Тип статьи: научная
УДК 631.362.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-17-25

ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВА ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА С РЕЖИМАМИ РАБОТЫ И НАСТРОЕЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Николай Петрович Тишанинов [1]***, Александр Витальевич Анашкин*** [2]
[1,2] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru

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

Реферат. *Исследовали возможности снижения остаточной засоренности зерна и технологических потерь. Устанавливали взаимосвязи качественных показателей работы триера со скоростью вращения цилиндра, параметрами циркулирующего сегмента и настройкой выводного лотка во времени опыта с интервальной оценкой. Исследования выполнены с помощью стенда циклического действия, обеспечивающего замену традиционной пространственной физической модели на временную и кардинальное повышение результативности эксперимента. Установлен характер изменения процесса по времени и длине ячеистого цилиндра, который можно разделить на три характерные участка. На первом участке интенсивность выделения зерновок основной культуры линейно возрастает при всех значениях масс циркулирующего сегмента. Получено, что, чем выше масса циркулирующего сегмента, тем ниже начальное значение интенсивности выделения зерновок основной культуры за счет преобладания эффекта динамического «выедания», а период стабилизации процесса длиннее. На втором участке достигается максимальное значение интенсивности выделения зерновок основной культуры при циркуляции в сегменте 4-х – 5-ти слоев зерна и преобладании эффекта инерционного удержания контактирующего слоя. На третьем участке интенсивность выделения зерновок основной культуры параболически убывает идентично для всех значений масс циркулирующего сегмента при заданных частоте вращения ячеистого цилиндра и углового положения выводного лотка. Установлено, что при росте частоты вращения до 35 об/мин исходная засоренность зерносмеси практически не влияет на степень выделения. Регламентированный уровень технологических потерь менее 5% при угле установки лотка 40° обеспечивается скоростным режимом работы 40 об/мин. Интенсивность выброса примесных частиц в выводной лоток пропорциональна исходной засоренности зерносмеси и времени перемещения сегмента по ячеистому цилиндру. С ростом угла установки выводного лотка в диапазоне 20° – 40° интенсивность выброса примесных частиц снижается в 3,8 – 5,0 раз.*

Ключевые слова: *триер, зерносмесь, качество работы, настройка, исходная засоренность*.

RELATIONSHIP OF THE QUALITY OF TRIER GRAIN CLEANING WITH OPERATING MODES AND ADJUSTING PARAMETERS

Nikolai Tishaninov [1]***, Alexander Anashkin*** [2]
[1,2]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]vniitinlab5@mail.ru, [2]av-anashkin@mail.ru

Abstract. *The possibilities of reducing residual grain contamination and technological losses were investigated. The relationships between the qualitative indicators of the trier's operation and the speed of rotation of the cylinder, the parameters of the circulating segment and the setting of the output tray during the experiment with interval evaluation were established. The studies were carried out using a*

cyclic stand, which ensures the replacement of the traditional spatial physical model with a temporary one and a radical increase in the effectiveness of the experiment. The nature of the change in the process over time and the length of the cellular cylinder, which can be divided into three characteristic sections, has been established. In the first section, the intensity of the release of grains of the main crop increases linearly for all values of the mass of the circulating segment. It was found that the higher the mass of the circulating segment, the lower the initial value of the intensity of the release of grains of the main crop due to the predominance of the dynamic "eating" effect, and the period of stabilization of the process is longer. In the second section, the maximum value of the intensity of the release of grains of the main crop is achieved with circulation in the segment of 4 - 5 layers of grain and the predominance of the effect of inertial retention of the contacting layer. In the third section, the intensity of the release of grains of the main crop decreases parabolically identically for all mass values of the circulating segment at a given rotation frequency of the mesh cylinder and the angular position of the output tray. It has been established that when the rotation speed increases to 35 rpm, the initial contamination of the grain mixture has virtually no effect on the degree of release. The regulated level of technological losses of less than 5% at a tray installation angle of 40° is ensured by a high-speed operating mode of 40 rpm. The intensity of the emission of impurity particles into the output tray is proportional to the initial contamination of the grain mixture and the time of movement of the segment along the mesh cylinder. With an increase in the installation angle of the output tray in the range of 20° - 40°, the intensity of the emission of impurity particles decreases by 3.8 - 5.0 times.

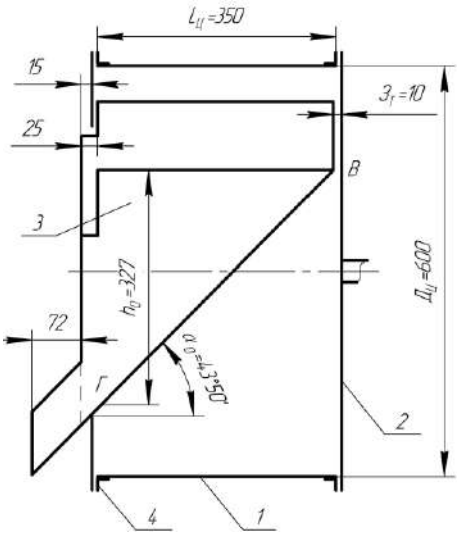
Keywords: *trier, grain mixture, quality of work, setting, initial contamination*.

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Взаимосвязь качества триерной очистки зерна с режимами работы и настроечными параметрами // Наука в Центральной России. 2023. Т. 65, № 5. С. 17-25. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-17-25.

For citation: Tishaninov N, Anashkin A. Relationship of the quality of trier grain cleaning with operating modes and adjusting parameters. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 17-25. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-17-25.

Введение. В работах [1−3] на очень детальном уровне дано описание движения зерновок в ячеистом цилиндре: представлены условия выпадения зерновок из ячей; их движения после отрыва от ячей; циркуляции зерновых слоев в сегменте и др. Эти результаты теоретических исследований послужили основой выбора рациональных режимов работы и параметров триеров. Дальнейшее развитие теория триеров получила в работах Кубышева В.А. [4], Ивлевой Н.М. [5, 6], Терского Г.Д. [7]и других авторов. Однако, теоретическим способом попрежнему сложно было решать проблемы качества триерной очистки зерносмесей. Значительный вклад в исследования по оценке полноты выделения примесей из зерносмесей внесли Павловский Г.Т. [8, 9], Урханов Н.А. [10, 11], Бурков А.И. [12, 13] и другие ученые. Они широко исследовали взаимосвязи степени выделения ($C_в$) примеси и остаточной засоренности ($З_о$) зерна с подачей ($W_п$), скоростным режимом работы (n) и положением выводного лотка ($\gamma_п$), рассматривая механическую систему и технологический процесс в поперечном сечении триерного цилиндра. Однако, перспективы модернизации триеров в части повышения качества технологического процесса, автоматизации управления режимами работы требуют знаний динамики и особенностей протекания процесса по длине ячеистого цилиндра. Эти знания весьма ограничены, так как сложно из смешанных результатов на выходе вычленить оценочные показатели с привязкой к величине осевого смещения сегмента ($C_в$ ($З_о$) = f_1(x)) или к времени его смещения ($C_в$ ($З_о$) = $f_2(t)$). Установление указанных взаимосвязей представляет собой весьма актуальную задачу, решение которой возможно с использованием новой физической модели процесса с интервальным (по времени) контролем его результатов.

Материалы и методы. Исследования проводили с использованием стенда циклического действия (Патент РФ № 2616201), разработанного ФГБНУ ВНИИТиН, который впервые позволил реализовать новую физическую модель процесса триерной очистки зерносмеси с интервальным (по времени) контролем результативных показателей, рисунок 1.



1 – ячеистый цилиндр; 2 – приводной диск; 3 – выводной лоток; 4 – блокирующий фланец
Рисунок 1− Схема стенда для исследований ячеистых поверхностей

Об адекватности новой физической модели реальному процессу триерной очистки зерносмесей впервые высказался один из основоположников земледельческой механики – Летошнев М.Н. [1]. Он предлагал оценивать технологический процесс на основе анализа «движения циркулирующего сегмента единичной длины вдоль ячеистой поверхности» с убыванием числа циркулирующих слоев.

В предложенной физической модели ячеистый цилиндр 1 укорочен, что позволяет обеспечить достаточное значение угла α_0 = 43,5° наклона днища выводного лотка 3 и контролировать интенсивность выделения частиц ($W_в$) зерносмеси с заданным интервалом времени. При выделении трудноотделяемых примесей продолжительность опыта не ограничена по времени, что позволяет определять для каждого примесного компонента эквивалентные длины ячеистых поверхностей для заданных величин $C_в$ и (или) $З_о$.

При исследовании взаимосвязей $W_в = f_3(З_и, \gamma_п, n, m_н)$ заданную величину навески ($m_н$) зерносмеси с исходной засоренностью ($З_и$) загружали в ячеистый цилиндр 1, разравнивали вдоль него, устанавливали угол подъема ($\gamma_п$) верхней кромки передней стенки выводного лотка и скоростной режим работы (n) стенда. Затем включали привод и мерными емкостями отбирали отводимый поток выделенных частиц с определенным интервалом времени. При исследовании взаимосвязей угла охвата ($\gamma_{ох}$) циркулирующего сегмента с величинами $m_н$, n, $З_и$, и временем опыта ($\gamma_{ох} = f_4(m_н, n, З_и, t)$) блокирующий фланец 4 заменяли прозрачной стенкой из оргстекла с угловой шкалой, а по результатам исследований и размерным характеристикам зерновок основной культуры рассчитывали число циркулирующих слоев ($n_{сл}$).

Результаты и обсуждение. Результаты исследований представлены в таблицах 1 и 2. Из таблицы 1 видно, что при $\gamma_п$ = 10° в опыте № 1 обеспечивается полное выделение навески зерна $m_н$ = 4,9 кг за время t = 50 с после его загрузки в стенд. С последующим ростом $\gamma_п$ полного выделения зерна за 50 с не обеспечивается из-за недостаточного скоростного режима работы триера n = 30 об/мин. Остаточная масса при t > 50 с и $\gamma_п$ < 20° недостаточна для формирования сплошного циркулирующего сегмента. Поэтому зерновки от динамического взаимодействия с ячеями находятся во взвешенном состоянии и маловероятным их захватом ячеями. Циркулирующий сегмент начинает формироваться при $m_{ост}$ ≈ 350 г на скоростном режиме n = 30 об/мин и $\gamma_п$ = 30°. Рост $\gamma_п$ от 10° до 30° снижает величину $C_в$ на 6,1%.

С увеличением скоростного режима работы от n = 30 об/мин до n = 35 об/мин $C_в$ увеличилась на 0,4% при равных для этих режимов положениях выводного лотка ($\gamma_п$ = 20°). Основным

фактором формирования сплошного сегмента зерносмеси является величина $m_{ост}$. При $m_{ост}$ > 232 г даже с ростом n на 17% формируется циркулирующий сегмент. Величина исходной засоренности ($З_и$) не оказывает существенного влияния на $C_в$ при $\gamma_п$ = 40° и n = 35 об/мин.

Кроме того, указанное выше приращение скоростного режима на 17% приводит к снижению $m_{ост}$ на 14% при $\gamma_п$ = 20° и на 39% при $\gamma_п$ = 30°. Качество процесса по показателю $C_в$ увеличилось на 3,4%, что подтверждает значимое влияние фактора n на процесс с ростом $\gamma_п$.

С увеличением $\gamma_п$ до 40° скоростной режим работы n = 35 об/мин является недостаточным – потенциальные технологические потери составляют 19,6%. По истечению t = 50 с толщина циркулирующего сегмента составляет 21 мм, она близка к оптимальной с точки зрения интенсивности выделения зерновок основной культуры ($W_в \rightarrow max$), но смещена в конец ячеистого цилиндра из-за $n < n_{opt}$ и увеличивает риски технологических потерь. В 12-ом опыте при указанных условиях (см. таблицу 1) выделилась максимальная навеска основной культуры ($m_н$ = 1440 г за 10 с).

Таблица 1 – Показатели процесса разделения через 50 с после загрузки зерносмеси в стенд

№ п/п	Условия эксперимента					Показатели процесса				
	$m_н$, кг	n, об/мин	$\gamma_п$, град	$З_и$, %	$З_р$, мм	$C_в$, %	$n_{сл}$, шт	$m_{ост}$, г	$h_с$, мм	$\gamma_{ох}$, град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4,9	30	10	1	20	100	0	0	0	0
2	4,9	30	15	1	20	98,9	–	100	–	–
3	4,9	30	20	1	20	97,8	–	153	–	–
4	4,9	30	30	1	20	93,9	2,5	349	8	58,6
5	4,9	35	20	1	20	98,2	–	132	–	–
6	4,9	35	30	1	20	96,6	–	214	–	–
7	4,9	35	40	1	20	96,2	1,7	232	5	43,8
8	4,9	35	40	2	20	95,6	1,9	309	6	48,7
9	4,9	35	40	3	20	95,9	2	344	7	50,9
10	7,7	35	20	1	20	98,6	1,9	177	6	48,2
11	7,7	35	30	1	20	96,3	3,4	357	11	69,8
12	7,7	35	40	1	20	80,4	6,6	1587	21	90,5
13	7,7	35	20	2	20	98,7	2,2	244	7	53,7
14	7,7	35	30	2	20	96,4	3,6	424	12	71,5
15	7,7	35	40	2	20	80,6	6,7	1644	21	90,9
16	7,7	35	20	3	20	98,9	2,3	301	7	55,2
17	7,7	35	30	3	20	96,9	3,6	461	12	71,8
18	7,7	35	40	3	20	81,2	6,7	1671	22	91,2
19	7,7	40	40	3	20	98,8	2,1	312	7	55,3
20	7,7	40	40	3	15	98,6	2,3	526	7	59,3
21	7,7	40	40	3	10	98,4	2,4	571	8	61,3

Увеличение исходной засоренности зерносмеси до 2% при $m_н$ = 7,7 кг также не оказывает существенного влияния на результативные показатели – $C_в$, $m_{ост}$, $\gamma_{ох}$. Некоторое приращение $m_{ост}$ и $\gamma_{ох}$ объясняется увеличением массовой доли примесного компонента в остатке. При переходе с настройки выводного лотка от $\gamma_п$ = 20° на $\gamma_п$ = 30° во всем диапазоне $З_и$ = 1-3% происходит снижение степени выделения зерновок основной культуры лишь на 2,0-2,3%, что указывает на устойчивость параметров факела выброса этих частиц.

Условия опытов № 9 и № 18 совпадают по большинству основных параметров (n, $\gamma_п$, $З_и$, $З_р$), но различаются лишь по величине $m_н$ – в опыте № 18 она на 57% повышена. При этом величина $C_в$ резко снижается (на 14,7%), а потенциальные технологические потери возрастают в 4,86 раза. Объяснить эту взаимосвязь возможно на основе анализа ранее выявленных закономерностей [14]

протекания процесса выделения зерновок основной культуры по длине ячеистой поверхности при подачах ($W_п$), эквивалентных величинам $m_н$.

Идентифицированная (эквивалентная $m_н$) производительность выделения зерновок основной культуры триером рассчитывается по формуле [15]:

$$W_в = \sum_{1}^{L_ц / l_р} \left[\int_{0}^{\Delta t_i} q_i(t)dt / \Delta t \right], \quad (1)$$

где $L_ц$ – длина стандартного ячеистого цилиндра, м;

$l_р$ – рабочая длина ячеистой поверхности стенда, м;

Δt – диапазон времени контроля стендового процесса выделения основной культуры из зерносмеси, с;

$q_i(t)$ – интенсивность выделения стендом зерновок основной культуры в i-ом интервале времени диапазона Δt, г/с.

Подинтегральное выражение в форме (1) представляет собой вклад i-го интервала процесса в среднее значение интенсивности выделения зерновок основной культуры в диапазоне Δt. Для расчета средней величины производительности $\overline{W_в}$ использованы экспериментальные данные, детализация о которых в таблице 1 не предоставлена.

Учитывая воспроизводимость функции $q_i(t)$ для конкретных условий опытов, будем иметь:

$$\begin{cases} m_{н_1} = 4,9 \text{ кг} \rightarrow \overline{W_{в_1}} = \dfrac{2,2}{0,35} \times \left[(530+760+790+790+770+620+327+116)/50 \right] = \\ = 6,286 \times 94,06 = 591,3 \text{ г/с} = 2,129 \text{ т/ч}; \\ m_{н_2} = 7,7 \text{ кг} \rightarrow \overline{W_{в_2}} = \dfrac{2,2}{0,35} \times \left[(920+1200+1280+1430+1430)/50 \right] = 787 \text{ г/с} = \\ = 2,833 \text{ т/ч}. \end{cases} \quad (2)$$

Можно заметить, что число слагаемых в формулах (2) разное. Это объясняется тем, что число интервалов времени замеров в диапазоне Δt при различных $m_н$ было разным. Кроме того $m_{н_2} / m_{н1} > \overline{W_{в_2}} / \overline{W_{в_1}}$, так как при $m_{н_2}$ = 7,7 кг наблюдаются большие технологические потери ($П_т$), которые определяются соответствием величины подачи ($W_п$) режиму работы (n) и настройке ($\gamma_п$) триера. $П_т = m_{ост}$.

При расчете эквивалентных подач зерносмеси в триер необходимо учесть величины $П_т$:

$$\begin{cases} m_{н_1} = 4,9 \text{ кг} \rightarrow W_{п_1} = 6,286 \times \left(94,06 + \dfrac{П_{т_1}}{50} \right) = 2,284 \text{ т/ч}; \\ m_{н_2} = 7,7 \text{ кг} \rightarrow W_{п_2} = 6,286 \times \left(125,2 + \dfrac{П_{т_2}}{50} \right) = \left(125,2 + \dfrac{1671}{50} \right) \times 6,286 = \\ = 997,1 \text{ г/с} = 3,59 \text{ т/ч}. \end{cases} \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что соотношение подач, учитывающих средние величины $\overline{W_в}$ и технологические потери пропорциональны навескам ($m_н$) – подача $W_{п_2}$ также на 57% $W_{п_1}$. Кратный рост (4,86 раза) технологических потерь ($П_т$) при $m_{н_2}$ = 7,7 кг объясняется, как было указано выше, выявленной нами спецификой протекания процесса выделения зерновок основной культуры. Она заключается в том, что на первом участке ячеистого цилиндра величина $W_в$ ниже некоторой величины $W_{вmax}$, характерной для любого уровня подачи ($W_п$) из реального диапазона. Однако $W_{в\,max}$ наблюдается тем позже (в некоторый момент t_i), чем больше $W_{п_i}$, так как до момента t_i

преобладает эффект динамического «выедания» зерновок из ячей над эффектом инерционного удержания контактирующего слоя.

В сравниваемых условиях (опыты № 9 и № 18) $W_{в\ max1}$ наблюдается через 18 с, а $W_{в\ max2}$ – через 45 с. После момента t_i при равных условиях по скоростному режиму работы (n) и настройке выводного лотка ($\gamma_п$) взаимосвязь $W_в = W_в(t)$ является идентичной для всех $W_{п_i}$, если величина $L_ц$ или Δt достаточны для реализации процесса при минимальных технологических потерях ($П_{т\,min}$) или допустимых по НТД [$П_{т_н}$].

При $W_{п_2}$ = 3,59 т/ч и условиях работы триера (n = 35 об/мин и $\gamma_п$ = 40°) величина Δt оказалась недостаточной, а технологические потери составили:

$$П_{т_2} = \left(W_{п_2} - \overline{W}_{в2}\right) / W_{п_2} \times 100\% = \left(3,59 - 2,833\right) / 3,59 \times 100\% \approx 21\%. \quad (4)$$

Согласно нормативно-технической документации (НТД), подготовленной головным предприятием по выпуску зерноочистительных машин (ООО «Воронежсельмаш») допустимые технологические потери для триеров составляют 5%.

Причиной неизбежных технологических потерь является динамическое воздействие ячей на зерновки основной культуры при отсутствии сплошности циркулирующего сегмента в конце ячеистого цилиндра. Это воздействие превышает сумму инерционных и гравитационных сил, действующих на зерновки. Причем зерновки подвергаются динамическому воздействию в указанной зоне ячеистого цилиндра многократно, поэтому снижается вероятность их захвата.

Даже в условиях опыта № 9 при $m_н$ = 4,9 кг, когда в сравнении с условиями опыта № 18 имеется запас времени на завершение процесса в 27 с (t_{i2} - t_{i1} = 45-18 = 27 с) технологические потери составляют $П_{т_1} = 2,1\%$. Если продлить процесс при $m_н$ = 7,7 кг после t_{i2} на те же 27 с, то получим сопоставимую величину технологических потерь, что подтверждает идентичность протекания процесса после момента t_i при всех $W_{п_i}$.

Снижение или исключение технологических потерь ($П_т$) возможно, как было показано выше, за счет: повышения скоростного режима работы (n); снижения подачи зерносмеси в триер ($W_п$) и настройки выводного лотка ($\gamma_п$). Однако, указанные возможности снижения $П_т$ имеют ограничения, исходящие из требований к триерным технологиям по критерию остаточной засоренности зерна ($З_о$).

Например, при росте n и понижении $\gamma_п$ повышается вероятность выброса в выводной лоток частиц примесных компонентов. В случаях реализации всех резервов снижения $П_т$ ($n \to max$; $W_в$, $\gamma_п \to min$) повышается вероятность появления свободной ячеистой поверхности от зерновок основной культуры. По этому участку сходом перемещается примесный компонент с длинными частицами, который обладает связностью частиц, что повышает риски их захвата ячеями и выброса в выводной лоток с чистым зерном.

Примесные частицы разделяемой зерносмеси так же, как и зерновки основной культуры участвуют в формировании выявленных физических эффектов (динамическое «выедание» зерновок из ячей; инерционное удержание контактирующего слоя) и степени их влияния на результаты технологического процесса.

Очевидно, что при малых значениях $\gamma_п$ при равных значениях скоростного режима (n) работы триера инерционно удерживаемые примесные частицы в контактирующем слое, будут в большем количестве забрасываться в выводной лоток, увеличивая остаточную засоренность ($З_о$).

При росте $\gamma_п$ необходимо увеличивать n с тем, чтобы обеспечить большую величину угла выброса (α) факела частиц основной культуры. С ростом угла α приращение угла выброса (β) примесных частиц снижается, поэтому массовая доля примеси в выводном лотке с увеличением $\gamma_п$ уменьшается. Представленный выше характер протекания процесса вытекает из принципа действия цилиндрических триеров, когда частицы соразмерные с ячеями и меньшие поднимаются на больший угол α, а длинные (примесные частицы) – на меньший. Однако, конкретные

соотношения конструктивно-режимных параметров и результативные показатели зависят и от других важнейших факторов ($m_н$, t, $З_и$, $З_р$), таблица 2.

В опытах № 1-3 (таблица 2) при $\gamma_п$ = 40° долевое количество примесного компонента в диапазоне – t = 30-60 с, выделенное в выводной лоток, возрастает в 2-3 раза при всех значениях $З_и$. В последующие 30 с (t = 60-90 с) оно увеличивается ровно в 2 раза при n = 35 об/мин и $\gamma_п$ = 40°. Затем приращение выделенной доли примеси падает из-за нарушения сплошности циркулирующего сегмента и роста динамического воздействия свободных ячей на примесные частицы.

Таблица 2 – Динамика выделения нарастающим итогом примесного компонента $m_{овс}$, г (%) в выводной лоток при $m_н$ = 7,7 кг и $З_р$ = 20 мм

№ п/п	Скорость и исходная засоренность	Положение кромки лотка ($\gamma_п$, град)	Продолжительность опыта (t), с				
			30	60	90	120	150
1	n = 35 об/мин $З_и$ = 1%	20	3,45 (0,045)	6,08 (0,08)	8,64 (0,11)	10,92 (0,14)	12,86 (0,17)
		30	1,62 (0,021)	3,60 (0,047)	6,03 (0,078)	8,18 (0,106)	9,95 (0,13)
		40	0,94 (0,012)	1,81 (0,0235)	3,71 (0,048)	5,70 (0,074)	7,47 (0,097)
2	n = 35 об/мин $З_и$ = 2%	20	7,97 (0,055)	14,39 (0,10)	19,32 (0,134)	24,15 (0,168)	29,42 (0,204)
		30	3,19 (0,022)	7,98 (0,055)	14,27 (0,10)	19,62 (0,136)	25,47 (0,177)
		40	1,7 (0,012)	4,7 (0,033)	9,54 (0,066)	13,51 (0,094)	17,59 (0,122)
3	n = 35 об/мин $З_и$ = 3%	20	10,1 (0,044)	18,9 (0,082)	26,2 (0,113)	33,8 (0,146)	41,0 (0,177)
		30	4,03 (0,0174)	11,55 (0,05)	18,23 (0,079)	25,93 (0,112)	35,3 (0,153)
		40	1,98 (0,009)	6,40 (0,028)	13,02 (0,056)	20,52 (0,089)	27,78 (0,120)
4*	n = 40 об/мин $З_и$ = 3%	40 ($З_р$ = 20)	3,91 (0,017)	9,73 (0,042)	15,29 (0,066)	20,18 (0,087)	25,66 (0,111)
		40 ($З_р$ = 15)	3,56 (0,016)	8,91 (0,39)	13,96 (0,060)	19,07 (0,083)	24,38 (0,106)
		40 ($З_р$ = 10)	3,33 (0,0144)	8,47 (0,037)	13,88 (0,060)	19,43 (0,084)	24,44 (0,106)

С ростом n от 35 об/мин до 40 об/мин за первые 30 с удваивается выделенная доля примеси при максимальных настройке ($\gamma_п$ = 40°) и исходной засоренности ($З_и$ = 3%) из-за усиления эффекта инерционного удержания частиц примеси в контактирующем слое. Затем указанное соотношение понижается до 1,5, а в диапазоне t = 120-150 с соотношение становится <1. Причина та же – усиление динамического воздействия свободных ячей на примесные частицы в слое с разрушенной сплошностью.

В опытах № 4* при n = 40 об/мин и $З_и$ = 3% снижение радиального зазора ($З_р$) с 20 мм до 15 мм приводит к снижению выделенной доли примеси в выводной лоток на 5-10% во всем диапазоне t. Дальнейшее снижение $З_р$ не подтверждает выше указанный эффект – сначала выделенная доля снижается (до момента t = 90 с), а затем несколько возрастает.

Нужно отметить, что при равных массовых долях примесного компонента, выделенного в выводной лоток до момента времени t, величина остаточной засоренности зерна пропорциональна

исходной засоренности зерносмеси ($З_и$). Например, до момента t = 60 с в опытах при n = 35 об/мин, $\gamma_п$ = 20° и разных величинах $З_и$ ($З_и$ = 1% и $З_и$ = 3%) выделенные массовые доли примеси примерно равны (0,08% и 0,082%), а остаточная засоренность зерна составила соответственно 0,08% и 0,25%.

Выводы.

1. При использовании для изучения ячеистых поверхностей циклических стендов с интервальным (по времени) контролем выделенных масс зерновок основной культуры из зерносмеси воспроизводятся реальные процессы движения и разделения исходного зернового сегмента зерносмеси по длине триерного цилиндра и обеспечивает объективность: оценок интенсивности выделения зерна по длине ячеистого цилиндра ($L_ц$) с необходимой детализацией; оценок степени заполнения ячей зерновками в произвольно выбранном участке $L_ц$; оценок физических эффектов динамического «выедания» зерновок из ячей и инерционного удержания пристенного слоя во взаимосвязи.

2. Возможности снижения технологических потерь связаны со снижением динамического воздействия стенок ячей на зерновки основной культуры в конце ячеистого цилиндра, где нарушена сплошность циркулирующего сегмента.

Список источников

1. Летошнев М.Н. Теория триера // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Л. – 1948. – Вып. IV. – С. 3-58.

2. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 687с.

3. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 с.

4. Кубышев В.А. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна: автореферат дис. … доктора техн. наук: 05.20.01. – 1968. – 51 с.

5. Ивлиева Н.М. Кинематика движения материальной точки во вращающемся цилиндре с горизонтальной осью. О сущности работы триера (при очистке семя от длинных примесей) / Труды ЧИМЭСК. – Челябинск, 1958. – Вып. 6.

6. Ивлиева Н.М. О сущности процесса работы триера (при очистке семян от длинных примесей) // Труды ЧИМЭСХ. – 1958. – Вып.6.

7. Терсков Г.Д. Основные закономерности процесса прохождения семян в отверстия решет в ячеек триеров // Труды ЧИМЭСХа. – 1969. – Вып. 36.

8. Павловский, Г.Т. Исследование технологического процесса в цилиндрических триерах / Г.Т. Павловский // Сборник научных трудов ВИМ. –1952. – Т.17.

9. Павловский Г.Т. Основные вопросы технологии очистки семян зерновых культур: автореферат дис. … доктора с/х наук: 538 / Г.Т. Павловский. – Растениеводство – Москва, 1969. – 69 с.

10. Урханов Н.А. Возможности улучшения процесса разделения семян в цилиндрических триерах // Механизация с/х производства / Материалы II научной конференции молодых ученых Московской обл. – М., 1969. – С. 56-61.

11. Урханов Н.А. Интенсификация послеуборочной обработки и очистки зерна от примесей по длине – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 1999. 319 с

12. Бурков А.И. Оптимизация частоты вращения триерных цилиндров с полимерной ячеистой поверхностью // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 4. – С. 49-51.

13. Бурков А.И. Модернизация цилиндрических триеров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 1. – С. 15-16.

14. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Анализ показателей работы триера по результатам стендовых исследований // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 27-35.

15. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Обоснование метода идентификации производительности триеров по результатам стендовых исследований // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 20-27.

References

1. Letoshnev M.N. Trier theory // Collection of scientific and technical works of the Leningrad Institute of Agricultural Mechanization. – L. – 1948. – Issue. IV. – P. 3-58.

2. Leaf fall G.E. Agricultural and reclamation machines. – M.: Agropromizdat. – 1986. – 687 p.

3. Lurie A.B. Calculation and design of agricultural machines. – L.: Mechanical Engineering, 1997. – 526 p.

4. Kubyshev V.A. Technological basis for intensifying the grain separation process: abstract of dissertation. ... Doctor of Engineering Sciences: 05.20.01. – 1968. – 51 p.

5. Ivlieva N.M. Kinematics of the motion of a material point in a rotating cylinder with a horizontal axis. On the essence of the work of the trier (when cleaning the seed from long impurities) / Proceedings of CHIMESK. – Chelyabinsk, 1958. – Issue. 6.

6. Ivlieva N.M. On the essence of the trier operation process (when cleaning seeds from long impurities) // Proceedings of ChIMESKh. – 1958. – Issue 6.

7. Terskov G.D. Basic patterns of the process of passing seeds into the holes of the sieves in the cells of trieres // Proceedings of ChimesKh. – 1969. – Issue. 36.

8. Pavlovsky, G.T. Research of the technological process in cylindrical triremes / G.T. Pavlovsky // Collection of scientific works of VIM. –1952. – T.17.

9. Pavlovsky G.T. Basic issues of technology for cleaning grain seeds: abstract of dissertation. ... Doctor of Agricultural Sciences: 538 / G.T. Pavlovsky. – Plant growing – Moscow, 1969. – 69 p.

10. Urkhanov N.A. Possibilities for improving the process of seed separation in cylindrical triremes // Mechanization of agricultural production / Materials of the II scientific conference of young scientists of the Moscow region. – M., 1969. – P. 56-61.

11. Urkhanov N.A. Intensification of post-harvest processing and purification of grain from impurities along the length - Ulan-Ude: Publishing House of VSGTU, 1999. 319 pp.

12. Burkov A.I. Optimization of the rotation speed of trier cylinders with a polymer cellular surface // Technology in agriculture. – 2008. – No. 4. – P. 49-51.

13. Burkov A.I. Modernization of cylindrical triers // Tractors and agricultural machines. – 2007. – No. 1. – P. 15-16.

14. 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. 27-35.

15. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Justification of the method for identifying the performance of triers based on the results of bench studies // Science in Central Russia. – 2018. – No. 1 (31). – pp. 20-27.

Информация об авторах

Н.П. Тишанинов - доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник; А.В. Анашкин - доктор технических наук, главный научный сотрудник.

Information about the authors

N. Tishaninov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher; A. Anashkin - Doctor of Technical Sciences, Chief 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): 02.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 17.10.2023