевременной предварительной очистки этого зерна. Продолжительность с момента остановки ЗТК  $\tau_{rj}^{np}$  до завершения организационно-откорректированного фонда времени его работы в  $j$ -е сутки является временем простоя данного комплекса  $t_{rj}^{np}$  из-за неспособности обслуживания потока требований на предварительную очистку зерна.

Оценив возможное появление и продолжительность простоев во время сбора других полей сезонной программы, находим суммарное значение простоя ЗТК  $t_r^{np}$  для сезона в целом ( $t_r^{np} = \sum_j t_{rj}^{np}$ ) вслед-

ствие торможения их работы из-за несвоевременности обслуживания потока зерна П ПОЗ.

Определение объема несвоевременно собранной площади  $S_{k\gamma j}^n$  в  $j$ -е сутки вследствие простоя ЗТК из-за несвоевременности обслуживания потока требований на предварительную очистку зерна заключается в следующем. Зная суточную производительность  $Q_{ЗТК}^j$  ЗТК, можно оценить, как уменьшится несобранная площадь  $S_{k\gamma j}$  в течение  $j$ -о дня сбора  $k$ -й зерновой культуры на  $\gamma$ -м поле:

$$S_{k\gamma j} = \frac{Q_{ЗТК}^j}{U_{k\gamma}}. \quad (5)$$

Как уже упоминалось, производительность ЗТК в каждые сутки будет разной, соответственно и объем собранной площади тоже будет неодинаков. Интенсивность уменьшения  $S_{k\gamma j}$  в  $j$ -е сутки уборки на отдельном поле отразим графически углом  $\beta_{ЗТК}^j$  (рис. 2,б). Если торможение работы ЗТК со стороны П ПОЗ отсутствует, сбор  $k$ -й зерновой культуры на  $\gamma$ -м поле будет осуществлено в оптимальный агротехнический срок  $t_{ok\gamma}$ . Это отражено кривой 1 (рис. 2, б). Если же, рассматривать остановки ( $t_{rj}^{np}$ ) работы ЗТК из-за несвоевременности обслуживания потока требований на предварительную очистку зерна, то в последствии недоиспользования комплексом организационно-откорректированного суточного фонда времени работы останется несобраным определенным объем зерна  $Q_j^n$  (рис. 2, а) и, соответственно, уменьшится суточная интенсивность уборки  $\beta_{ЗТК}^j$  (рис. 2, б). Переведа этот объем в площадь, получим искомый объем несвоевременно убранной площади в  $j$ -е сутки  $S_{k\gamma j}^n$ . Поскольку уборка этой площади переносится на следующие сутки, её продолжительность увеличится на время  $\Delta t_{k\gamma j}$  (кривая 2) (рис. 2, б). Определяем возможный объем несвоевременно убранной площади  $S_{k\gamma j}^n$  на  $\gamma$ -ом поле в  $j$ -е сутки и время  $\Delta t_{k\gamma j}$  увеличения продолжительности уборки этого поля в каждые сутки в результате торможения уборочно-транспортного процесса из-за неспособности обслужить зерновой поток, который поступает к П ПОЗ. Находим суммарное значение показателя  $\Delta t_{k\gamma j}$  для отдельного поля –  $\Delta t_{k\gamma}$

$$\left( \Delta t_{k\gamma} = \sum_j \Delta t_{k\gamma j} \right).$$

Как известно [19], допустимая продолжительность уборки созревшего на поле урожая не должна превышать 5 суток ( $t_{ok\gamma} \leq 5\tilde{n}\hat{o}\hat{o}\hat{i}\hat{e}$ ). Вследствие торможения работы ЗТК, время уборки отдельного поля увеличивается на  $\Delta t_{k\gamma}$  (рис. 2, б). В результате этого продолжительность уборки отдельного поля может превышать ( $t_{ok\gamma} + \Delta t_{k\gamma} > 5\tilde{n}\hat{o}\hat{o}\hat{i}\hat{e}$ ) или не превышать ( $t_{ok\gamma} + \Delta t_{k\gamma} \leq 5\tilde{n}\hat{o}\hat{o}\hat{i}\hat{e}$ ) допустимый срок. Следует определить количество суток превышения

продолжительности уборки отдельного поля и объем несвоевременно убранной площади для каждой таких суток  $S_{kyj}^n$ . Это позволяет оценить потери из-за «стекания» и осыпания зерна в эти сутки [19].

Следующим этапом является стоимостная оценка функциональных показателей: 1) потерь зерна из-за несвоевременной уборки площадей вследствие непроизводительных простоев ЗТК -  $B'_y$ ; 2) затрат на эксплуатацию  $r$ -й зерноочистительной машины -  $B_{no.r}$ . Чтобы оценить влияние функционирования П ПОЗ с  $r$ -й машиной предварительной очистки на работу ЗТК, необходимо сравнить ранее определенные потери зерна  $B_y$  из-за осыпания и «стекания» в связи с несвоевременной его уборкой (без учета влияния функционирования П ПОЗ) с потерями  $B'_y$ , вызванными несвоевременной уборкой урожая ЗТК и простоями этих комплексов из-за торможения потока зерна на П ПОЗ. Разница этих потерь будет искомым значением потерь зерна из-за несвоевременности уборки полей, вызванной торможением потока зерна на П ПОЗ:

$$B_{yno.r} = B'_y - B_y. \quad (6)$$

Суммарные потери в результате использования выбранной  $r$ -й зерноочистительной машины составят:

$$B_{no.r}^{\Sigma} = B_{yno.r} + B_{no.r}. \quad (7)$$

По этому алгоритму определяем  $B_{no.r}^{\Sigma}$  для каждой  $r$ -й зерноочистительной машины с их параметрического ряда. Рациональные параметры П ПОЗ будут соответствовать минимальным суммарным расходам при использовании той или иной зерноочистительной машины:

$$Z_{iic} \rightarrow Z_{iic}^{\delta}, \hat{a}_{iic} \rightarrow \hat{A}_{iic}^{\Sigma} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для сглаживания скачкообразных поступлений потока зерна П ПОЗ в течение суток, используют накопительный бункер объемом  $Q_{\delta}$ . Наличие площадки площадью  $S_m$  обеспечивает своевременность выгрузки транспортных средств с зерном в случае пиковой суточной интенсивности потока и накопления резерва необработанного зернового материала и возможности работы зерноочистительной машины при отсутствии поступления зерна из-за прекращения работы ЗТК. Суммарный объем  $Q_{\delta}$  и объем, который может поместиться на площади  $S_m$  площадки, является резервным объемом  $Q_p$ , необходимым для обеспечения бесперебойной работы зерноочистительной машины.

На основе статистического имитационного моделирования работы ЗТК, определив необходимую суточную производительность зерноочистительной машины и суточную тенденцию возможного увеличения объема поступления зерна П ПОЗ, можно обосновать необходимый резервный объем  $Q_p$  для временного размещения зерна (рис. 2, а).

Зная суточную производительность зерноочистительной машины, можно определить суточный объем обработанного зерна  $Q_{noz}^j(\tau)$  в любой мо-

мент времени  $\tau$   $j$ -й суток. Для каждой  $j$ -й суток уборочного сезона определяется возможное максимальное превышение  $(Q_p^j(\tau))$  объема поступления зерна  $Q_{зтк}^j(\tau)$  над объемом обработанного зерна  $Q_{noz}^j(\tau)$  в момент времени  $\tau$ . Аналитически это можно отобразить следующим образом:

$$Q_p^j(\tau) = Q_{зтк}^j(\tau) - Q_{noz}^j(\tau) > 0. \quad (9)$$

То есть, для каждой  $j$ -х суток уборочного сезона находим возможный максимальный объем зерна  $Q_p^j$ , обслуживаемый с определенной задержкой относительно времени его поступления на П ПОЗ. Чтобы избежать простоя транспортных средств с зерном, поступившего на обслуживание в  $j$ -е сутки, необходимо обеспечить резервный объем, равный максимальному значению  $Q_p^j(\tau)$  в это время ( $Q_p^j = \max Q_p^j(\tau)$ ), при условии  $Q_p^j(\tau) > 0$ . Среди найденных значений  $Q_p^j$  в каждые сутки уборочного сезона, находим максимальное значение  $(Q_p = \max Q_p^j)$ , которое будет искомым параметром П ПОЗ.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанный метод обоснования рациональных параметров подсистем предварительной очистки зерна позволяет учесть: влияние агрометеорологических условий уборочного сезона и показателей работы уборочно-транспортных комплексов на формирование характеристик зернового потока; зависимость параметров подсистем предварительной очистки от этих характеристик и влияние работы подсистемы предварительной очистки на работу уборочно-транспортных комплексов.

2. Представленный метод предусматривает восемь этапов обоснования рациональных параметров подсистем предварительной очистки пунктов послеуборочной обработки зерна:

а) определение напряженного периода в технологическом процессе предварительной очистки зерна; определение возможных потерь выращенного урожая из-за несвоевременности его уборки без учета влияния функционирования подсистем предварительной очистки зерна;

б) формирование параметрического ряда машин предварительной очистки по значению их суточной производительности;

в) определение функциональных показателей работы уборочно-транспортных комплексов с учетом влияния работы каждой зерноочистительной машины;

г) стоимостная оценка функциональных показателей;

д) определение потерь зерна из-за несвоевременности его уборки, вызванной торможением потока зерна;

е) определение суммарных потерь в результате использования каждой из очистных машин параметрического ряда;

ж) выбор очистной машины по минимальному значению этих потерь, параметры которой будут рациональными;

з) обоснование необходимого резервного объема и количества исполнителей для подсистем предварительной очистки с подобранной зерноочистительной машиной.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Эрк Ф.М., Иванов А.Е., Могильницкий В.М. и др. 1987.** Методические рекомендации по технологии и механизации послеуборочной обработки семян зерновых культур. Л. 35.
2. Нормы технологического проектирования предприятий послеуборочной обработки и хранения продовольственного фуражного зерна и семян зерновых культур и трав. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации. – М., 1999. 33.
3. **Новиков А.В., Непарко Т.А., Чеботарев В.П. 2014.** Выбор технологических параметров машин зерноочистительно-сушильного комплекса. Материалы Междунар. науч.-практич. конф.: Современные проблемы освоения новой техники, технологии, организации технического сервиса в АПК. – Минск: БХАТУ. – Ч.2. 41 – 46.
4. **Павловский Г.Т. 1970.** Технологические основы проектирования поточного процесса уборки и послеуборочной обработки урожая зерновых культур. Труды ВИМ, т.46. 195-211.
5. **Шмидт А.В. 1998.** Обоснование состава и структуры универсальной поточной линии послеуборочной обработки зерна: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец: 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» - Воронеж. 20.
6. **Пьянов С.В. 2004.** Совершенствование механизации уборки и послеуборочной обработки зерна в условиях крупнотоварного зернопроизводства: На примере хозяйств Северо-Кавказского региона, вошедших в клуб "Агро-300": автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец: 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства». – Ставрополь. 21.
7. **Шепелев В.Д. 2007.** Обоснование технико-технологической согласованности процессов уборки и послеуборочной обработки зерна: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец: 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» – Челябинск. 21.
8. **Янко В.М. 1966.** О статистическом моделировании предприятий послеуборочной обработки зерна. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства. Т.40. 251-258.
9. **Азаров В.М. 1974.** Обоснование поточной технологии обработки продовольственного зерна на примере хозяйств лесостепной зоны Алтайского края автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец: 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства». Омск, 24.
10. **Шоренко И.Н. 2004.** Обоснование рациональной структуры технических средств уборки и послеуборочной обработки семенного зерна с учетом фенологии и топологии полей: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец: 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства». – Санкт-Петербург– Пушкин. 19.
11. **Елизаров В.П. 1977.** Предприятия послеуборочной обработки и хранения зерна (расчет на ЦВМ). М.: Колос. 215.
12. **Макарычев Е.А. 1975.** Исследование и оптимизация структуры предприятий послеуборочной обработки зерна методом статистического моделирования автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец: 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства». – М. 30.
13. **Котов Б.И., Степаненко С.П., Швидя В.А. 2012.** Системно-проектный подход к управлению комплексом машин на току. Труды Таврийского государственного агротехнологического университета. – Мелитополь: ТДАТУ. – Вип. 12, т. 5. 78–85 (Украина).
14. **Михайлов Е.В. 2014.** Методология обоснования состава и функциональных параметров технических средств послеуборочной обработки зерна (на примере Юга Украины): автореферат диссертации на соискание ученой степени докт. техн. наук: спец: 05.05.11 «Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства» – Мелитополь. 41. (Украина)
15. **Dubrovin V., Krasowski E., Rogovskii I. 2011.** Комплексный показатель эффективности системы машин в растениеводстве. MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, Tom 13 В. 20-24 (Украина).
16. **Сидорчук А.В., Скибчик В.И., Сидорчук Л.Л. и др. 2013.** Моделирование работы пунктов послеуборочной обработки зерна. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Глеваха. Вип. 98, т.2. 344–353 (Украина).
17. **Сидорчук А.В., Днесь В.И. Макаручук А.В. и др. 2013.** Управление уборкой ранних зерновых культур. Сборник научных докладов Междунар. научн.-техн. конф., посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина. – М.: ВИМ – Ч.2. 42-45.
18. **Сидорчук О.В. 2013.** Планирование механизированных зерноуборочных работ и проектов: [монография] / Под редакцией академика НААН В.В. Адамчук. - Нежин. Издатель П.П.Лисенко. 157. (Украина).

19. **Табашников А. Т. 1985.** Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур. Москва Агрпромиздат. 159.
20. **Сидорчук А., Тригуба А., Макаруч А. и др. 2012.** Оптимизация продолжительности жизненного цикла интегрированных программ уборки зерновых культур. MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, Vol.14, №4. 131-140.
21. **Сидорчук А. Тригуба А., Маланчук А. 2013.** Оценка ценностей сервисных программ аграрного производства. MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, Vol.15, №4. 153-159.

#### **METHOD OF THE GROUNDING THE RATIONAL PARAMETERS OF SYSTEMS FOR THE PRECLEANING OF GRAIN**

**Summary.** The methods of systems approach, analysis and synthesis, statistical and imitation simulation, deduction and induction, statistical analysis and iterations were used for the research of systems for the precleaning of grain.

To adequate representation by simulation model the process of functioning of systems for the post-harvest grain processing are considered in the interaction with harvesting and transport systems.

The structural analysis of systems for the precleaning of grain is carried out and the main component parts (subsystems of the precleaning, the first, the secondary clearing and the grain drying) are picked out. Rational parameters of systems for the precleaning of grain are

defined by means of system determination of rational parameters for each of the parts (subsystems).

Parameters of systems for the precleaning of grain are next: the number of equipment of the precleaning, machinery output, a volume of the service bin, the area of territories for temporality store of grain, number of service personnel.

The method of the definition of the rational parameters of systems for the precleaning of grain from the agricultural producers is grounded on the choice of each component on basis of the cost and energy criterion. The numeric value of this criterion is prognosticated with the help of research of the technological process of the grain precleaning. This method foresees the iterative analysis of indexes of the functioning of technological systems for the harvesting and post-harvest grain processing on the base of the statistical and imitation simulation. Simulation considers all main factors of harvesting processes and post-harvest grain processing as well.

Developed method of the ground for rational parameters of systems for the precleaning of grain allows to consider: the impact of agrometeorological conditions upon the work of the harvesting and transport complexes and the formation of characteristics for the grain flow; the impact of the work of systems for the precleaning of grain upon the work of the harvesting and transport complexes. The procedure of the grounding of the rational parameters of systems of grain precleaning predicts the sequential decision of tasks at the each of eight steps.

**Key words:** method, system, post-harvest grain, debris flow, precleaning, statistical and imitation modeling.