Author credentials**Affiliations**

Bashkirev Anatoly – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: tmv46@mail.ru.

Shvarts Anatoly Adolfovich – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Pashin Evgeniy – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: pashin6@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 31.08.2020 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2020

УДК 631.303

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-24-30

АВТОРЕГУЛИРУЕМОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ТРИЕРА

¹*Тишанинов Николай Петрович*

¹*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»*

Реферат. Систематизированы факторы, определяющие интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмеси овсюжным цилиндром и подтверждена ее определяющая взаимосвязь с качеством процесса в кукольном цилиндре. Установлено, что настройка триеров требует оперативной корректировки с учетом: вариативности свойств рабочей среды; состояния заполненности накопительных бункеров и завальных ям; стабильности (технологической надежности) подачи зерносмеси в приемные горловины перевалочных норий. Однако база знаний и возможность оперативного выбора оптимальных режимов работы и настроечных параметров триеров отсутствуют. Экспериментально подтверждено, что управление процессом триерной очистки зерна путем изменения углового положения выводного лотка увеличивает состав и размер рисков снижения качества процесса в сравнении с вариантом управления за счет изменения скоростного режима работы. Установлено, что даже при минимальной подаче (1,17 т/ч) и завышенном угле подъема выводного лотка потери сходом составляют 6 %. При подаче 3,34 т/ч (это 67 % от оптимального значения) потери зерновок основной культуры изменяются в диапазоне 48,7 – 77,7 % с ростом угла подъема выводного лотка от 30° до 40° при пониженном скоростном режиме (30 об/мин). Подтверждена высокая степень зависимости производительности триера от скоростного режима его работы – в диапазоне скоростей 30 – 40 об/мин производительность триера увеличивается в 3,3 раза (на пшенице). Предложены две целевые функции, определяющие границы зоны авторегулирования процесса триерной очистки зерна за счет балансирования подачи и скоростного режима работы. Она (зона авторегулирования) ограничена неизбежными минимально допустимыми технологическими потерями – с одной стороны, а с другой – допустимой величиной условно свободной ячеистой поверхности (с вероятностью заполнения ячей на уровне 5 – 7 %), определяющей риски повышения остаточной засоренности. Управляющее воздействие предложено осуществлять авторегулируемым делителем потока сыпучих материалов с пружинной грузовоспринимающей системой, подвижная стабилизирующая емкость которого кинематически связана с регулятором частотного преобразователя.

Ключевые слова: триер, режимы работы, настройка, качество процесса, потери, засоренность, авторегулирование, управляющее воздействие.

AUTO-ADJUSTABLE SPEED CONTROL TRIER'S WORKS

¹*Tishaninov Nikolay*

¹*FSBSI “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”*

Abstract. The factors that determine the intensity of separation of the main crop grains from the grain mixture by the oat cylinder are systematized and its determining relationship with the quality of the process in the doll cylinder is confirmed. It was found that the setting up of triers requires prompt adjustment taking into account: the variability of the properties of the working environment; the state of filling of storage bins and filling pits; stability (technological reliability) of the feed of grain mixture to the receiving throats of transshipment holes. However, the knowledge base and the ability to quickly select the optimal operating modes and tuning parameters of triers are not available. It is experimentally confirmed that controlling the process of Trier grain cleaning by changing the angular position of the output tray increases the composition and size of the risks of reducing the quality of the process in comparison with the control option by changing the speed mode of operation. It was found that even with a minimum feed (1.17 t/h) and an inflated angle of lift of the output tray, the losses are 6 % at the same time. When feeding 3.34 t/h (this is 67 % of the optimal value), the losses of the main crop grains change in the range of 48.7 – 77.7 % with an increase in the lifting angle of the output tray from 300 to 400 at a reduced speed (30 rpm). The high degree of dependence of the Trier performance on the speed mode of its operation is confirmed – in the speed range of 30 – 40 rpm, the Trier performance increases by 3.3 times (on wheat). Two target functions are proposed that define the boundaries of the zone of auto-regulation of the Trier grain cleaning process by balancing the feed and the speed mode of operation. It (the autoregulation zone) is limited by the unavoidable minimum allowable technological losses – on the one hand, and on the other – by the permissible value of the conditionally free cellular surface (with the probability of filling the pits at the level of 5 – 7 %), which determines the risks of increasing residual clogging. The control action is proposed to be performed by an autoregulated flow divider of bulk materials with a spring load-receiving system, the mobile stabilizing capacity of which is kinematically connected to the frequency Converter regulator.

Keywords: trier, operating modes, setting, process quality, loss, clogging, auto-regulation, control effect.

Введение. Интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмеси овсюжным цилиндром определяет уровень технологических потерь и загрузку кукольного цилиндра триерного блока. Она зависит от скоростного режима работы (n), угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка (γ_n), подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр (W_n), свойств компонентов зерносмеси и других факторов. Научно-обоснованных регламентов управления работой триеров нет в отечественной и зарубежной нормативно-технической документации по их эксплуатации. Задачи технологической настройки овсюжного цилиндра триерного блока определяются сложным сочетанием требований к процессу – обеспечение минимума потерь полноценного зерна сходом и отсутствие свободной от зерна ячеистой поверхности, определяющей риски повышения остаточной засоренности (Z_o). Из этих требований вытекает необходимость и сложность качественной подготовки триеров к работе. Она может быть выполнена опытным подбором режимов работы и настроечных параметров, но величина W_n изменчива из-за свойств зернового вороха, степени заполненности накопительных бункеров и завальных ям, забивания приемной горловины башмака норрии и др. Поэтому задача автоматизации управления режимами работы (n) триера в зависимости от W_n является актуальной.

Материалы и методы. В работе использованы приборы для исследований ячеистых поверхностей, результаты этих исследований, метод математического анализа, расчетно-конструктивный метод.

Результаты и их обсуждение. Возможность управления процессом триерной очистки зерна за счет изменения углового положения выводного лотка имеет ряд существенных недостатков [1, 2]: отсутствие оперативного управления (высокая трудоемкость настройки с остановкой технологического процесса); избыточная чувствительность отклика на управляющее воздействие, которая при существенной вариативности W_n приводит к росту технологических потерь и остаточной засоренности зерна; при верхних значениях γ_n из диапазона регулирования наблюдается множественное соударение зерновок основной культуры из нижней части факела их выброса ячеистой поверхностью со стенкой выводного лотка, что увеличивает степень травмирования семян; при нижних значениях γ_n повышаются риски снижения качества процесса

по остаточной засоренности из-за инерционного удержания в контактирующем слое примесных частиц и высоковероятного их выброса в выводной лоток с чистым зерном.

Использование скоростного режима работы триера (n) в качестве управляющего воздействия на процесс уменьшает число отрицательных технологических эффектов, сохраняя уровень чувствительности – при $n = 30 - 45$ об/мин интенсивность выделения (W_B) зерновок основной культуры изменяется в 3,3 раза [1]. Однако, авторы основополагающих работ [3 – 6] по триерным технологиям не смогли установить объективные взаимосвязи расходных характеристик триеров с режимами их работы и настроечными параметрами. Эти взаимосвязи подменялись необоснованной унитарной нормативной базой, что сдерживало совершенствование триерных технологий и создавало большие проблемы для эксплуатационников. Закономерности триерных процессов не были исследованы в достаточной мере.

Нами восполнен этот пробел знаний с использованием новых приборов и стендов [7, 8]. Установлено, что при подаче зерносмеси в ячеистый цилиндр $W_n = 1,17 - 1,74$ т/ч и малом угле подъема верхней комки передней стенки выводного лотка ($\gamma_n = 20^\circ$) ячеистая поверхность по длине используется частично, таблица 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь подачи (W_n) зерносмеси в ячеистый цилиндр с величиной его загрузки по длине (l_p) при $n = 30 - 45$ об/мин и $\gamma_n = 20^\circ$

Подача зерносмеси (W_n), т/ч	1,17	1,36	1,55	1,74
Скорость вращения ячеистого цилиндра (n), об/мин	30	35	40	45
Рабочая длина ячеистого цилиндра (l_p), м	1,42	1,53	1,39	1,17
Свободная длина ячеистого цилиндра ($l_{св}$), м	0,78	0,67	0,81	1,03

Анализ таблицы 1 подтверждает необходимость управления процессом триерной очистки зерна. При малых подачах (W_n) во всем диапазоне скоростных режимов сохраняются риски повышения остаточной засоренности зерна. Кроме того из таблицы 1 видно, что прирост подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр с 1,17 т/ч до 1,36 т/ч не компенсирован увеличением скорости вращения цилиндра – рабочая длина увеличивается. Это объясняется тем, что приращение инерционных сил при росте n до 35 об/мин еще не может компенсировать эффект динамического «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем.

При дальнейшем увеличении подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр и минимальном скоростном режиме работы ($n = 30$ об/мин) наблюдаются потери полноценного зерна сходом, таблица 2.

Таблица 2 – Взаимосвязь технологических потерь (Π) с величиной подачи (W_n) зерносмеси в ячеистый цилиндр при минимальном скоростном режиме

Подача зерносмеси (W_n), т/ч	1,77	2,49	3,34
Технологические потери, %	1	11,5	39,4

Технологические потери (Π) определяли по формуле:

$$\Pi = \left[\left(\int_0^{t_0} W_B(t) dt - \int_0^{t_{ср}} W_B(t) dt \right) / \int_0^{t_0} W_B(t) dt \right] \times 100\%,$$

где t_0 – время стендового опыта - до конца выделения массы зерновок основной культуры, эквивалентной заданной величине подачи (W_n) с;

$t_{ср}$ – время перемещения сегмента зерносмеси с начальной массой, эквивалентной подаче (W_n), по длине стандартного ячеистого цилиндра ($L_{ц} \approx 2,2$ м), с;

W_B – интенсивность выделения зерновок основной культуры ячеистой поверхностью, кг/с.

Рост технологических потерь с увеличением W_n обусловлен тем, что уменьшается степень захвата выводным лотком факела выброса зерновок основной культуры.

При $n = 45$ об/мин даже с увеличением γ_n до 35° стандартный триерный цилиндр обеспечивает производительность $W_B = 4,98$ т/ч без технологических потерь, но при уменьшении подачи (W_n)

зерносмеси ячеистая поверхность используется не полностью и также создаются риски снижения качества процесса по остаточной засоренности, таблица 3.

Таблица 3 – Взаимосвязь полноты загрузки ячеистого цилиндра по длине с величиной подачи при $n = 45$ об/мин и $\gamma_n = 35^\circ$

Подача зерносмеси (W_n), т/ч	1,74	2,64	3,72	4,98
Свободная длина ячеистого цилиндра ($l_{св}$), м	1,03	0,704	0,35	–

Из таблицы 3 следует, что скорость вращения ячеистого цилиндра (n) является эффективным параметром настройки. Его надо использовать в сочетании с величиной угла подъема (γ_n) верхней кромки передней стенки выводного лотка, а радиальный зазор между этой кромкой и внутренней поверхностью ячеистого цилиндра практически не влияет на расходную характеристику триера.

Расходные характеристики триерных блоков невозможно объективно оценить без знаний закономерностей изменения показателя степени заполнения ячеек. Величина этого показателя зависит от числа циркулирующих слоев зерносмеси в сегменте, скоростного режима работы и характера взаимодействия контактирующего слоя с зерновками, захваченными ячейками. Расчетным путем определить этот показатель невозможно. Взаимосвязь степени заполнения ячеек зерновками основной культуры и скоростного режима работы триерного цилиндра при малых W_n , установленная экспериментально, представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Взаимосвязь степени заполнения ячеек зерновками (n_z , шт) и скоростного режима (n) при $W_n = 1,17-1,74$ т/ч

n , об/мин	Номера интервалов времени замеров								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0,76	0,94	1,03	1,08	0,99	0,86	0,61	0,36	0,19
35	1,08	1,16	1,19	1,19	1,08	0,71	0,36	0,16	0,07
40	1,9	1,88	1,38	1,10	0,80	0,38	0,19	0,09	0,05
45	2,34	1,93	1,61	1,18	0,67	0,35	0,19	0,14	0,08

Для средних и максимальных значений подачи зерносмеси (W_n) в овсюжный цилиндр аналогичные взаимосвязи показателей оказались менее контрастными. Увеличение W_n в 1,8 раз увеличивает степень заполнения ячеек (n_z) на начальном участке ячеистого цилиндра лишь в 1,28 раза, с ростом W_n в 2,5 раза величина n_z увеличивается только в 1,5 раза, при росте W_n в 3,3 раза n_z увеличивается в 1,8 раза. Кратность изменения n_z на всей длине (L) ячеистого цилиндра снижается с ростом W_n от 2,64 т/ч до $W_n = 4,98$ т/ч. При меньших W_n величина n_z на длине (L) снижается в 30 раз, а при больших W_n – в 22 раза.

При $W_n = 4,98$ т/ч и $n = 45$ об/мин коэффициент заполнения ячеек в первом интервале измерений (в начале ячеистого цилиндра) составляет $n_z = 4,18$ шт/ячею. Эта величина достигается за счет инерционного удержания контактирующего слоя и выброса его в отводящий лоток. Величина $n_z = 4,18$ получена опытным путем делением числа зерновок, выделенных за 3 с, на число ячеек, прошедших под сегментом. Реально вместить 4 зерновки пшеницы в 1 ячею невозможно, что подтверждает влияние на процесс выявленных нами физических эффектов. Эффект «инерционного удержания» подавляет эффект динамического «выедания» зерновок из ячеек контактирующим слоем при высоком скоростном режиме работы ($n = 45$ об/мин) и максимальном значении W_n .

Выявленные нами взаимосвязи расходных характеристик триеров со скоростным режимом его работы (n) и углом подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка, а также взаимосвязи степени заполнения ячеек с конструктивно-режимными параметрами позволяют осуществлять подготовку триеров к эффективному использованию. Однако настройка триеров по указанным режимам и параметрам требует корректировки с учетом вариативности W_n по целевым функциям: $\Pi \rightarrow \min$; $З_0 \rightarrow \min$. Для управления процессом триерной очистки зерна по взаимосвязи $\Pi = f(W_n)$ нами разработан триер, конструктивно-технологическая схема которого представлена на рисунках 1 – 3.

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема триера.

Рисунок 2 – Вид А на рисунке 1.

Рисунок 3 – Вид Б на рисунке 1.

Предложенный триер содержит ячеистый цилиндр 1, размещенный в нем желоб 2 с выводным шнеком 3, приводные 4 и опорные 5 ролики, электропривод 6, питатель 7, лотки 8 и 9, авторегулируемый делитель потока сыпучих материалов 10 с подвижной регулирующей емкостью 11, пружиной 12, клапанами 13 в отводах 14 и рычажным механизмом 15, частотный преобразователь 16, регулятор 17, шнур 18, соединенный одним концом через ролик 19 с зажимом 20, а вторым концом – с пружиной 21, присоединенной к раме 22, кабели 23 и 24.

Триер работает следующим образом. Перед началом работы приводят в движение ячеистый цилиндр 1 на минимальном скоростном режиме посредством электропривода 6 и приводных роликов 4. Устойчивость положения ячеистого цилиндра обеспечивается опорными роликами 5. Далее в подвижную регулирующую емкость 11 авторегулируемого делителя потока сыпучих материалов 10 подают зерносмесь. По мере накопления зерносмеси в подвижной регулирующей емкости 11 последняя начинает двигаться вниз, преодолевая усилие пружины 12.

При этом рычажный механизм 15 поворачивает клапаны 13 в отводах 14, увеличивая их живое сечение и подачу зерносмеси в ячеистый цилиндр 1 через питатель 7. Подвижная регулирующая емкость 11, опускаясь, тянет за собой закрепленный на ней зажимом 20 шнур 18, переброшенный через ролик 19. Шнур 18 натягивается и, преодолевая усилие пружины 21, присоединенной к раме 22, поворачивает регулятор 17 частотного преобразователя 16, включенного в сеть кабелем 24 и соединенного с электроприводом 6 кабелем 23, по часовой стрелке. При этом увеличивается частота электрического тока и скоростной режим работы триера. Выделяемые ячеистым цилиндром 1 зерновки основной культуры поступают в желоб 2 с выводным шнеком 3, который направляет их в лоток 8, а примесные частицы сходом поступают в лоток 9. С уменьшением подачи зерносмеси в подвижную регулирующую емкость 11 она начинает подниматься растянутой пружиной 12 вверх вместе со шнуром 18, который вытягивается пружиной 21 и поворачивает регулятор 17 против часовой стрелки. Частота электрического тока и скоростной режим работы триера при этом уменьшаются. Таким образом осуществляется авторегулируемое управление режимами работы триера, которое обеспечивает оптимальную загрузку ячеистого цилиндра 1 и повышение качества технологического процесса, так как исключается перегруз триера, когда частицы основной культуры не успевают выделиться ячеистым цилиндром 1 из зерносмеси и сходом вместе с примесными частицами направляются в отходы по лотку 9, увеличивая технологические потери. При исключении недогрузки триера в авторегулируемом режиме работы отсутствует свободная ячеистая поверхность, которая в обычном режиме работы захватывает примесные частицы и направляет их в желоб 2 с чистым зерном, увеличивая его засоренность [9, 10]. В авторегулируемом режиме работы триера нет необходимости перенастраивать его под величину подачи зерносмеси, что снижает трудоемкость обслуживания.

Выводы. Управление процессом триерной очистки зерна путем авторегулируемого балансирования подачи рабочей среды в ячеистый цилиндр и скоростного режима его работы является более предпочтительным в сравнении с управлением процесса за счет изменения углового положения выводного лотка по составу рисков снижения качества процесса и конструктивному исполнению. Управляющее воздействие осуществляется авторегулируемым делителем потока сыпучих материалов с пружинной грузовоспринимающей системой, подвижная стабилизирующая емкость которого кинематически связана с регулятором частотного преобразователя, синхронизирующего взаимосвязь подачи со скоростным режимом. Зона авторегулирования ограничена минимально допустимыми технологическими потерями – с одной стороны, а с другой – минимальными рисками повышения остаточной засоренности зерна.

Список литературы

1. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Управление расходными характеристиками триера положением выводного лотка // Наука в Центральной России. – 2018. – № 2. – с. 28 – 34.
2. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Анализ показателей работы триера по результатам стендовых исследований // Наука в Центральной России. – 2018. – № 1. – с. 27 – 34.
3. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 856 с.
4. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 с.

5. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины – М.: Агропромиздат, 1986. – 687 с.
6. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – Изд. 4-е доп. и перераб. М.: Колос, 1975. – 495с.
7. Патент РФ № 2520341. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов.. – № 2012145368/13; заявл. 24.10.2012, опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17.
8. Патент РФ № 2706163. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов. – № 2019112704; заявл. 25.04.2019, опубл. 14.11.2019, Бюл. № 32.
9. Оробинский В.И., Шатохин И.В., Парфенов А.Г. Качественные показатели работы зерноочистительного агрегата // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 3 (15). – С. 256 – 262.
10. Чернышов А.В., Оробинский В.И., Гиевский А.М., Баскаков И.В. Инновационные направления подготовки семян зерновых культур / В сборнике: Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности материалы международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения ВГАУ им. императора Петра I. – 2018. – С. 157 – 160.

References

1. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Upravlenie rashodnymi harakteristikami triera polozheniem vyvodnogo lotka // Nauka v Central'noj Rossii. – 2018. – № 2. – s. 28 – 34.
2. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Analiz pokazatelej raboty triera po rezul'tatam stendovykh issledovaniy // Nauka v Central'noj Rossii. – 2018. – № 1. – s.27 – 34.
3. Letoshnev M.N. Sel'skhozajstvennyye mashiny, teoriya, raschet, proektirovanie i ispytanie. – М.: Sel'hozgiz, 1955. – 856 s.
4. Lur'e A.B. Raschet i konstruirovaniye sel'skhozajstvennykh mashin. – L.: Mashinostroenie, 1997. – 526 s.
5. Listoпад G.E. Sel'skhozajstvennyye i meliorativnyye mashiny – М.: Agropromizdat, 1986. – 687 s.
6. Sokolov A.Ja. Tehnologicheskoe oborudovanie predpriyatij po hraneniju i pererabotke zerna. – Izd. 4-e dop. i pererab. М.: Kolos, 1975. – 495s.
7. Patent RF № 2520341. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov.. – № 2012145368/13; zajavl. 24.10.2012, opubl. 20.06.2014, Bjul. № 17.
8. Patent RF № 2706163. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, K.N. Tishaninov. – № 2019112704; zajavl. 25.04.2019, opubl. 14.11.2019, Bjul. № 32.
9. Orobinskij V.I., Shatohin I.V., Parfenov A.G. Kachestvennyye pokazateli raboty zernoochistitel'nogo agregata // Lesotekhnicheskij zhurnal. – 2014. – № 3 (15). – S. 256 – 262.
10. Chernyshov A.V., Orobinskij V.I., Gievskij A.M., Baskakov I.V. Innovacionnyye napravlenija podgotovki semjan zernovykh kul'tur / V sbornike: Proizvodstvo i pererabotka sel'skhozajstvennoj produkcii: menedzhment kachestva i bezopasnosti materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 25-letiju fakul'teta tehnologii i tovarovedenija VGAU im. imperatora Petra I. – 2018. – S. 157 – 160.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 01.06.2020

Принята к публикации (Accepted): 28.08.2020