

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.362.34

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-32-38>

Взаимосвязь интенсивности выделения зерна триером со скоростным режимом работы

Н.П. Тишанинов^{1✉}, А.В. Анашкин², С.В. Емельянович³^{1,2,3} Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве; г. Тамбов, Россия¹ vnitilab5@mail.ru ✉² av-anashkin@mail.ru³ seruvarovo@yandex.ru

Аннотация. Оптимальная работа триера при очистке зерна от длинных примесей зависит от правильно подобранных параметров его работы. С целью повышения качества триерной очистки проведены экспериментальные исследования по установлению рациональных режимов работы триера. Подача зерносмеси изменялась в диапазоне 1840...4420 кг/ч, при этом скоростной режим работы триера соответствовал 36,0...43,0 об/мин. Установлено, что с ростом частоты вращения цилиндра в диапазоне 36,0...39,0 об/мин при подаче 1840 кг/ч остаточная масса снижается в 2,77 раза, образуя свободный участок ячеистой поверхности до 0,75 м, который создает риски существенного увеличения остаточной засоренности. С увеличением загрузки триера до 4420 кг/ч длина свободной ячеистой поверхности сокращается до 0,2 м. Рабочие диапазоны скоростного режима с ростом подачи увеличиваются при расширении границ диапазонов. Установлено, что в начале диапазонов частоты вращения цилиндра величина интенсивности выделения зерновок возрастает на 4,1...26% пропорционально величине загрузки, а с последующим ростом скоростного режима стабилизируется в связи с ухудшением условий западания зерновок в ячеи. Исполнение ячеистых цилиндров под наклоном к горизонту в 1° позволяет существенно выравнивать распределение интенсивности выделения чистого зерна по их длине, что обеспечивает при равных режимах работы сокращение технологических потерь и рисков роста остаточной засоренности зерна. Интенсивность выделения зерна триером при различной загрузке обусловлена соответствующим скоростным режимом. При загрузке 1,84 т/ч рекомендуемая частота вращения ячеистого цилиндра составляет 36,2...36,5 об/мин, при 2,49...3,1 т/ч – 38,0...39,0 об/мин, при 3,77 т/ч – 40,0...41,0 об/мин, при 4,42 т/ч – 40,0...41,5 об/мин. Установленные диапазоны скоростных режимов работы обеспечивают допустимый уровень технологических потерь 0,99...2,38%.

Ключевые слова: триер; режим работы триера; качество очистки зерна; интенсивность выделения зерна; скоростной режим работы триера; технологические потери

Для цитирования: Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Взаимосвязь интенсивности выделения зерна триером со скоростным режимом работы // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 5. С. 32-38. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-32-38>

ORIGINAL ARTICLE

Relationship between the intensity of grain release by an indented cylinder separator and the speed mode of operation

N.P. Tishaninov^{1✉}, A.V. Anashkin², S.V. Emelyanovich³^{1,2,3} All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture; Tambov, Russia¹ vnitilab5@mail.ru ✉² av-anashkin@mail.ru³ seruvarovo@yandex.ru

Abstract. Optimal performance of an indented cylinder separator relies on carefully selected settings and operating parameters. To enhance the cleaning efficiency, the authors conducted experimental studies to determine rational operating modes. The obtained results demonstrate that increasing the cylinder speed from 36.0 to 39.0 rpm at a feed rate of 1840 kg/h reduces residual mass by a factor of 2.77. At this feed rate, a free section of the cellular surface forms, reaching up to 0.75 m, which can increase residual contamination. Increasing the feed rate to 4420 kg/h reduces this free cellular surface to only 0.2 m. The authors observed that the effective speed ranges broaden as feed rates

are increased. Within these ranges, grain separation intensity initially increases by 4.1 to 26%, but then stabilizes due to less effective grain capture. Importantly, inclining the cylinder by 1° significantly equalizes grain separation intensity. This equalization minimizes process losses and reduces the risk of increased residual grain contamination under consistent operating conditions. By utilizing the established operating speed ranges for different loading values of an indented cylinder separator, one can ensure acceptable process losses, ranging from 0.99 to 2.38%,

Keywords: indented cylinder separator; grain mixture; separation; operating modes; quality; process losses

For citation: Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Relationship between the intensity of grain release by an indented cylinder separator and the speed mode of operation. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(5):32-38 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-32-38>

Введение

В работах [1, 2] представлены результаты распределения интенсивности выделения зерна (W_b) по длине ячеистой поверхности. Подтверждено, что на конечном участке ячеистого цилиндра захват зерновок ячеями становится маловероятным по причине нарушения сплошности циркулирующих слоев зерна, когда задние стенки (по направлению вращения цилиндра) ячеи оказывают силовое воздействие на зерновки, превышающее их инерцию и гравитацию. В этом заключается причина снижения качественных показателей процесса. Активизация осевого смещения циркулирующих слоев зерна за счет наклона цилиндра (α) могла бы компенсировать их сплошность на конечном участке цилиндра и сократить технологические потери. Однако объективных результатов исследований о взаимосвязи W_b со скоростным режимом работы (n) при наклоне цилиндра к горизонту недостаточно. Авторы работ^{1,2,3,4,5} [3] использовали оценочные критерии, не связанные с традиционными показателями качества процесса. Они не располагали средствами объективного контроля распределения W_b по длине цилиндра, поэтому получили ошибочные результаты. Авторы^{5,6} также не имели возможности контролировать W_b и неоправданно завышали угол

наклона цилиндра к горизонту (до 10°). В работах^{7,8} авторы связывают распределение W_b с углом охвата зернового клина в цилиндре, что опровергается исследованиями ФГБНУ ВНИИТиН [1, 2]. Сторонники характеризовать процесс показателем «вычерпывающей» способности^{2,3,9} считают, что она линейно связана со скоростным режимом работы триера. Результаты исследователей триерных технологий [3-11] также не позволяют получать объективные закономерности протекания процесса. Актуальность исследований по выравниванию распределения W_b по длине ячеистого цилиндра за счет его наклона к горизонту обусловлена существенными резервами качества процесса.

Цель исследований: повысить качество очистки зерна и семян за счет обеспечения рациональных параметров работы триера.

Материалы и методы

Исследования проводили на экспериментальной установке [12], обеспечивающей воспроизводимость условий опытов за счет отдельной подачи компонентов зерносмеси в триер и стабилизации процесса при непрерывном кольцевом движении рабочей среды, контролируемой по сходам. Установка включает в себя перевалочную норию, дозатор, триер, возвратный скребковый транспортер, ленточный питатель для примесного компонента. Триер снабжен гидроподъемником, уровнемером, электронным тахометром, видеокамерой с автоматизированным дистанционным управлением, расположенной внутри ячеистого цилиндра. Установка обеспечена также

¹Павловский Г.Т. Исследование технологического процесса в цилиндрических триерах // Сборник научных трудов ВИМ. 1952. Т. 17.

²Викторова Н.Н., Ивлиева Н.М., Кубышев В.А. Влияние параметров цилиндрического триера на эффективность его работы // Труды ВНИИЗ. 1962. Вып. 42. С. 245-253.

³Викторова Н.Н. Влияние скорости вращения на эффективности работы триерных цилиндров (при очистке семян от длинной примеси) // Труды ЧИМЭСХ. 1965. С. 21-22.

⁴Ивлиева Н.М. Экспериментальное исследование процесса движения обрабатываемого материала в цилиндрическом триере // Труды ЧИМЭСХа. 1965. Вып. 5.

⁵Ивлиева Н.М. Исследование влияния нагрузки цилиндра и угла его наклона к горизонту на производительность и качество работы цилиндрического триера: Дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1952.

⁶Павловский Г.Т. Исследование технологических процессов в цилиндрических триерах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1950. 13 с.

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

⁸Урханов Н.А. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с целью повышения производительности и качества разделения смеси: Дис. ... канд. техн. наук. 1968. 130 с.

⁹Викторова Н.Н. Исследование процесса работы цилиндрического триера при максимальной производительности и изыскания его оптимальных параметров: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1964. 27 с.

электронными весами, распределительными коробками без днища с защитными стенками, мерными емкостями. План эксперимента представлен в таблице.

Результаты и их обсуждение

В результате исследований процесса триерной очистки зерна с режимами работы при угловом положении выводного лотка $\gamma_n = 55^\circ$ и наклоне ячеистого цилиндра к горизонту под углом $\alpha = 1^\circ$ установлена зависимость: при подаче зерна в триер $W_n = 1840$ кг/ч и увеличении частоты вращения ячеистого цилиндра в диапазоне 36,0...39,0 об/мин остаточная масса зерна в ячеистом цилиндре ($m_{ост}$) снизилась с 18,95 до 6,85 кг, то есть в 2,77 раза, а интенсивность выделения зерна (W_b) увеличилась на 4,2% при росте n с 36,0 до 37,0 об/мин (рис. 1).

Взаимосвязь $W_b = f(n)$ при $\alpha = 1^\circ$ подчиняется общей закономерности, которая, как и для других режимов работы триера, заключается в интенсивном росте W_b в начале диапазона n и последующей ее

стабилизации по мере роста n . Стабилизация W_b объясняется уравниванием потенциального роста производительности с увеличением скоростного режима и отрицательного влияния на нее ухудшающихся условий западания зерновок в ячейки (рис. 2, 3).

Интенсивность выделения зерна (W_b) при $\alpha = 1^\circ$ и подаче $W_n = 2490$ кг/ч с приращением скоростного режима работы на 0,5 об/мин сначала возрастает на 4,1% в диапазоне $n = 37,0...39,0$ об/мин, а затем стабилизируется (рис. 3).

Скоростной режим работы триера на подаче $W_n = 2490$ кг/ч следует ограничивать диапазоном $n = 37,0...38,0$ об/мин, когда технологические потери (Π) сохраняются на допустимом уровне – 2,05...1,60%. При $n = 37,0$ об/мин величина $\Pi = 5,45\%$ больше допустимого значения. При $n = 39,0$ об/мин длина свободного участка ячеистой поверхности – $l_{св} = 0,3$ м, что создает риски повышения остаточной засоренности зерна (3_o).

Таблица

Диапазоны и интервалы варьирования исследуемых факторов

Table

Ranges and intervals of variation of the factors under study

Фактор <i>Factor</i>	Диапазон варьирования <i>Range of variation</i>	Интервал варьирования <i>Variation interval</i>
Подача зерносмеси, W , т/ч / Feeding of grain mixture, t/h	1,84...4,42	0,5
Исходная засоренность зерносмеси, 3 / Initial contamination, %	0	–
Угол наклона цилиндра, β , град. / Cylinder inclination angle, β , degrees	1	–
Частота вращения ячеистого цилиндра, n , об/мин / Speed of the indented cylinder, n , rpm	36...43	0,5
Угол подъема рабочей кромки лотка, γ , град. / Inclination angle of the tray's working edge, γ , degrees	55	–

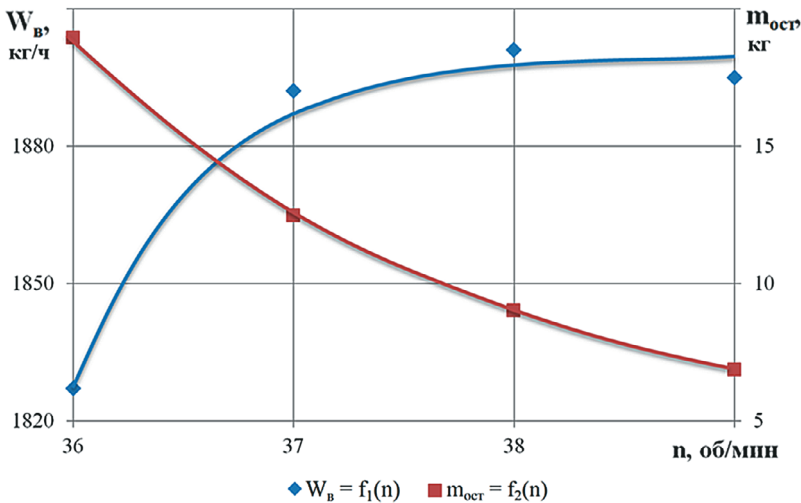


Рис. 1. Интенсивность выделения (W_b) и остаточная масса зерна ($m_{ост}$) при подаче 1840 кг/ч и наклоне цилиндра 1°

Fig. 1. Relationship between the intensity of separation and the residual mass of grain with the speed mode at a feed rate of 1840 kg/h and a cylinder tilt of 1°

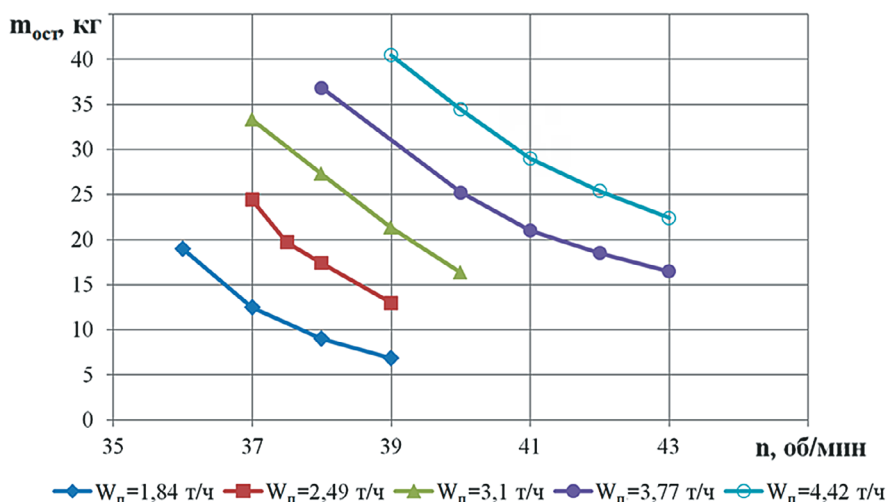


Рис. 2. Зависимость остаточной массы зерна в цилиндре от режимов работы триера при наклоне цилиндра 1°

Fig. 2. Relationship between the residual grain mass in the cylinder and operating modes at a cylinder tilt of 1°

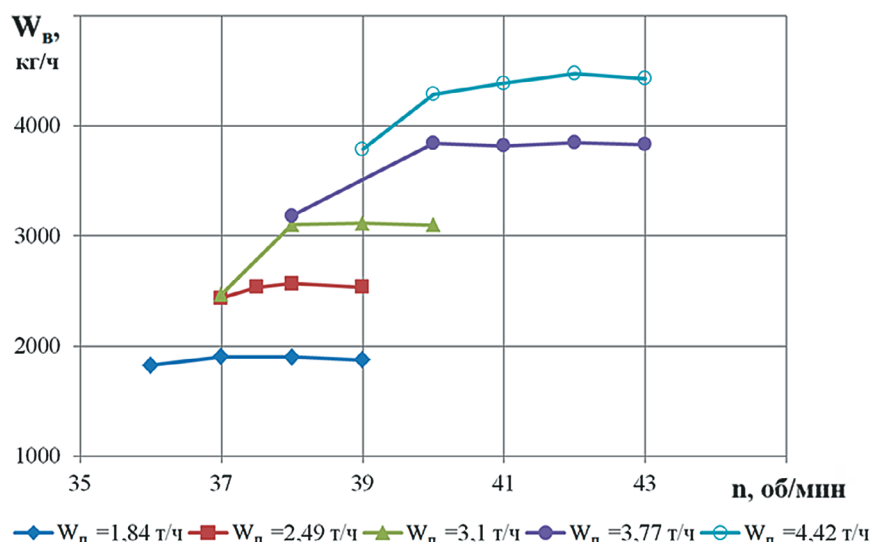


Рис. 3. Интенсивность выделения чистого зерна при разных режимах работы и наклоне цилиндра 1°

Fig. 3. Relationship between the intensity of clean grain separation and operating modes at a cylinder tilt of 1°

Сравнение интенсивности выделения чистого зерна (W_B), полученной при подачах 2490 и 1840 кг/ч ($\alpha = 1^\circ$), показывает, что при большей подаче величина W_B на 28,0...35,3% выше, чем при меньшей. Соотношение подач (2490/1840) составляет 1,353 (их разница достигает тех же 35,3%), что является причиной противоречивых толкований реально-го технологического процесса в триерах.

Сомнений нет: производительность триера с меньшей подачей зерна в него не может быть выше, чем с большей, если не принимать во внимание экстремальные условия протекания процесса. Однако считаем, что при $W_{n1} > W_{n2}$ угол охвата ($\gamma_{охв}$) сегмента выше, следовательно, число ячеек, использованных для выделения зерновок за один оборот цилиндра, также выше, поэтому и $W_{B1} > W_{B2}$. Однако в непрерывном технологическом процессе число задействованных в работе ячеек, приходящихся на один

оборот ячеистого цилиндра, не зависит от $\gamma_{охв}$ циркулирующего сегмента. И если отсутствуют причины, определяющие различия условий западания зерновок в ячей в сравниваемых вариантах, то независимо от $\gamma_{охв}$ i -тые участки сегмента единичной длины обеспечивают непрерывный вклад в интенсивность выделения зерна – W_{B1} . Кроме того, больший $\gamma_{охв}$ приходится (совпадает) на большее число циркулирующих слоев зерносмеси в сегменте элементарной длины, что усиливает эффект динамического «выедания» зерновок из ячеек. Поэтому в реальном процессе интенсивность выделения зерна W_B и коэффициент заполнения ячеек зерновками K_3 (расчетное значение числа зерновок, захваченных одной ячейкой) от начала ячеистого цилиндра (места загрузки) непрерывно возрастают до некоторого $W_{B \max}$ и $K_{3 \max}$ при уменьшении числа циркулирующих слоев зерносмеси до 4...5 шт. и $\gamma_{охв \text{ opt}}$.

Из изложенного следует, что при допустимых технологических потерях в варианте большей загрузки триера из сравниваемых вариантов и существенной разницы между ними ($W_{п1} \gg W_{п2}$) реализация процесса с подачей $W_{п2}$ будет сопровождаться появлением свободного участка ячеистой поверхности ($l_{св2}$). Иными словами, реализация процесса с большей подачей обеспечивается увеличением длины задействованной ячеистой поверхности, где коэффициент заполнения ячеек зерновками основной культуры непрерывно возрастает: $K_3 \rightarrow K_{3\max}$. Затем $W_{в}$ убывает по параболическому закону с одинаковым темпом независимо от $W_{п}$ при прочих равных условиях. Это подтверждается экспериментальными результатами. При подаче $W_{п1} = 2490$ кг/ч в диапазоне $n = 37,0 \dots 39,0$ об/мин величина интенсивности выделения зерна составила $W_{в1} = 2435 \dots 2536$ кг/ч, а в сравниваемом варианте при $W_{п2} = 1840$ кг/ч и идентичных скоростных режимах работы $W_{в2} = 1874 \dots 1903$ кг/ч. При этом выполняются ожидаемые соотношения исходных условий и результатов опытов:

$$W_{п1} / W_{п2} \approx W_{в1} / W_{в2}. \quad (1)$$

При загрузке $W_{п} = 3100$ кг/ч характер изменения интенсивности выделения зерна аналогичен предыдущим, полученным при меньших величинах загрузки триера (рис. 3). В начале диапазона скоростных режимов работы ($37,0 < n < 38,0$ об/мин) интенсивность выделения чистого зерна ($W_{в}$) резко возрастает, а при последующем увеличении n стабилизируется. Рост $W_{в}$ при $n = 37,0 \dots 38,0$ об/мин составляет 26%, а изменение показателя интенсивности выделения зерна с последующим увеличением n не превышает 0,5%. Величина остаточной массы зерна в ячеистом цилиндре с ростом скоростного режима работы в диапазоне $n = 37,0 \dots 40,0$ об/мин снижается от 33,32 до 16,36 кг, то есть в 2,04 раза.

Следует отметить, что соизмеримая кратность понижения остаточной массы зерна в ячеистом цилиндре при сопоставимых скоростных режимах работы триера наблюдается и при меньших загрузках триера (1840 и 2490 кг/ч). Скоростной режим работы триера при подаче $W_{п} = 3100$ кг/ч с допустимыми технологическими потерями ($\Pi = 3,2 \dots 1,54\%$) составляет $n = 38,0 \dots 39,0$ об/мин. С уменьшением n до 37,0 об/мин технологические потери в 4,6 раза превышают допустимые значения ($\Pi = 23,04\%$). Повышение n до 40,0 об/мин недопустимо ввиду появления свободного участка ячеистой поверхности длиной 0,3 м, который создает риски роста остаточной засоренности очищенного зерна 3_0 .

Взаимосвязь интенсивности выделения зерна со скоростным режимом работы триера при загрузке

$W_{п} = 3770$ кг/ч (75,4% от номинальной) отражает общие закономерности, характерные и для других вариантов загрузки триера: на начальном участке скоростного диапазона показатель $W_{в}$ резко возрастает, а затем стабилизируется с незначительной вариацией $W_{в}$. В анализируемой серии опытов приращение $W_{в}$ в диапазоне $n = 38,0 \dots 40,0$ об/мин составляет 20,6%, а вариация $W_{в}$ в последующем интервале скоростного диапазона не превышает 0,7% (рис. 3). Взаимосвязь $m_{ост} = f(n)$ при $W_{п} = 3770$ кг/ч и $\alpha = 1^\circ$ в сравнении с меньшими $W_{п}$ является подобной, она близка к линейной. Прирост остаточной массы зерна в ячеистом цилиндре с увеличением загрузки триера является опережающим. Сопоставление показателя $m_{ост}$ при равных n показывает, что с увеличением загрузки в 2 раза остаточная масса зерна увеличилась в 4 раза. На подаче $W_{п} = 3770$ кг/ч допустимый скоростной режим по показателю технологических потерь ($\Pi = 1,35 \dots 0,99\%$) составляет $n = 40,0 \dots 41,0$ об/мин. При $n = 38,0$ об/мин величина $\Pi = 17,9\%$ (в 3,6 раза больше допустимой), а с увеличением n до 42,0 об/мин величина $l_{св} = 0,2$ м.

При подаче $W_{п} = 4420$ кг/ч и $\alpha = 1^\circ$ диапазон рабочих скоростей – $n = 40,0 \dots 41,0$ об/мин ($\Pi = 2,38 \dots 1,33\%$), а характер протекания процесса идентичен в сравнении с меньшими подачами. Снижение n до 39,0 об/мин повышает технологические потери до 15,8%, а с повышением n до 42,0 об/мин приводит к появлению свободного участка ячеистой поверхности длиной 0,1 м.

Особенность взаимосвязи $W_{в} = f(n)$ при подаче $W_{п} = 4420$ кг/ч заключается в том, что она не содержит традиционного для меньших режимов загрузки триера участка стабилизации процесса с увеличением n . В начале исследуемого диапазона скоростей (до 40,0 об/мин) интенсивность выделения зерна возрастает на 13,2%, а в последующем интервале $n = 40,0 \dots 43,0$ об/мин показатель $W_{в}$ возрастает на 4,4%. Это в несколько раз больше, чем на аналогичных участках взаимосвязи $W_{в} = f(n)$ при меньших величинах подачи (рис. 3). Характер взаимосвязи $m_{ост} = f(n)$ так же, как и при меньших загрузках триера, близок к линейному.

Взаимосвязь результативных показателей работы триера с величиной его загрузки представляет существенный интерес для управления технологическим процессом и повышения его эффективности. Однако обеспечить сопоставимость оценок этих взаимосвязей сложно, так как с ростом величины $W_{п}$ диапазоны скоростных режимов работы сдвигаются в сторону увеличения по условиям обеспечения показателей качества работы. Вместе с тем локальные обобщения взаимосвязей, необходимых для управления технологическим процессом в производстве, возможны.

На рисунке 4 представлены обобщенные взаимосвязи $W_b(m_{ост}) = f_{1(2)}(W_n)$ для $\alpha = 1^\circ$; $\gamma_n = 55^\circ$; $n = 39$ об/мин. С ростом загрузки W_n увеличивается $m_{ост}$ опережающим темпом. Существенная доля прироста $m_{ост}$ обусловлена недостаточным скоростным режимом работы триера относительно величины подачи.

Взаимосвязь $W_b = f_1(W_n)$ представляет собой убывающую кривую, так как с ростом величины подачи возрастают случайные технологические потери и в большей степени проявляется эффект динамического «выедания» зерновок из ячеек на начальном участке ячеистой поверхности.

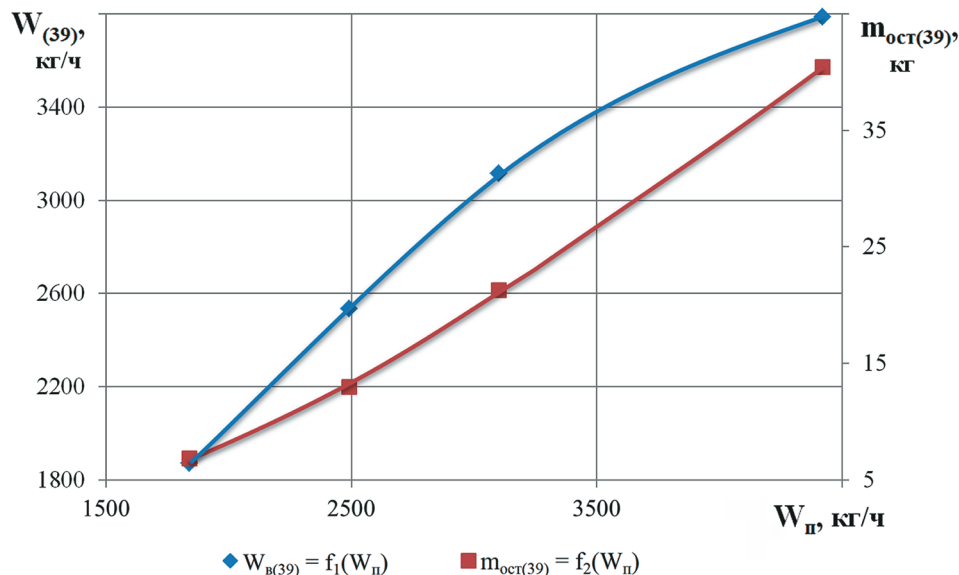


Рис. 4. Взаимосвязь остаточной массы $m_{ост}$ и интенсивности выделения чистого зерна W_b с подачей W_n
Fig. 4. Relationship between residual mass $m_{ост}$ and intensity of clean grain release W_b with feed W_n

Выводы

1. Интенсивность выделения зерна (W_b) триером при различной загрузке имеет ограниченные качественными показателями диапазоны скоростных режимов работы: $W_n = 1,84$ т/ч $\rightarrow n = 36,2 \dots 36,5$ об/мин; $W_n = 2,49$ т/ч $\rightarrow n = 38,0 \dots 39,0$ об/мин; $W_n = 3,1$ т/ч $\rightarrow n = 38,0 \dots 39,0$ об/мин; $W_n = 3,77$ т/ч $\rightarrow n = 40,0 \dots 41,0$ об/мин; $W_n = 4,42$ т/ч $\rightarrow n = 40,0 \dots 41,5$ об/мин.

2. Характер взаимосвязи $W_b = f(n)$ не зависит от степени загрузки триера: в начале

диапазона n величина W_b резко возрастает, а с последующим ростом n стабилизируется с вариацией в 0,5...0,7%.

3. Остаточная масса зерна в триере с ростом n снижается по закону, близкому к линейному, ее величина пропорциональна загрузке.

4. Наклон ячеистого цилиндра под углом 1° к горизонту активирует осевое смещение циркулирующих слоев зерна, компенсирует их сплошность на конечном участке, что повышает качество очистки зерна.

Список источников

1. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Динамика процесса триерного разделения зерносмеси на различных режимах работы // Наука в центральной России. 2024. № 3 (69). С. 16-28. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-16-28>
2. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Альшинайин Х.Д.Д. Динамика выделения колотых зерновок ячменя из зерносмеси // Наука в Центральной России. 2021. № 1 (49). С. 29-36. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-1-29-36>
3. Бурков А.И., Одинцов Д.В. Оптимизация частоты вращения триерных цилиндров с полимерной ячеистой поверхностью // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 4. С. 49-51. EDN: KAWKKH
4. Бекаров А.Д., Габаев А.Х. Оптимизация частоты вращения цилиндрического триера для условий Кабардино-Балкарской Республики // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (99). С. 106-110. EDN: BYVPUU

References

1. Tishannov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Dynamics of the process of trier separation of the grain mixture at different operating modes. *Science in Central Russia*. 2024;3(69):16-28. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-16-28>
2. Tishannov N.P., Anashkin A.V., Tishannov K.N., Alshinayin H.J.J. Dynamics of separation of barley grains from the grain mixture. *Science in the Central Russia*. 2021;1(49):29-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-1-29-36>
3. Burkov A.I., Odintsov D.V. Optimization of the speed of indented cylinders with a polymer cellular surface. *Tekhnika v selskom khozyaystve*. 2008;4:49-51. (In Russ.)
4. Bekarov A.D., Gabaev A.Kh. Optimization of the rotation frequency of the cylindrical trier for the conditions of the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;1(99):106-110. (In Russ.)

5. Абидуев А.А., Раднаев Д.Н., Тогмидон А.Ю., Шагжиев А.Д., Абидуев А.А. Очистка семенного зерна ячменя в условиях Республики Бурятия // Вестник ВСГУТУ. 2023. № 1 (88). С. 46-52. EDN: AFVYLQ

6. Медведев А.В. Автоматизация управления зерноочистительными машинами // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2024. С. 240-245. EDN: DUGONH

7. Мироненко Д.Н. Исследования работы фрикционного триерного цилиндра // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2009. № 2 (21). С. 45-49. EDN: LEVOWH

8. Абидуев А.А., Пехутов А.С., Балданов М.Б., Тогмидон, А.Ю. Очистка семян ячменя от трудноотделимых примесей // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16, № 3. С. 74-80. EDN: RVKSDJ

9. Meng X., Jia F., Qiu H. et al. DEM study of white rice separation in an indented cylinder separator. Powder Technology. 2019;348:1-12 <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.03.013>

10. Kim M.H., Park S.J. Analysis of broken rice separation efficiency of a laboratory indented cylinder separator. Journal of Biosystems Engineering. 2013;38(2):5-102. <http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2013.38.2.095>

11. Запевалов М.В., Коваленко Н.В., Редреев Г.В. Технология очистки семян зерновых культур от длинных примесей // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (48). С. 200-206. https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_4_200

12. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Емельянович С.В. Оценка чувствительности процесса триерной очистки зерна к режимам работы // Наука в Центральной России. 2024. № 1 (67). С. 23-31. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-1-23-31>

5. Abiduev A.A., Radnaev D.N., Togmidon A.Yu., Shagzhiev A.D., Abiduev A.A. Barley seed grain cleaning under conditions Republic of Buryatia. *ESSUTM Bulletin*. 2023;1(88):46-52. (In Russ.)

6. Medvedev A.V. Automation of grain cleaning machine control. *Tendentsii razvitiya tekhnicheskikh sredstv i tekhnologii v APK*. Proceedings of the International scientific and practical conference. Voronezh. 2024. P. 240-245. (In Russ.)

7. Mironenko D.N. Research on the functioning of an indented cylinder separator. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2009;2(21):45-49. (In Russ.)

8. Abiduev A.A., Pekhutov A.S., Baldanov M.B. Barley seeds cleaning from hard-separable impurities. *Dalnevostochniy agrarniy vestnik*. 2022;3:74-80. (In Russ.)

9. Meng X., Jia F., Qiu H. et al. DEM study of white rice separation in an indented cylinder separator. Powder Technology. 2019;348:1-12 <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.03.013>

10. Kim M.H., Park S.J. Analysis of broken rice separation efficiency of a laboratory indented cylinder separator. Journal of Biosystems Engineering. 2013;38(2):5-102. <http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2013.38.2.095>

11. Zapevalov M.V., Kovalenko N.V., Redreev G.V. Technology for cleaning grain seeds from long impurities. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;4(48):200-206. (In Russ.) https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_4_200

12. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Emelyanovich S.V. Assessment of the sensitivity of the trier grain cleaning process to operating modes. *Science in Central Russia*. 2024;1(67):23-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-1-23-31>

Информация об авторах

¹ Тишанинов Николай Петрович, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве; vniitinlab5@mail.ru; SPIN-код: 6821-8589

² Анашкин Александр Витальевич, д-р техн. наук, заведующий лабораторией управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве; av-anashkin@mail.ru; SPIN-код: 4928-6784

³ Емельянович Сергей Владимирович, младший научный сотрудник лаборатории управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве; seruvarovo@yandex.ru; SPIN-код: 9275-0720

^{1,2,3} Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве; 392022, Россия, г. Тамбов, Переулок Ново-рубужный, 28

Вклад авторов

Н.П. Тишанинов – концептуализация, руководство исследованиями, разработка экспериментального оборудования, верификация данных, формулирование выводов;
А.В. Анашкин – методология, руководство проведением экспериментальных исследований, визуализация, формальный анализ, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
С.В. Емельянович – ресурсы, проведение исследований, формальный анализ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 11.04.2025, после рецензирования и доработки 11.09.2025; принята к публикации 12.09.2025

Author Information

Nikolay P. Tishaninov¹, DSc (Eng), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Quality Management of Technological Processes in Agriculture; vniitinlab5@mail.ru

Aleksandr V. Anashkin², DSc (Eng), Head of the Laboratory of Quality Management of Technological Processes in Agriculture; av-anashkin@mail.ru

Sergey V. Emelyanovich³, Junior Research Engineer, Laboratory of Quality Management of Technological Processes in Agriculture; seruvarovo@yandex.ru

^{1,2,3} All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture; 28, Novo-Rubezhny Lane, Tambov, 392022, Russia

Author Contribution

N.P. Tishaninov – conceptualization, general research supervision, resources, critical analysis of the results and formulation of conclusions;
A.V. Anashkin – research methodology, investigation supervision, data curation, visualization, writing – review and editing of the manuscript;

S.V. Emelyanovich – literature review; resources; investigation; data curation and formal analysis.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism.

Received 11.04.2025; Revised 11.09.2025; Accepted 12.09.2025