

Тип статьи: научная  
УДК 631.362.34  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-2-61-69

## СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА – УСЛОВИЕ ЕГО ОБЪЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

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

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

**Реферат.** Выполнены исследования взаимосвязей периодов времени стабилизации технологического процесса триерной очистки зерна от: подачи зерносмеси в триер; ее исходной засоренности; скоростного режима работы и углового положения выводного лотка относительно горизонта, выполнены. Их проводили с использованием экспериментального оборудования, обеспечивающего отдельную, регламентированную и непрерывную подачу в триер компонентов зерносмеси с закольцованным движением очищенного зерна. Стандартные методы и приборы, а также специальные приборы, разработанные в ФГБНУ ВНИИТиН использовались для оценки физико-механических свойств компонентов зерносмеси. Установлено, что при подаче 1,2 т/ч, исходной засоренности 1,3 % и угле подъема выводного лотка 55° скоростной режим работы 36,0 об/мин является избыточным, при этом стабилизация процесса не завершается даже через 15 минут (92 %), длина свободного участка ячеистой поверхности составляет 0,70 – 0,75 м, что повышает уровень остаточной засоренности зерна до 0,025 – 0,04 %, который не соответствует требованиям к семенам категории ОС. Возможность сокращения сопоставимого уровня стабилизации процесса в 6 раз при снижении скоростного режима работы до 34,6 об/мин (на 3,9 %) подтверждена. Снижение скоростного режима работы до 34,0 об/мин приводит к росту технологических потерь до 16,85 %. Установлено, что с ростом исходной засоренности зерносмеси до 2,6 % период стабилизации процесса при скоростном режиме 34,6 об/мин увеличивается с 4,5 до 5,5 минут, а технологические потери достигают максимально допустимого значения (5 %). Уточнен метод расчета фактической степени стабилизации процесса с его оценкой по сходу примеси.

**Ключевые слова:** триер, процесс, режимы работы, настроечные параметры, стабилизация, засоренность, технологические потери.

## STABILIZATION OF THE PROCESS IS A CONDITION FOR ITS OBJECTIVE STUDY

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

**Abstract.** Research of the interrelationships between the time periods of stabilization of the technological process of trier grain cleaning from: feeding the grain mixture into the trier; its initial contamination; speed mode of operation and angular position of the output tray relative to the horizon are satisfied. They were carried out using experimental equipment that provided separate, regulated and continuous supply of grain mixture components into the trier with a looped movement of purified grain. Standard methods and instruments, as well as special instruments developed at the Federal State Budgetary Institution VNIITiN, were used to assess the physical and mechanical properties of the components of the grain mixture. It was found that with a supply of 1.2 t/h, an initial contamination of

1.3% and a lifting angle of the output tray of 55°, the speed mode of operation of 36.0 rpm is excessive, while stabilization of the process is not completed even after 15 minutes (92%), the length of the free section of the cellular surface is 0.70 - 0.75 m, which increases the level of residual grain contamination to 0.025 - 0.04%, which does not meet the requirements for seeds of the OS category. The possibility of reducing the comparable level of process stabilization by 6 times when the operating speed is reduced to 34.6 rpm (by 3.9%) has been confirmed. Reducing the operating speed to 34.0 rpm leads to an increase in process losses to 16.85%. It has been established that with an increase in the initial contamination of the grain mixture to 2.6%, the stabilization period of the process at a speed mode of 34.6 rpm increases from 4.5 to 5.5 minutes, and technological losses reach the maximum permissible value (5%). The method for calculating the actual degree of stabilization of the process with its assessment based on the removal of impurities has been refined.

**Keywords:** trier, process, operating modes, setting parameters, stabilization, contamination, technological losses.

**Для цитирования:** Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Емельянович С.В. Стабилизация процесса – условие его объективного исследования // Наука в Центральной России. 2024. Т. 68, № 2. С. 61-69. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-61-69>.

**For citation:** Tishaninov N, Anashkin A., Tishaninov K., Emelyanovich S. Stabilization of the process is a condition for its objective study. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 68(2): 61-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-61-69>.

**Введение.** Авторы работ [1-6] детально разработали теорию цилиндрических триеров – условий захвата и выброса частиц зерносмеси ячелями, характера циркуляции слоев зерносмеси в сегменте, количественной оценки осевого смещения зерносмеси в цилиндре и производительности триеров. Однако, аналитического уровня проработки триерных технологий недостаточно для их модернизации и управления в сложных производственных процессах. К примеру, расчетные значения производительности цилиндрических триеров в 2-3 раза отличаются от фактической, а расчетные значения показателей качества процесса имеют еще большие расхождения с практическим опытом.

Экспериментальные решения вышеуказанных задач с целью модернизации триерных технологий и управления ими в производстве, представленные в работах [7-10], не являются достаточно доказательными. Авторы работ [7, 8] использовали традиционную схему экспериментальной установки, включающей ячеистый цилиндр с регулируемым приводом, питающий бункер и мерные емкости. Доказательность результатов исследований, полученных на этой установке, вызывает сомнения по следующим причинам: зерновая смесь в питающем бункере подвергается сегрегации (концентрация примеси изменяется в 1,6 – 4 раза [11]), что исключает сохранность условий опытов во времени; бункерные питатели не обеспечивают стабилизации процесса даже при постоянстве исходной концентрации компонентов зерносмеси – время стабилизации процесса увеличивается из-за роста насыщения циркулирующих слоев зерна примесным компонентом сверх исходной концентрации, поэтому его выделение задерживается; параметры ячеистого цилиндра ( $d = 220$  мм,  $l = 600$  мм) не обеспечивают достоверный перенос результатов на триера с производственными линейными размерами, так как физическое моделирование процесса производится по полному составу факторов (включая свойства рабочей среды), а не только по коэффициенту кинематического подобия. Те же недостатки вполне обоснованно можно отнести и к работам [12, 13], хотя они исследуют триер с  $d = 400$  мм.

Авторы [14, 15] предлагают экспериментальные установки с закольцованным движением рабочей среды, что создает предпосылки гарантированной стабилизации процесса и повышения управляемости экспериментов. В наиболее завершеном виде экспериментальная установка с закольцованным движением рабочей среды представлена в работе [14]. Она включает триерный блок с овсюжным и кукольным ячеистыми цилиндрами, бункер, две перевалочные норы, сборный транспортер и привод. Для нее также характерны недостатки, которые снижают воспроизводимость условий опытов: в бункере происходит неконтролируемая сегрегация компонентов зерносмеси; подача выделенных длинных и коротких примесей в бункер

производится со смещением по времени; вариация качества выделения примесей исключает идентичность возвращаемого и их исходного соотношений компонентов; не обеспечена возможность контроля полноты загрузки овсюжного цилиндра по длине ячеистой поверхности, что усложняет выбор решений по управлению качеством работы; нет технологических условий для обеспечения стабилизации процесса и его контроля.

Без знаний периодов стабилизации процесса триерной очистки зерна невозможно получить объективные закономерности его протекания, поэтому исследования взаимосвязей времени стабилизации процесса с режимами работы и настроечными параметрами при различных составах зерносмеси являются актуальными.

**Материалы и методы.** Исследования проводили на экспериментальной установке [16, 17] с раздельной подачей в триер компонентов зерносмеси, снабженной возвратным транспортером, обеспечивающей закольцованное движение рабочей среды. Стабилизацию технологического процесса контролировали по сходам зерновок основной культуры (пшеницы) и частиц примеси (овса). Пробы компонентов зерносмеси на сходах отбирали мерными емкостями с интервалом времени в 30 сек – по 30 проб в каждом опыте. Физико-механические свойства компонентов зерносмеси определяли стандартными методами и с помощью разработанных ФГБНУ ВНИИТиН специальных приборов: насыпную плотность – по ГОСТ 10840-64 с помощью контрольной емкости и весов ВК-600; влажность – по ГОСТ 13586-2015 методом выпаривания навесок в муфельной печи; угол внутреннего трения – с помощью прибора ФГБНУ ВНИИТиН (патент РФ № 2748565); коэффициент силы трения покоя – с помощью прибора ФГБНУ ВНИИТиН (патенты РФ № 2770416, 2749655); скорость витания и прочностные свойства – с помощью приборов ФГБНУ ВНИИТиН, рисунки 1 и 2.



Рисунок 1 – Парусный классификатор



Рисунок 2 – Прибор для определения параметров деформации и разрушения зерновок

Размерные характеристики частиц зерносмеси определяли штангенциркулем. Выборки зерновок основной культуры и примесных частиц при этом составляли по 100 шт. Число размерных групп определяли по формуле Стёрджесса. Затем формировали вариационные ряды распределения размеров частиц и показатели вариации с последующим построением полигонов распределения, по которым производился выбор ячеек триерных цилиндров и корректировка размерных характеристик примесных частиц. Зону пересечения полигонов распределения длин зерновок основной культуры и примесных частиц устраняли пропуском последних через триерный цилиндр с диаметром ячеек в 9 мм.

**Результаты и их обсуждение.** Оперативную оценку степени стабилизации процесса триерной очистки зерна в эксперименте проводили по формулам:

$$\begin{cases} C_{(з)} = \frac{Q_{cx(з)}}{W'} \times 100\%; \\ C_{(п)} = \frac{Q_{cx(п)}}{q_n} \times 100\%, \end{cases} \quad (1)$$

где  $C_{(з)}$ ,  $C_{(п)}$  – степень стабилизации процесса, определяемая соответственно по сходу зерновок основной культуры и примеси, %;

$Q_{cx(з)}$ ,  $Q_{cx(п)}$  – сход соответственно зерновок основной культуры и примеси, г/с;

$W'$ ,  $q_n$  – подача в триер соответственно зерна и примеси, г/с.

В опыте при производительности  $W = 1,2$  т/ч, исходной засоренности  $Z_{и} = 1,3$  %, угле подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка  $\gamma_n = 55^\circ$ , скорости вращения ячеистого цилиндра  $n = 36,0$  об/мин и продолжительности опыта 360 с степень стабилизации процесса по сходу зерновок основной культуры ( $C_{(з)}$ ) оказалась завершенной через 240 с, а величина  $C_{(п)}$  в конце опыта составила 78 %. Объясняется это тем, что циркулирующие слои зерносмеси продолжают насыщаться примесным компонентом по времени опыта  $t_{оп} > 360$  с. Причем среднее содержание примеси в сегменте превышает исходную засоренность зерносмеси ( $Z_{пс} > Z_{и}$ )

Продление опыта с теми же условиями до 900 с (15 мин) подтверждает справедливость этого предположения, рисунок 1. Более того, через 15 минут процесс по сходу примесного компонента также остается незавершенным –  $Q_{cx(п)}$  составляет 91,9% от  $q_n$ .

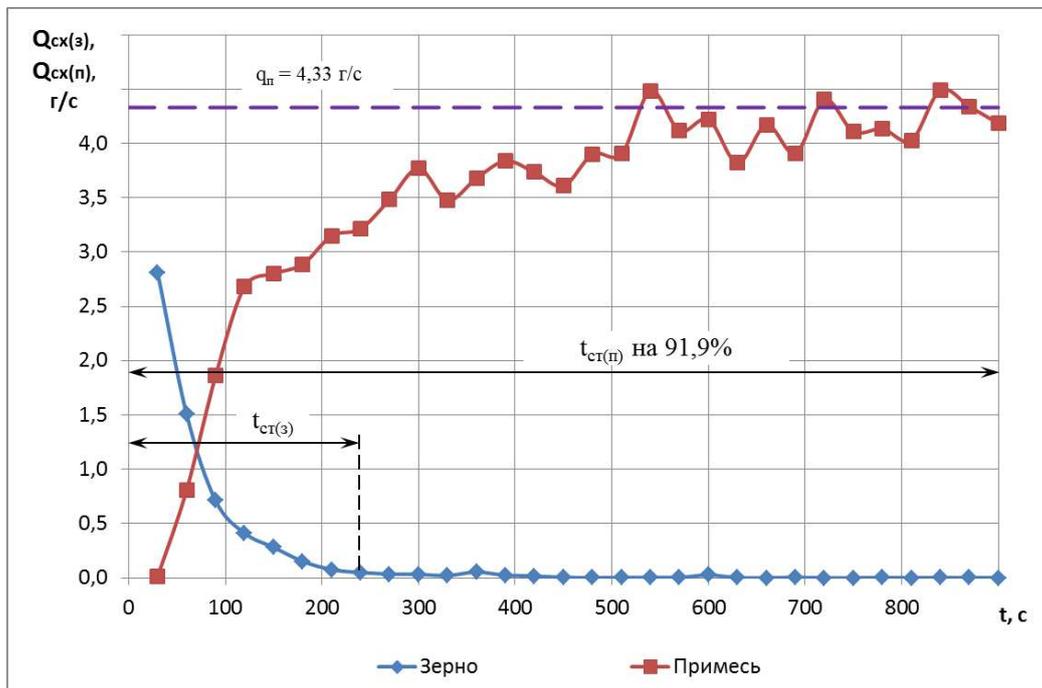


Рисунок 1 – Зависимость  $Q_{cx(з)}$  и  $Q_{cx(п)}$  от  $t$  при  $W = 1,2$  т/ч;  $Z_{и} = 1,3\%$ ;  $\gamma_n = 55^\circ$ ;  $n = 36,0$  об/мин

Величину  $n = 36,0$  об/мин в проведенных опытах следует считать завышенной, так как свободная поверхность ячеистого цилиндра увеличивается до  $l_{св} = 70 - 75$  см, а остаточная засоренность – до  $Z_o = 0,025 - 0,04\%$  (8-14 штук примесных частиц на 1 кг семян), что превышает

уровень требований к семенам категории качества ОС, где не должно быть более 3-х примесных частиц на 1 кг семян.

Снижение скоростного режима работы триера при тех же условиях эксперимента по параметрам  $W$ ,  $Z_{и}$ ,  $\gamma_{п}$  повышает качество процесса по остаточной засоренности  $Z_o = 0,004\%$  (1,5 шт. примеси на 1 кг семян) и обеспечивает ускорение стабилизации процесса по  $Q_{cx(n)}$ , рисунок 2. Объясняется это тем, что при наличии допустимых технологических потерь ( $\Pi = 1,09\%$ ) вся длина ячеистой поверхности занята зерносмесью ( $l_{св} = 0$ ) и риски захвата длинных примесных частиц ячейками концевой участка цилиндра многократно снижаются.

Если принять во внимание сопоставимый уровень стабилизации  $Q_{cx(n)}/q_{п} = 92\%$  (рисунок 1), который был достигнут через 900 с, то при  $n = 34,6$  об/мин (рисунок 2) тот же уровень стабилизации процесса по величине  $Q_{cx(n)}$  достигается в 6 раз быстрее. При  $n = 34,6$  об/мин раньше завершается процесс насыщения зерносмеси примесным компонентом даже при незначительном понижении инерционных сил (на 8%), после чего вновь поступающие порции примеси перемещаются вместе с сегментом в верхних слоях.

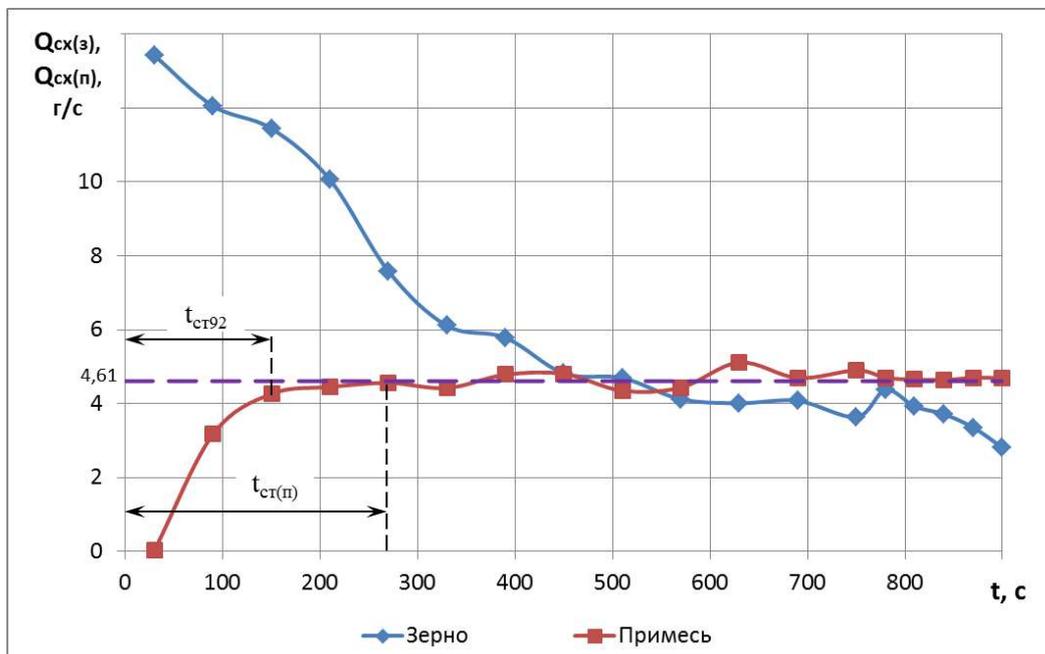


Рисунок 2 – Зависимость  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  от  $t$  при  $W = 1,2$  т/ч;  $Z_{и} = 1,3\%$ ;  $\gamma_{п} = 55^\circ$ ;  $n = 34,6$  об/мин

Большие значения скоростного режима замедляют процесс насыщения циркулирующих слоев зерносмеси примесным компонентом за счет его «выдавливания» более тяжелыми зерновками основной культуры в верхние слои.

Снижение скоростного режима работы триера ( $n = 34$  об/мин) приводит к значительному росту технологических потерь (до 16,85%), что неприемлемо, так как они превышают допустимый уровень (в 3,4 раза). При этом наблюдается и некоторое снижение остаточной засоренности (на 25%).

С увеличением исходной засоренности зерносмеси до  $Z_{и} = 2,6\%$  стабилизация процесса по сходу примеси за 900 с не завершается при  $n = 36$  об/мин. Причем степень завершения стабилизации несколько ниже, чем при  $Z_{и} = 1,3\%$  и аналогичном скоростном режиме. Он составляет 89,1%, рисунок 3.

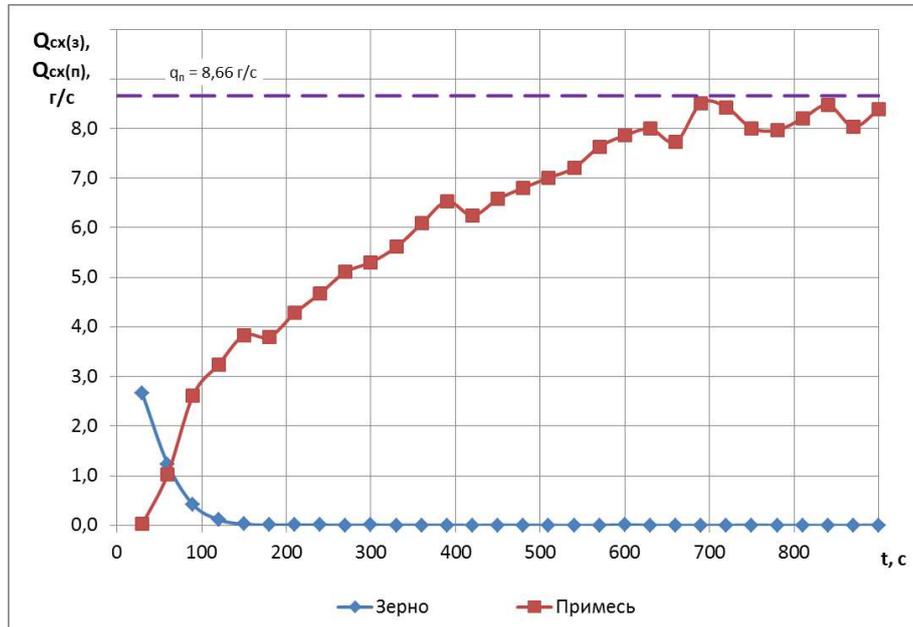


Рисунок 3 – Зависимость  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  от  $t$  при  $W = 1,2$  т/ч,  $Z_n = 2,6\%$ ,  $\gamma_n = 55^\circ$ ,  $n_1 = 36,0$  об/мин

Понижение скоростного режима до  $n = 34,6$  об/мин не дает той же кратности сокращения периода стабилизации ( $t_{ст}$ ) процесса по  $Q_{cx(n)}$ , она несколько ниже, чем при  $Z_n = 1,3\%$ , а технологические потери составили  $5,0\%$ , что в  $4,6$  раза выше, рисунок 4.

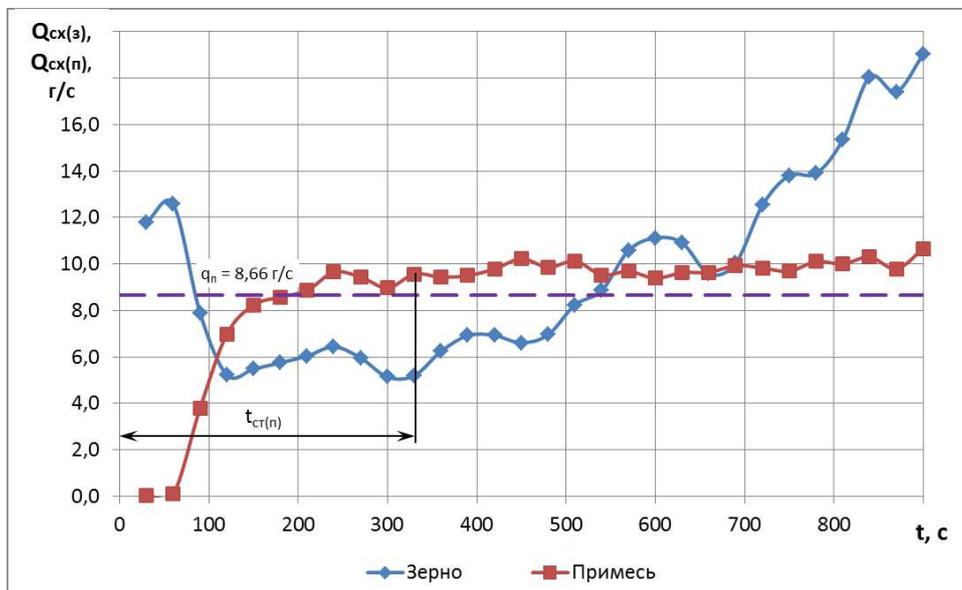


Рисунок 4 – Зависимость  $Q_{cx(z)}$  и  $Q_{cx(n)}$  от  $t$  при  $W = 1,2$  т/ч,  $Z_n = 2,6\%$ ,  $\gamma_n = 55^\circ$ ,  $n_2 = 34,6$  об/мин

Из рисунков 2 и 4 видно, что стабилизация процесса по сходу примеси при  $n = 34,6$  об/мин и  $Z_n = 1,3 - 2,6\%$  завершается через  $4,5 - 5,5$  мин –  $C_{(n)}$  близка к  $100\%$ . Поэтому участки функции взаимосвязи  $C_{(n)} = f(t)$ , когда  $t > t_{ст(n)}$  следует отнести к воспроизводимым при заданных условиях опыта. Однако, оценки  $C_{(n)}$  по формулам (1) не являются вполне объективными и требуют уточнения.

С учетом того, что часть примесного компонента уходит с чистым зерном, определяя величину остаточной засоренности ( $Z_o$ ), величина фактического уровня стабилизации процесса по сходу примеси будет определяться по формуле:

$$C_{\Phi(n)} = \frac{Q_{cx(n)}}{q_n} \times 100\% + \frac{Z_o \cdot Q_{\sigma(n)}}{W'} \quad (2)$$

где  $Q_{cx(n)}$  – сход примеси, г/с;

$Q_{\sigma(n)}$  – выход примеси, г/с;

$Z_o$  – остаточная засоренность, %;

$W'$  – подача зерна, г/с.

Величины  $W'$  и  $W$  связаны соотношением:

$$W' = W \cdot \frac{10^6}{3600} = 277,8 W \quad (3)$$

где  $W$  – подача зерна, т/ч.

Уравнение (2) можно представить в виде:

$$C_{\Phi(n)} = \frac{Q_{cx(n)}}{q_n} \times 100\% + \frac{Z_o \cdot (277,8W - Q_{cx(z)})}{277,8W} \quad (4)$$

где  $Q_{cx(z)}$  – сход зерна (технологические потери), г/с;

Технологические потери, выражаемые долями от подачи зерна в триер, будут:

$$\Pi_o = \frac{Q_{cx(z)}}{277,8W} \quad (5)$$

После преобразования выражения (5) и подстановки в выражение (4) получим:

$$277,8W = \frac{Q_{cx(z)}}{\Pi_o}; \quad (6)$$

$$C_{\Phi(n)} = \frac{Q_{cx(n)}}{q_n} \times 100\% + \frac{Z_o \cdot Q_{cx(z)} \left( \frac{1}{\Pi_o} - 1 \right)}{Q_{cx(z)} / \Pi_o} = \frac{Q_{cx(n)}}{q_n} \times 100\% + Z_o (1 - \Pi_o). \quad (7)$$

Каждое из выражений (2 – 7) может быть использовано при анализе фактического уровня стабилизации в зависимости от базы данных.

Рассмотрим пример. При  $W = 1,2$  т/ч,  $Z_n = 1,3$  %,  $n = 36,0$  об/мин,  $\gamma_n = 55^\circ$  за период стабилизации 15 мин сход составил 91,9 % от  $q_n$ . Фактический уровень стабилизации будет:

$$C_{\Phi(n)} = 91,9 + 0,04(1 - 4 \cdot 10^{-6}) \approx 92,3\%.$$

Нужно иметь в виду то, что с ростом величины  $Z_o$  фактический уровень стабилизации процесса ( $C_{\Phi(n)}$ ) будет существенно отличаться от расчетного значения, определяемого по  $Q_{cx(n)}$ .

**Заключение.** Существующее экспериментальное оборудование для исследований триерных технологий не обеспечивает воспроизводимость исходных условий экспериментов и управляемость ими по времени опытов, что исключает объективный анализ закономерностей технологического процесса. Основными причинами указанных недостатков являются: сегрегация компонентов зерносмеси в бункерных питателях, характерных для оборудования с цикличной загрузкой рабочей среды; неконтролируемый и изменчивый во времени возвратный состав компонентов зерносмеси в оборудовании с закольцованным движением рабочей среды. Стабильные условия эксперимента могут быть обеспечены при непрерывной, регламентированной и отдельной подаче в триер компонентов зерносмеси с закольцованным движением основного компонента (чистого зерна). Период стабилизации процесса в наибольшей степени зависит от скоростного режима работы триера, который необходимо выбирать индивидуально для каждого сочетания исследуемых факторов из условий: полная загрузка зерносмесью ячеистой поверхности по длине; минимально допустимые технологические потери.

#### Список источников

1. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание. – М.: Л.: Сельхозгиз. – 1955. – 856 с.
2. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос. – 1983. – 495 с.
3. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 687 с.
4. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 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. Урханов Н.А. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с целью повышения производительности и качества разделения смеси: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Урханов Н.А. – 1968. – 130 с.
7. 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. / О.П. Васильева. – Киров, 2000. – 152 с.
8. Васильева О.П., Зонов Б.Д. Экспериментальные исследования взаимодействия зернового слоя с ячеистой поверхностью триера / Сб. научных трудов Пермской ГСХА. – 1998. – с. 197.
9. Евдокимов В.Ф. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с осевыми колебаниями: автореферат дисс... кандидата технических наук. – Ростов-на-Дону, 1964. – 30 с.
10. 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.
11. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Новые резервы управления качеством очистки зерна / В сборнике: Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Материалы Международной научно-технической конференции: в 3-х томах. Минск, 16–17 октября 2013 года. – С. 266-272.
12. Сидоров И.А. Разработка и обоснование параметров цилиндрического триера с принудительным удалением фракций из ячеек: автореферат дис... канд. техн. наук. – Белгород, 1997. – 19 с.
13. Сидоров И.А. Исследование рабочего процесса цилиндрического триера с принудительным выталкиванием зерна из ячеек // Труды ВИМ. – М.: 1974. – Т. 65, ч. II. – с. 100-110.
14. Одинцов Д.В. Повышение эффективности функционирования цилиндрического триера с полимерной ячеистой поверхностью путем обоснования основных параметров и режимов работы: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Киров, 2007. – 23 с.
15. Бурков А.И., Одинцов Д.В. Оптимизация конструктивных параметров надставки лотка овсюжного цилиндра с полимерной ячеистой поверхностью // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2006. – № 8. – С. 203-206.
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.

#### References

1. Letoshnev M.N. Agricultural machines, theory, calculation, design and testing. – M.: L.: Selkhozgiz. – 1955. – 856 p.
2. Karpenko A.N., Khalansky V.M. Agreecultural machines. Agreecultural equipment. 5th ed., revised. and additional – M.: Kolos. – 1983. – 495 p.
3. Leaf fall G.E. Agricultural and reclamation machines. – M.: Agropromizdat. – 1986. – 687 p.

4. Lurie A.B. Calculation and design of agricultural machines. – L.: Mechanical Engineering, 1997. – 526 p.
5. Sokolov A.Ya. Technological equipment of grain storage and processing enterprises. – ed. 4th add. and processed – M.: Kolos, 1975. – 495 p.
6. Urkhanov N.A. Study of the technological process of operation of a cylindrical trier in order to increase the productivity and quality of mixture separation: dis. ...cand. tech. Sciences: 05.20.01 / Urkhanov N.A. – 1968. – 130 p.
7. 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. / O.P. Vasilyeva. – Kirov, 2000. – 152 p.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. New reserves for quality management of grain cleaning / In the collection: Scientific and technological progress in agricultural production. Materials of the International Scientific and Technical Conference: in 3 volumes. Minsk, October 16–17, 2013. – pp. 266-272.
12. Sidorov I.A. Development and justification of the parameters of a cylindrical trier with forced removal of fractions from the cells: abstract of thesis... Cand. tech. Sci. – Belgorod, 1997. – 19 p.
13. Sidorov I.A. Study of the working process of a cylindrical trier with forced ejection of grain from the cells // Proceedings of VIM. – M.: 1974. – Т. 65, part II. - With. 100-110.
14. Odintsov D.V. Increasing the efficiency of functioning of a cylindrical trier with a polymer cellular surface by substantiating the main parameters and operating modes: abstract of thesis. ...cand. tech. Sci. – Kirov, 2007. – 23 p.
15. Burkov A.I., Odintsov D.V. Optimization of the design parameters of the extension of a wild oat cylinder tray with a polymer cellular surface // Agricultural Science of the Euro-North-East. – 2006. – No. 8. – P. 203-206.
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.

#### **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): 01.02.2024      Принята к публикации (Accepted): 24.02.2024