

Тип статьи: научная
УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-16-28

ДИНАМИКА ПРОЦЕССА ТРИЕРНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОСМЕСИ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

*Николай Петрович Тишанинов*¹, *Александр Витальевич Анашкин*²,
*Константин Николаевич Тишанинов*³, *Сергей Владимирович Емельянович*⁴
^{1,2,3,4} *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*
¹vniitinlab5@mail.ru, ²av-anashkin@mail.ru, ³tishaninovkn@rambler.ru, ⁴seruvarovo@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Витальевич Анашкин, av-anashkin@mail.ru
Corresponding author: Alexander Anashkin, av-anashkin@mail.ru

Реферат. Динамику выделения зерновок основной культуры из зерносмеси по длине ячеистой поверхности рассматривали. Выявлены новые физические эффекты, оказывающие существенное влияние на интенсивность процесса выделения зерновок, и определены зоны их влияния. Закономерности протекания процесса по длине рабочей поверхности установлены с целью повышения его качества за счет автоматизированного управления режимами работы. Исследования выполнены с использованием стендов, обеспечивающих непрерывный отвод выделяемых частиц и интервальный по времени процесс контроля выделяемых масс частиц, а также с помощью экспериментального оборудования с отдельной подачей компонентов зерносмеси в триер и замкнутой циркуляцией рабочей среды. Установлено, что интенсивность выделения зерновок изменяется по длине ячеистого цилиндра в 38 раз, линейно нарастая на первом участке до максимума при циркуляции 4-х – 5-ти слоев в зерновом сегменте и резко падая по параболическому закону на втором участке. Характер протекания процесса на первом участке обусловлен постепенным преодолением отрицательного воздействия на процесс эффекта динамического «выедания» зерновок из ячей, а максимальная интенсивность процесса обеспечивается эффектом инерционного удержания контактирующего слоя, когда на каждую ячею приходится вынос более 4-х зерновок основной культуры. Нарушение сплошности циркуляции зернового слоя в конце ячеистого цилиндра и недостаточный скоростной режим работы триера приводят к технологическим потерям до 35 % даже на малых подачах зерносмеси в триер (1,2 т/ч). Сход примесного компонента ($\geq 1\%$) компенсирует нарушение сплошности циркулирующего слоя икратно снижает технологические потери. Завышение скоростного режима работы относительно величины подачи зерносмеси в триер снижает загрузку ячеистого цилиндра по длине и создает предпосылки роста остаточной засоренности зерна в 3,5 – 7,4 раза на подачах 1,2 – 1,84 т/ч.

Ключевые слова: триер, зерносмесь, очистка, динамика, потери, остаточная засоренность.

DYNAMICS OF THE PROCESS OF TRIER SEPARATION OF THE GRAIN MIXTURE AT DIFFERENT OPERATING MODES

*Nikolai Tishaninov*¹, *Alexander Anashkin*², *Konstantin Tishaninov*³, *Sergey Emelyanovich*⁴
^{1,2,3,4} *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,
Tambov, Russian Federation*
¹vniitinlab5@mail.ru, ²av-anashkin@mail.ru, ³tishaninovkn@rambler.ru, ⁴seruvarovo@yandex.ru

Abstract. The dynamics of the release of grains of the main crop from the grain mixture along the length of the cellular surface was considered. New physical effects have been identified that have a significant impact on the intensity of the process of caryopsis release, and the zones of their influence have been determined. The regularities of the process along the length of the working surface have been

established in order to improve its quality through automated control of operating modes. The studies were carried out using stands that provide continuous removal of released particles and time-interval monitoring of the released masses of particles, as well as using experimental equipment with separate supply of grain mixture components to the trier and closed circulation of the working environment. It has been established that the intensity of grain release varies along the length of the cellular cylinder by 38 times, linearly increasing in the first section to a maximum with the circulation of 4–5 layers in the grain segment and sharply falling according to a parabolic law in the second section. The nature of the process in the first section is due to the gradual overcoming of the negative impact on the process of the effect of dynamic “eating” of grains from the cells, and the maximum intensity of the process is ensured by the effect of inertial retention of the contacting layer, when more than 4 grains are removed per cell main culture. Violation of the continuity of circulation of the grain layer at the end of the cellular cylinder and insufficient speed mode of operation of the trier lead to technological losses of up to 35% even at small feeds of the grain mixture into the trier (1.2 t/h). The disappearance of the impurity component ($\geq 1\%$) compensates for the violation of the continuity of the circulating layer and significantly reduces technological losses. Increasing the speed of operation relative to the amount of grain mixture supplied to the trier reduces the loading of the cellular cylinder along its length and creates the preconditions for an increase in residual grain contamination by 3.5 - 7.4 times at feed rates of 1.2 - 1.84 t/h.

Keywords: trier, grain mixture, cleaning, dynamics, losses, residual contamination.

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Емельянович С.В. Динамика процесса триерного разделения зерносмеси на различных режимах работы // Наука в Центральной России. 2024. Т. 69, № 3. С. 16-28. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-16-28>.

For citation: Tishaninov N, Anashkin A., Tishaninov K., Emelyanovich S. Dynamics of the process of trier separation of the grain mixture at different operating modes. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 69(3): 16-28. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-16-28>.

Введение. Динамика процесса триерной очистки зерносмесей является наиболее содержательной его характеристикой, определяющей основные результивные показатели и эффективность технологии в целом. Недостаточная динамика выделения зерновок основной культуры снижает производительность очистки зерносмеси и показатель качества процесса по технологическим потерям. Избыточная динамика выделения зерновок основной культуры приводит к неполной загрузке ячеистой поверхности по длине, а наличие свободной ячеистой поверхности является условием роста остаточной засоренности (до 2,8 раз [1]). Поэтому объективные знания о динамике процесса триерной очистки зерносмесей являются основой его управления по критериям, определяющим эффективность и качество.

Профессор Летошнев М.Н. связывает динамику процесса в триерах со скоростями осевого и углового смещения циркулирующих слоев сегмента зерносмеси [2], а также с динамическим углом ската. Вместе с тем автор указывает на сложную и многофакторную ее взаимосвязь с режимами работы, настроечными параметрами и свойствами рабочей среды. Эти взаимосвязи возможно объективно оценить только по результатам широкого эксперимента.

Академик Листопад Г.Е. [3] рассматривал динамику выделения зерновок основной культуры и примесных частиц во взаимосвязи с размерными параметрами ячеистого цилиндра и удельной нагрузкой на единицу его площади. Такой подход не позволяет учитывать весьма существенные физические эффекты: динамического «выедания» частиц из ячеек; инерционного удержания контактирующего слоя; динамической разновекторной сегрегации примесных частиц в циркулирующих слоях сегмента; примесного блокирования технологических потерь. Поэтому теоретические оценки производительности автором [3] в 2-3 раза расходятся с опытными данными. Кроме того, указанные физические эффекты неоднозначно и поочередно (первые два эффекта) оказывают влияние на динамику процесса по длине ячеистого цилиндра в зависимости от числа циркулирующих слоев. Из-за этого интенсивность выделения частиц на его длине изменяется в десятки раз. Без учета этих явлений невозможно эффективное управление технологическим процессом.

Авторы [4] придерживаются аналогичного подхода к оценке производительности триера – по удельной нагрузке на ячеистую поверхность. Более того, авторы утверждают, что «почти для всех сельскохозяйственных культур» существует один (оптимальный) коэффициент кинематического режима работы триера, игнорируя взаимосвязь динамики выделения частиц со скоростным режимом работы и настройкой выводного лотка. Тех же позиций в оценке динамики выделения частиц из зерносмеси ячеистыми поверхностями придерживаются и авторы работ [5-11], которые связывают ее с частными условиями протекания процесса, они не смогли раскрыть принципиальных отличий динамики процесса по длине ячеистой поверхности в зависимости от меняющегося числа циркулирующих слоев зерносмеси в сегменте.

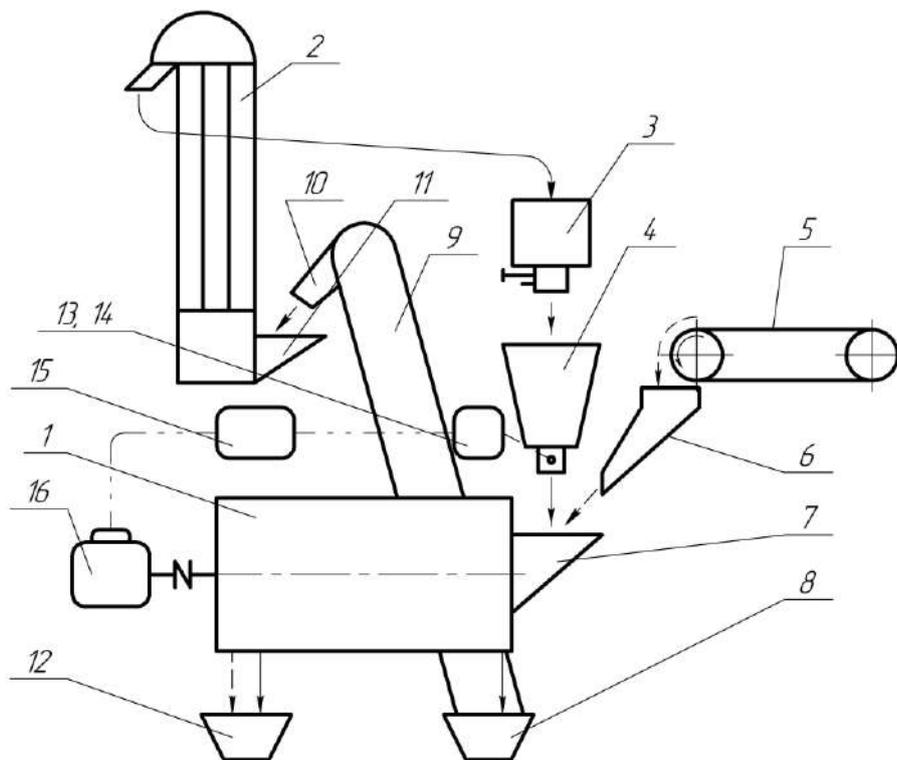
Частным резервам эффективности триерных технологий посвящены и работы авторов [12-15]. В них оценивается влияние на технологический процесс переменной угловой скорости цилиндра, угла его наклона к горизонту, осевых колебаний цилиндра и некоторых других факторов. Наиболее значимой причиной ограничений в базе накопленных знаний о триерных технологиях является несовершенство экспериментального оборудования и методологии исследований. В большой степени эти недостатки восполнены разработками ФГБНУ ВНИИТиН [16-18], которые обеспечивают условия для расширения исследований по динамике триерных процессов.

Материалы и методы. Исследования интенсивности выделения зерновок основной культуры (W_v) в зависимости от времени (t) движения сегмента зерносмеси по цилиндру длиной (L) проводили с использованием стендового оборудования [1], разработанного ФГБНУ ВНИИТиН. Взаимосвязи $W_v = f(t, L)$, полученные при непрерывном отводе выделенных зерновок разработанными стендами, наиболее информативны для толкования закономерностей протекания процесса и новых физических эффектов. Кроме того они являются объективной основой выработки решений по управлению процессом. Однако, не менее значимые показатели качества процесса объективно могут быть оценены только по результатам исследований натуральных образцов триерного оборудования из-за ограниченных возможностей переноса стендовых результатов исследований на «натуру» и неизбежных конструктивных отличий между ними.

Именно из-за конструктивных отличий технических решений реального технологического процесса удлиняется время его стабилизации, а параметры схода компонентов зерносмеси, определяющие показатели качества, зависят от конкретного исполнения розетки. Поэтому дополняющие показатели получены с использованием экспериментальной установки с раздельной подачей компонентов зерносмеси и замкнутой циркуляцией рабочей среды, рисунок 1.

Экспериментальная установка работает следующим образом. В триер 1 посредством перевалочной норрии 2, дозатора 3 и регулятора 4 через приемную горловину 7 подается основная культура. Примесный компонент, равномерно распределенный с заданной программой эксперимента погонной массой на ленточном питателе 5, также подается последним через лоток 6 в приемную горловину 7. Согласно величине подачи зерна основной культуры (W_n) в триер регулятор 4 оказывает управляющее воздействие (α) (со 100-процентной корреляцией взаимосвязи $\alpha \rightarrow W_n$) на передаточный механизм 13 с переменным резистором 14, которые задают частоту тока преобразователем 15 и изменяют скоростной режим привода 16 триера 1. Очищенное зерно поступает в накопитель 8, из которого возвратным транспортером 9 через отвод 10 подается в приемный бункер 11 перевалочной норрии 2. Затем процесс повторяется с заданными исходными условиями, что позволяет гарантировать стабилизацию процесса при всех сочетаниях компонентов зерносмеси, вариантах заданных режимов работы и настроечных параметров триера. Стабильное протекание процесса триерной сепарации зерносмеси, контролируемое по сходам ее компонентов в емкость 12, обеспечивает объективность исследуемых закономерностей. Отбор проб сходов производили с интервалом времени 30 с продолжительностью по 5 с. Равномерное распределение примесного компонента с заданной погонной дозировкой на ленточном питателе 5 производили при включенном его состоянии посредством распределительных коробов. Это позволяло при ограниченных размерах ленты обеспечивать практически неограниченную продолжительность опытов. При большей дозировке примеси использовали распределительные короба без днища сечением 60×70 мм и длиной 600 мм с разделительной торцевой стенкой треугольной формы. При меньших дозировках примеси использовали оборачиваемые распределительные короба длиной 600 мм и различными поперечными габаритами: 14×13 мм;

24×21 мм; 24×13 мм. Меньшие поперечные размеры оборачиваемых коробов и вариативная кратность их разгрузки на ленте питателя 5 обеспечивали оперативное изменение дозировки примеси в широких пределах. Физико-механические свойства рабочей среды определяли по ГОСТ 10840-64, ГОСТ 13586.5-2015 и разработанными ФГБНУ ВНИИТиН приборами (патенты РФ №№ 2748565, 2770416, 2749655).



1 – триер; 2 – перевалочная нория; 3 – дозатор; 4 – регулятор; 5 – ленточный питатель; 6 – лоток; 7 – приемная горловина; 8 – накопитель; 9 – возвратный транспортер; 10 – отвод; 11 – приемный бункер; 12 – емкость; 13, 14 – передаточный механизм с переменным резистором; 15 – частотный преобразователь; 16 – привод;
 ———> зерновки основной культуры; - - - - -> примесные частицы

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Результаты и их обсуждение. Закономерности изменения интенсивности выделения зерновок основной культуры (W_v) из зерносмеси по времени смещения сегмента единичной длины, полученные с использованием стенда циклического действия (патент РФ № 3616201) с непрерывным отводом и интервальным контролем выделенных масс (Δm_i), представлены на рисунке 2.

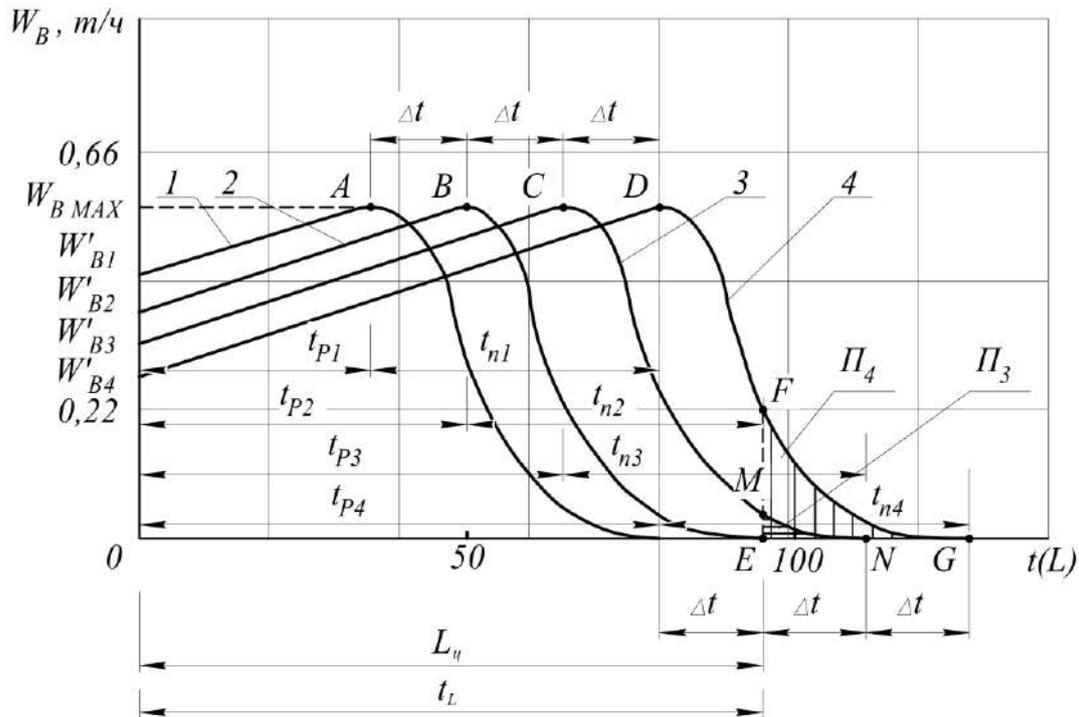


Рисунок 2 – Динамика выделения зерновок основной культуры из зерносмеси ячеистой поверхностью при различных режимах загрузки стенда

Загрузка стенда по массе зерна (m_3) изменялась с равным интервалом ($\Delta m_i = 2$ кг) в диапазоне $m_3 = 7 - 13$ кг. В результате эксперимента впервые были установлены закономерности интенсивности выделения зерновок основной культуры из сегмента зерносмеси единичной длины по времени (эквивалентному длине ячеистой поверхности) и два новых физических эффекта – динамического «выедания» зерновок из ячеек контактирующим слоем и инерционного удержания и выноса контактирующего слоя.

Эти результаты возможно было получить с использованием стендов, созданных в ФГБНУ ВНИИТиН, обеспечивающих непрерывный и контролируемый отвод выделенных частиц. Летошнев М.Н. [2], Павловский Г.Т. [6] и другие авторы исследовали сегмент зерносмеси единичной длины (условно) с использованием стендов циклического действия и прозрачной торцевой стенкой лишь для установления динамических параметров сегмента и факела выброса частиц.

Установленные в ФГБНУ ВНИИТиН взаимосвязи $W_B = f(t, L)$ позволяют выделить две характерные зоны по оси $t(L)$, обусловленные указанными выше физическими эффектами. Для первой зоны (t_p) характерен рост по времени и эквивалентной ему длине ячеистой поверхности. Рост W_B в этой зоне связан со снижением отрицательного влияния на интенсивность выделения зерновок эффекта их динамического «выедания» из ячеек контактирующим слоем по мере убывания числа циркулирующих слоев сегмента.

Для зон t_{pi} выполняется условие, определяющее динамику W_B :

$$t_{pi} \rightarrow \mathcal{E}_{взя} > \mathcal{E}_{укс}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{взя}$ – эффект динамического «выедания» зерновок из ячеек;

$\mathcal{E}_{укс}$ – эффект инерционного удержания контактирующего слоя.

Величины t_p имеют равноинтервальные приращения, соответствующие аналогичному характеру интервального роста загрузки стенда по величине m_3 . Их соотношения можно выразить уравнением:

$$t_{p4} = t_{p1} + 3(\Delta t) = t_{p2} + 2(\Delta t) = t_{p3} + \Delta t. \quad (2)$$

В конце периодов времени t_{pi} (точки А, В, С, D) интенсивность выделения зерновок достигает максимального значения ($W_{B \max}$) при любых величинах m_{zi} на заданных скоростном режиме работы (n) и углом положения выводного лотка (γ_n). Для этих точек выполняется условие:

$$\text{в точках А, В, С, D} \rightarrow (\mathfrak{E}_{взя} = 0; \mathfrak{E}_{укс} = \mathfrak{E}_{укс \max}). \quad (3)$$

В точках А, В, С, D второй физический эффект преобладает над первым – «выедание» зерновок из ячеек прекращается, а инерционное удержание контактирующего слоя проявляется максимально. Подтверждением этого является то, что расчетная по результатам опытов степень заполнения ячеек ($C_{я}$) превышает 4 зерновки пшеницы. Физически 4 зерновки в ячейе $\varnothing 8,5$ мм разместиться не могут, однако значительная часть инерционно удерживаемого контактирующего слоя выбрасывается в выводной лоток, увеличивая расчетное значение $C_{я}$.

Максимальным значениям W_B в точках А, В, С, D независимо от величины подачи зерносмеси в триер соответствует оптимальное число циркулирующих слоев в сегменте – их 4 – 5 шт в зависимости от n , γ_n и свойств зерносмеси. При $\gamma_n < 40^\circ$ число циркулирующих слоев в точках А, В, С, D увеличивается до 6 – 11 шт.

Далее происходит резкая потеря интенсивности выделения зерновок основной культуры. Причем закономерности снижения W_B и $C_{я}$ во второй зоне идентичны, так как исходные условия в точках А, В, С и D одинаковые, а условия по режиму работы (n) и настройке лотка (γ_n) сохраняются:

$$t_{n1} = t_{n2} = t_{n3} = t_{n4}. \quad (4)$$

Для второй зоны характерно кардинальное изменение динамики процесса, которое можно выразить условием:

$$t_{ni} \rightarrow (W_{Bi} \rightarrow \min; C_{яi} \rightarrow \min). \quad (5)$$

Экспериментально подтверждено, что при подаче зерносмеси в триер $W_n = 3,4$ т/ч, $n = 40$ об/мин, $\gamma_n = 40^\circ$ величины W_B и $C_{я}$ изменяются в 38 раз. На конечном (по движению сегмента зерносмеси) участке ячеистого цилиндра при $W_{n \text{ опт}}$, когда технологические потери $\Pi \rightarrow 0$, захват зерновок ячейками становится маловероятным. На этом участке отсутствует сплошность циркулирующих слоев сегмента зерносмеси, а динамическое воздействие на зерновки задних стенок ячеек велико. Оно превышает силы гравитации и инерции, выбивая зерновки из зоны захвата ячейками.

Загрузка конечного участка ячеистого цилиндра в значительной мере определяет качество триерной очистки зерна. При подаче $W_n < W_{n \text{ опт}}$ конечный участок становится свободным от зерновок основной культуры, а сход длинных примесных частиц создает риски роста остаточной засоренности зерна, так как длинные примесные частицы, обладая связностью, захватываются свободными ячейками и забрасываются в лоток с чистым зерном. При подаче $W_n > W_{n \text{ опт}}$ возрастают технологические потери ($\Pi > [\Pi]$). На рисунке 2 этому условию работы триера соответствуют варианты 3 и 4, а величины технологических потерь отображены заштрихованными участками соответственно EMN и EFG.

Используя стендовые характеристики динамики выделения зерновок основной культуры из зерносмеси, определим средние величины \bar{W}_{Bi} для i -ых величин подачи (W_{ni}):

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{W}_{B1} = \left[\frac{W_{B \max} + W'_{B1}}{2} \times t_{p1} + \int_0^{t_{n1}} W_B(t_n) dt_n \right] / (t_{p1} + t_{n1}); \\ \bar{W}_{B2} = \left[\frac{W_{B \max} + W'_{B2}}{2} \times t_{p2} + \int_0^{t_{n2}} W_B(t_n) dt_n \right] / (t_{p2} + t_{n2}); \\ \bar{W}_{B3} = \left[\frac{W_{B \max} + W'_{B3}}{2} \times t_{p3} + \int_0^{t_{n3} - \Delta t} W_B(t_n) dt_n \right] / (t_{p3} + t_{n3} - \Delta t); \\ \bar{W}_{B4} = \left[\frac{W_{B \max} + W'_{B4}}{2} \times t_{p4} + \int_0^{t_{n4} - 2(\Delta t)} W_B(t_n) dt_n \right] / [t_{p4} + t_{n4} - 2(\Delta t)]. \end{array} \right. \quad (6)$$

Величины технологических потерь в вариантах загрузки стенда 3 и 4 можно определить по формулам:

$$P_3 = \int_{t_{n3}-\Delta t}^{t_{n3}} W_B(t_n) dt_n; \quad P_4 = \int_{t_{n4}-2(\Delta t)}^{t_{n4}} W_B(t_n) dt_n. \quad (7)$$

По средним стендовым величинам \bar{W}_{Bi} определяют величины производительности триеров с параметрами начального сегмента, эквивалентными стендовым при различных величинах загрузки (m_{zi}). Для каждого $\bar{W}_{Bi} = f(m_{zi})$ производительность триера будет:

$$W_{Ti} = \bar{W}_{Bi} L_{\psi} / L_{cm}, \quad (8)$$

где L_{ψ} – длина ячеистого цилиндра триера, м;

L_{ct} – длина ячеистого цилиндра стенда, м.

Технологические потери и полноту выделения примесного компонента оценивали по сходам $Q_{cx(z)}$ и $Q_{cx(n)}$ на экспериментальном оборудовании, которое (в отличие от существующих) обеспечивает управляемость экспериментом в части стабилизации процесса и воспроизводимости условий опытов по составам зерносмесей, режимам работы и настроечным параметрам, рисунок 1.

Экспериментом установлено, что даже при малой подаче зерносмеси в триер ($W_{\Pi} = 1,2$ т/ч) технологические потери могут достигать 35 % из-за недостаточного скоростного режима работы ($n = 34,0$ об/мин) при настройке выводного лотка по углу подъема рабочей кромки $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$. Увеличение n на 0,6 об/мин в 3,6 раза снижает технологические потери. На этом режиме работы ($n = 34,6$ об/мин) при исходной засоренности $Z_{\Pi} = 1,3$ % технологические потери снижаются на порядок (до 1,09 %) за счет восстановления сплошности циркулирующего слоя сходом примеси на конечном участке ячеистого цилиндра, что улучшает захват зерновок основной культуры.

Для $W_{\Pi} = 1,84$ т/ч скоростной режим работы триера, изменяемый в диапазоне $n = 35,4$ об/мин – 35,8 об/мин, является недостаточным из-за недопустимого уровня технологических потерь $P = 14,1-5,7\%$. С увеличением n до 36,5 об/мин появляется свободная ячеистая поверхность ($l_{cb} = 10$ см), а технологические потери снижаются до 1,59%. При $n = 37,0 - 37,5$ об/мин величина $l_{cb} = 25-65$ см, а технологические потери составляют $P = 1,0 - 0,52\%$. Включение в состав рабочей среды примеси ($Z_{\Pi} = 1,0\%$) на этом режиме работы триера ($n = 37,5$ об/мин) увеличивает l_{cb} до 80 см, время стабилизации процесса по сходам примеси ($t_{ct(n)}$) и зерна ($t_{ct(z)}$) составляет соответственно 17 и 6 мин, рисунок 3.

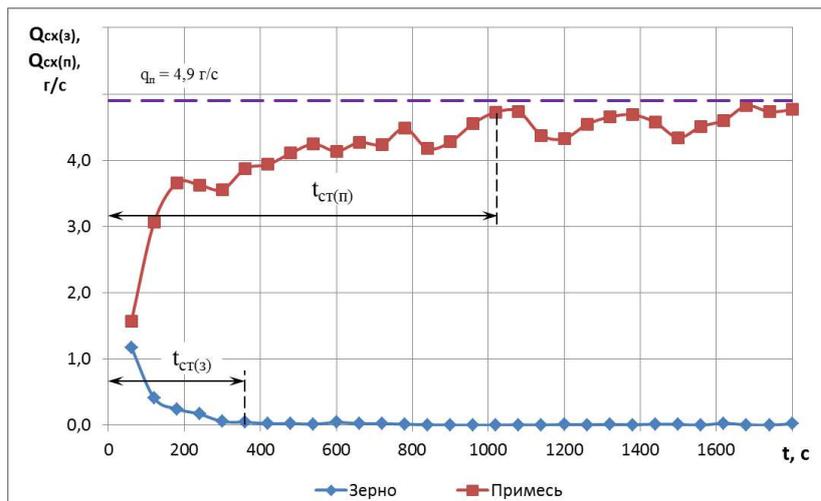


Рисунок 3 – Зависимость $Q_{cx(z)}$ и $Q_{cx(n)}$ от t при $W_{\Pi} = 1,84$ т/ч, $Z_{\Pi} = 1$ %, $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$, $n_3 = 37,5$ об/мин

Рост l_{cb} увеличивает риски роста остаточной засоренности Z_o . В этой зоне происходит захват ячеями примесных частиц и их выброс в выводной лоток – остаточная засоренность зерна

достигает $Z_0 = 0,042\%$ (14,6 шт/кг зерна). Этот уровень Z_0 существенно превышает допустимые значения показателя, характерные для качественных семян.

Понижение скоростного режима работы триера с 37,5 об/мин до 36,6 об/мин (на 2,4%) позволяет при $W_{\Pi} = 1,84$ т/ч, $Z = 1\%$, $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$ сократить остаточную засоренность зерна в 4,7 раза (до 0,009%). При этом длина свободной поверхности ячеистого цилиндра составляет до 20 см, уровень технологических потерь $\Pi = 0,15\%$, стабилизация процесса по сходу зерна завершается через 6 минут, а по сходу примеси завершается на 95,2% через 3 минуты, рисунок 4.

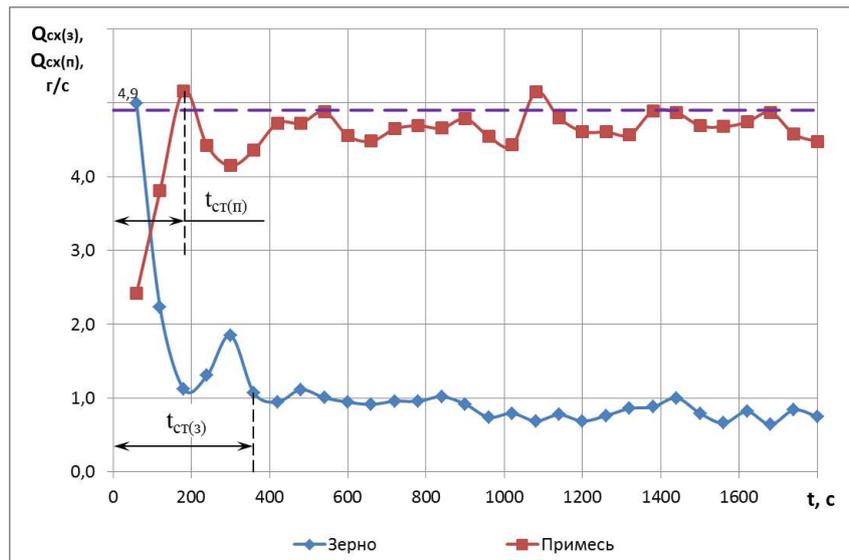


Рисунок 4 – Зависимость $Q_{сх(з)}$ и $Q_{сх(п)}$ от t при $W_{\Pi} = 1,84$ т/ч, $Z_{\Pi} = 1\%$, $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$, $n_4 = 36,6$ об/мин

Соизмеримое сокращение $l_{св}$ (в 4 раза) и Z_0 (в 4,7 раза) при понижении скоростного режима работы на 2,4% подтверждает гипотезу о случайном захвате ячеями длинных примесных частиц, обладающих связностью, и их выброса в выводной лоток с чистым зерном.

Повышение Z_{Π} до 2% при $W_{\Pi} = 1,84$ т/ч, $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$ приводит к многократному снижению технологических потерь на пониженном скоростном режиме работы ($n = 35,8$ об/мин) – до 0,83%. Снижение технологических потерь при росте Z_{Π} происходит за счет погашения динамики взаимодействия задних стенок ячеек с зерновками основной культуры, что увеличивает вероятность их захвата ячеями и выброса в выводной лоток с чистым зерном на конечном участке ячеистого цилиндра.

Вместе с тем с ростом Z_{Π} практически пропорционально возрастает остаточная засоренность зерна. Уже при $Z_{\Pi} = 2\%$ на указанных выше режимах работы триера не обеспечиваются требования к семенам пшеницы категории ОС, где не должно содержаться более 3-х семян сорняковых растений.

Из изложенного выше следует, что скоростной режим работы триера $n = 35,8$ об/мин при $W_{\Pi} = 1,84$ т/ч и $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$ также является завышенным. Подтверждением этого вывода является результат опыта даже при более высокой исходной засоренности ($Z_{\Pi} = 2,6\%$), когда скоростной режим работы триера составляет $n = 34,6$ об/мин (на 3,3% ниже). В этом опыте $Z_0 = 0,007\%$ (2,4 шт/кг), хотя технологические потери возросли до 5%, что допустимо.

На режимах работы триера $W_{\Pi} = 1,84$ т/ч и $n = 35,8$ об/мин при $\gamma_{\Pi} = 55^\circ$ и $Z_{\Pi} = 2\%$ величина свободной ячеистой поверхности отсутствует ($l_{св} = 0$), поэтому стабилизация процесса по сходу примеси ускоряется до 120 с, когда достигается уровень стабилизации 98,4%, рисунок 5.

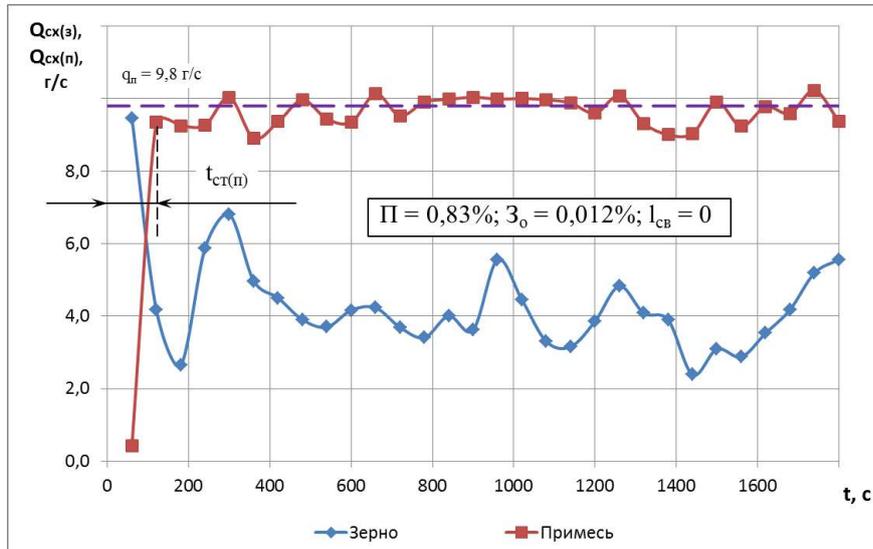


Рисунок 5 – Зависимость $Q_{cx(z)}$ и $Q_{cx(n)}$ от t при $W_{п} = 1,84$ т/ч, $Z_{и} = 2$ %, $\gamma_{п} = 55^{\circ}$, $n = 35,8$ об/мин

Для сравнения следует обратить внимание на результаты опыта при той же подаче зерносмеси, но с $Z_{и} = 1\%$ (меньше в два раза) и большем скоростном режиме работы $n = 37,5$ об/мин (на 4,7%). В сравниваемом опыте $l_{св} = 80$ см, а $t_{ст(п)}$ составляет 1010 с (в 8,3 раза больше). Удлиняет $t_{ст(п)}$ процесс заполнения ячеистого цилиндра примесью на свободном участке.

С теми же условиями опыта (см. рисунок 5), но при $Z_{и} = 0$ технологические потери увеличиваются в 3,14 раза из-за снижения вероятности захвата зерновок основной культуры на конечном участке ячеистого цилиндра – отсутствие примеси исключает сплошность циркулирующего слоя и смягчение динамического воздействия задних стенок ячеек на зерновки основной культуры.

Повышение $Z_{и}$ на тех же режимах работы триера от 2-х до 3-х процентов существенно не влияет на величину технологических потерь (Π), но остаточная засоренность увеличилась пропорционально $Z_{и}$ – с 0,012% до 0,017%, что соответствует требованиям к элитным семенам (число примесных частиц – $5,9 < 8,0$ шт/кг пшеницы). Стабилизация процесса по сходу примеси составляет 180 с, рисунок 6.

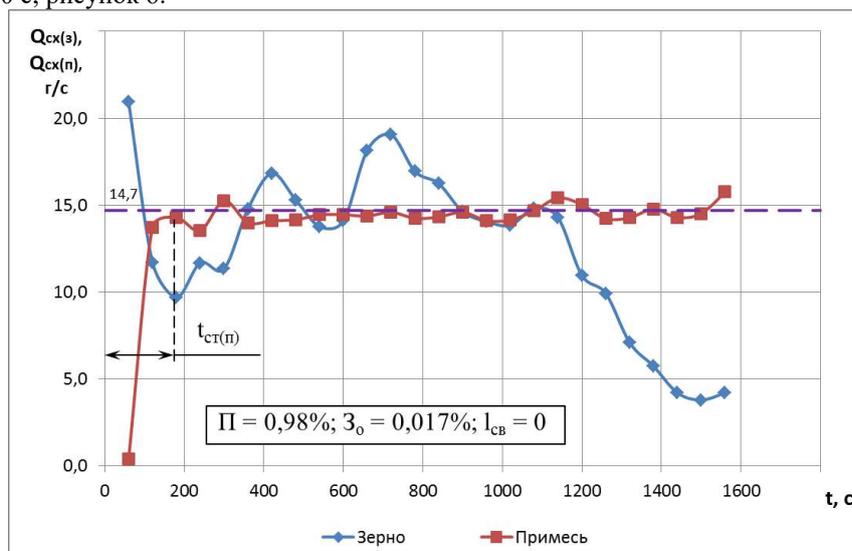


Рисунок 6 – Зависимость $Q_{cx(z)}$ и $Q_{cx(n)}$ от t при $W_{п} = 1,84$ т/ч, $Z_{и} = 3$ %, $\gamma_{п} = 55^{\circ}$, $n = 35,8$ об/мин

Сход зерна основной культуры на всем протяжении опыта подвержен существенным колебаниям, как и в других опытах, где нет превышения скоростного режима работы триера (n) относительно подачи (W_{Π}) зерносмеси. Вариативность схода зерна в широком диапазоне объясняется нестабильностью протекания процесса в конце ячеистого цилиндра, предопределяющей колебания в перевалке зерновок основной культуры в полость розетки и цикличностью их выгрузки лопатками розетки.

Для $W_{\Pi} = 3,71$ т/ч скоростной режим работы $n = 38$ об/мин является недостаточным, так как потери достигают 15,7%, а $l_{cb} = 0$. Увеличение n до 40 об/мин сокращает потери до $\Pi = 0,66\%$, но резко возрастает $l_{cb} = 40$ см, что создает риск роста Z_o . Промежуточный режим работы является наиболее приемлемым ($n = 39,0$ об/мин), так как при нем l_{cb} снижается до 5 см, а технологические потери не превышают 1,18%.

При наличии примеси в зерносмеси ($Z_n = 0,95\%$) технологические потери в опыте ($W_{\Pi} = 3,71$ т/ч; $n = 39,0$ об/мин) снижаются до $\Pi = 0,23\%$, а остаточная засоренность составляет $Z_o = 0,035\%$ (рисунок 7), что соответствует требованиям к семенам элитной категории.

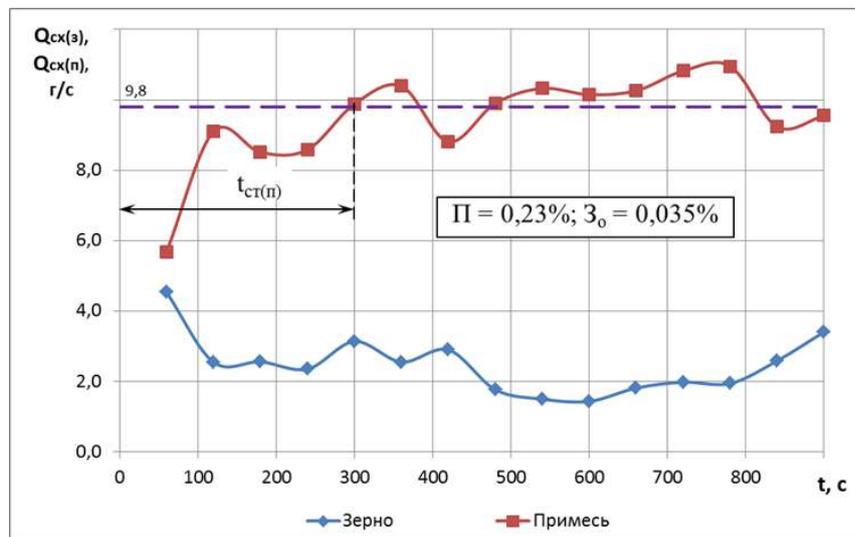


Рисунок 7 – Зависимость $Q_{cx(z)}$ и $Q_{cx(n)}$ от t при $W_{\Pi} = 3,71$ т/ч, $Z_n = 0,95\%$, $\gamma_n = 55^\circ$, $n = 39,0$ об/мин

Вместе с тем, период стабилизации процесса по сходу примесного компонента удлиняется до $t_{ст(n)} = 10$ мин. Это объясняется замедлением процесса насыщения зернового клина в ячеистом цилиндре с большей массой при $W_{\Pi} = 3,71$ т/ч, чем при $W_{\Pi} = 1,2 - 1,84$ т/ч.

С увеличением W_{Π} до 4,4 т/ч предполагалось изучить более высокий скоростной режим работы триера. Однако, рациональным с точки зрения обеспечения качества процесса оказался режим $n = 40$ об/мин. Он всего лишь на 2,6% выше, чем при $W_{\Pi} = 3,71$ т/ч, хотя подача увеличена на 18,6%. При $n = 40$ об/мин и наличии примеси ($Z_n = 1,05\%$) технологические потери $\Pi = 0,39\%$, а остаточная засоренность $Z_o = 0,026\%$. Эти показатели соответствуют требованиям к элитным семенам, рисунок 8.

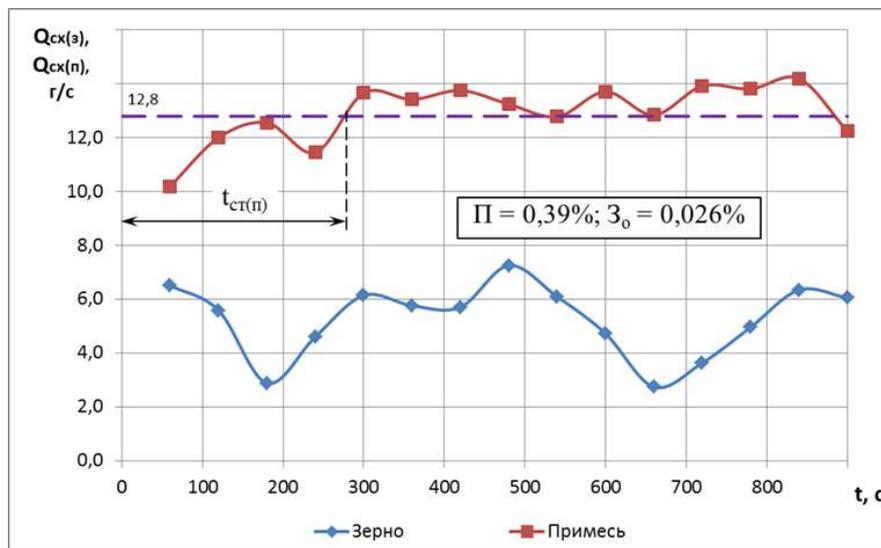


Рисунок 8 – Зависимость $Q_{cx(z)}$ и $Q_{cx(n)}$ от t при $W_{п} = 4,4$ т/ч, $Z_{п} = 1,05$ %, $\gamma_{п} = 55^{\circ}$, $n = 40,0$ об/мин

На режимах работ $n = 39,5$ и $40,5$ об/мин без примесного компонента обеспечивается приемлемый уровень технологических потерь - соответственно 2,45% и 0,811%. Однако при $n = 40,5$ об/мин появляется свободная ячеистая поверхность ($l_{св} = 15$ см), которая создает риски роста Z_0 .

Выводы. Динамика выделения зерновок основной культуры из зерносмеси по длине ячеистой поверхности, установленная впервые, имеет идентичный характер изменения независимо от величины подачи, изменяемой в реальном диапазоне, и состоит из двух принципиально разных участков. На первом участке интенсивность выделения ($W_{в}$) линейно возрастает от понижения отрицательного воздействия эффекта динамического «выедания» зерновок из ячей, достигая максимального значения при циркуляции 4-х – 5-ти слоев в зерновом сегменте. На втором участке $W_{в}$ резко падает по параболическому закону до утраты сплошности циркулирующего слоя в конце ячеистого цилиндра с маловероятным захватом зерновок ячеями и неизбежными технологическими потерями. Примесный сход (≥ 1 %) компенсирует нарушение сплошности циркулирующего зернового слоя, снижает динамику воздействия на него стенок ячей, повышает вероятность захвата зерновок икратно снижает технологические потери.

Список источников

1. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Анализ показателей работы триера по результатам стендовых исследований // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 27 – 34.
2. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание. – М.: Л.: Сельхозгиз, 1955. – 856 с.
3. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 687с.
4. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1977. – 528 с.
5. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – изд. 4-е доп. и перераб. – М.: Колос, 1975. – 495 с.
6. Павловский Г.Т. Основные вопросы технологии очистки семян зерновых культур: автореферат дис. ... доктора с/х наук: Растениеводство – Москва, 1969. – 69 с.
7. Ивлиева Н.М. Исследование влияния нагрузки цилиндра и угла его наклона к горизонту на производительность и качество работы цилиндрического триера: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. – Челябинск, 1952.

8. Ивлиева Н.М. Экспериментальное исследование процесса движения обрабатываемого материала в цилиндрическом триере // Труды ЧИМЭСХа. – 1965. – Вып.5.
9. Урханов Н.А. Интенсификация послеуборочной обработки и очистки зерна от примесей по длине. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 1999. 319 с.
10. Урханов, Н.А. Интенсификация процессов очистки зерна от коротких и длинных примесей // Вопросы совершенствования технологических процессов в пищевой промышленности: сборник научных статей. – Улан-Удэ, 1987. – С. 133-137.
11. Урханов, Н.А. Исследование движения зерна в сепараторах и повышение эффективности их работы // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2005. – № 2. – С. 12-20.
12. Васильева О.П. Повышение эффективности разделения зерновой смеси путем оптимизации параметров и режимов работы триера с переменной угловой скоростью вращения цилиндра: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Киров, 2000. –152 с.
13. Васильева О.П., Зонов Б.Д. Экспериментальные исследования взаимодействия зернового слоя с ячеистой поверхностью триера / Сб. научных трудов Пермской ГСХА. – 1998. – с. 197.
14. Евдокимов В.Ф. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с осевыми колебаниями: автореферат дисс... кандидата технических наук. – Ростов-на-Дону, 1964. – 30 с.
15. Евдокимов В.Ф. Исследования работы цилиндрического триера с осевыми колебаниями // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов: Труды ВНИИЗ. – М. – 1963. – Вып. 42. – С. 265-279.
16. Тишанинов Н.П., Емельянович С.В. Триер с авторегулированием скоростного режима // Сельский механизатор. – 2022. – № 6. – С. 16-17.
17. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Результаты поисковых исследований триера с авторегулируемым скоростным режимом работы // Наука в центральной России. – 2023. – № 2 (62). – С. 54-64.
18. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Оценка чувствительности процесса триерной очистки зерна к режимам работы // Наука в Центральной России. – 2024. – Т. 67, № 1. – С. 23-31.

References

1. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Analysis of trier performance indicators based on the results of bench studies // Science in Central Russia. – 2018. – No. 1 (31). – P. 27 – 34.
2. Letoshnev M.N. Agricultural machines, theory, calculation, design and testing. – M.: L.: Selkhozgiz, 1955. – 856 p.
3. Leaf fall G.E. Agricultural and reclamation machines. – M.: Agropromizdat. – 1986. – 687 p.
4. Lurie A.B., Grombchevsky A.A. Calculation and design of agricultural machines. – L.: Mechanical Engineering, 1977. – 528 p.
5. Sokolov A.Ya. Technological equipment of grain storage and processing enterprises. – ed. 4th add. and processed – M.: Kolos, 1975. – 495 p.
6. Pavlovsky G.T. Basic issues of technology for cleaning grain seeds: abstract of dissertation. ... Doctor of Agricultural Sciences: Plant Growing - Moscow, 1969. - 69 p.
7. Ivlieva N.M. Study of the influence of the load of the cylinder and the angle of its inclination to the horizon on the performance and quality of operation of a cylindrical trier: thesis. ...cand. those. Sciences: 05.20.01. – Chelyabinsk, 1952.
8. Ivlieva N.M. Experimental study of the process of movement of processed material in a cylindrical trier // Proceedings of CHIMESKh. – 1965. – Issue 5.
9. Urkhanov N.A. Intensification of post-harvest processing and purification of grain from impurities along the length. – Ulan-Ude: Publishing House of the All-Russian State Technical University, 1999. 319 p.
10. Urkhanov, N.A. Intensification of grain purification processes from short and long impurities // Issues of improving technological processes in the food industry: collection of scientific articles. – Ulan-Ude, 1987. – P. 133-137.

11. Urkhanov, N.A. Study of grain movement in separators and increasing the efficiency of their operation // Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management (Bulletin of ESGTU). – 2005. – No. 2. – P. 12-20.
12. Vasilyeva O.P. Increasing the efficiency of separating the grain mixture by optimizing the parameters and operating modes of the trier with variable angular velocity of rotation of the cylinder: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.20.01. – Kirov, 2000. –152 p.
13. Vasilyeva O.P., Zonov B.D. Experimental studies of the interaction of the grain layer with the cellular surface of the trier / Sat. scientific works of the Perm State Agricultural Academy. – 1998. – p. 197.
14. Evdokimov V.F. Study of the technological process of operation of a cylindrical trier with axial vibrations: abstract of the dissertation... candidate of technical sciences. – Rostov-on-Don, 1964. – 30 p.
15. Evdokimov V.F. Research on the operation of a cylindrical trier with axial vibrations // Problems of separation of grain and other bulk materials: Proceedings of VNIIZ. – M. – 1963. – Issue. 42. – pp. 265-279.
16. Tishaninov N.P., Emelyanovich S.V. Trier with automatic speed control // Rural machine operator. – 2022. – No. 6. – P. 16-17.
17. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Results of search studies of a trier with an auto-regulated speed mode // Science in Central Russia. – 2023. – No. 2 (62). – pp. 54-64.
18. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Assessing the sensitivity of the grain cleaning process to operating modes // Science in Central Russia. – 2024. – Т. 67, No. 1. – P. 23-31.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов - доктор технических наук, профессор; А.В. Анашкин - доктор технических наук; К.Н. Тишанинов – кандидат технических наук; С.В. Емельянович – младший научный сотрудник

Information about the authors

N. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher; A. Anashkin - Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher; K. Tishaninov – Candidate of Technical Sciences; S. Emelyanovich – junior researcher

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 21.05.2024 Принята к публикации (Accepted): 20.06.2024