Научная статья
УДК 631.354.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЗЕРНА В СМЕННЫЕ БУНКЕРЫ СОРГОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Алексей Иванович Ряднов, Сергей Викторович Тронев,
Ренат Вильевич Шарипов, Дмитрий Владимирович Смирнов
ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Волгоградская область, Волгоград, Россия

Аннотация. Описана работа разработанного соргоуборочного комбайна, в котором реализован инерционно-очесный способ обмолота метелочных культур на корню. Данный комбайн оборудован системой автоматической замены заполненного зерном бункера пустым сменным. Заполненный зерном сменный бункер заменяется пустым бункером без остановки комбайна и одновременно с этим спускается на поле для дальнейшей транспортировки роботизированным манипулятором на край поля для выгрузки зерна в транспортное средство или перегружатель зерна. Установка на соргоуборочный комбайн пустых сменных бункеров выполняется на поворотной полосе в конце гона. Подача зерна от молотильно-сепарирующего устройства комбайна в циклон на очистку от пыли и мелких примесей осуществляется вентилятором по трубопроводу всасыванием. Из циклона очищенный ворох зерна поступает в сменный бункер. В статье представлены также результаты оптимизации основных параметров пневматической системы транспортировки зерна зернового сорго: диаметра и высоты цилиндрической части циклона, внутреннего диаметра трубопровода, по которому осуществляется подача зерна в циклон, и подачи воздуха вентилятором. Оптимизация выбранных параметров осуществлялась по плану Рехтшафнера на основе полученных экспериментальных исследований. Критериями оптимизации приняты: качество очищенного вороха обмолоченного зерна и уровень его травмирования системой транспортировки. При решении компромиссной задачи определены оптимальные диапазоны значений диаметра циклона (350 - 360 мм), внутренний диаметр подводящего трубопровода (70 - 71 мм), подача воздуха вентилятором (6,0 - 6,2 м^3/ч) и высота цилиндрической части циклона (300 - 310 мм).

Ключевые слова: соргоуборочный комбайн, система транспортировки зерна, зерновое сорго, сменный зерновой бункер, оптимизация.

Для цитирования: Оптимизация параметров системы транспортировки зерна в сменные бункеры соргоуборочного комбайна / А.И. Ряднов, С.В. Тронев, Р.В. Шарипов, С.В. Смирнов // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 1 (101). С. 63-68.

Original article

OPTIMIZATION OF GRAIN TRANSPORTATION SYSTEM PARAMETERS INTO REPLACEABLE BUNKERS OF SORGUM HARVESTER

Alexey I. Ryadnov, Sergey V. Tronev, Renat V. Sharipov, Dmitry V. Smirnov
Volgograd State Agrarian University, Volgograd region, Volgograd, Russia

Abstract. The operation of the developed sorghum harvester, which implements an inertial-combing method for threshing standing panicle crops is described. This harvester is equipped with a system for automatically replacing a grain-filled bunker with an empty replaceable one. The replaceable bunker filled with grain is replaced with the empty bunker without stopping the harvester and at the same time is lowered onto the field for further transportation by a robotic manipulator to the edge of the field for unloading grain into a vehicle or grain loader. The empty replaceable bunkers are installed on the sorghum harvester on the turning lane at the end turn. The grain is fed from the threshing and separating device of the harvester into the cyclone for cleaning from dust and small impurities by a fan through a suction pipeline. From the cyclone, the cleaned heap of grain enters a replaceable bunker. The article also presents the results of optimization of the main parameters of the pneumatic system for transporting sorghum grain: the diameter and height of the cylindrical part of the cyclone, the internal diameter of the pipeline through which the grain is fed to the cyclone, and the air - by the fan. Optimization of the selected parameters was carried out according to Rechtshafner's plan based on the obtained experimental researches. The following optimization criteria were adopted: the quality of the cleaned heap of threshed grain and the level of its injuries caused by the transportation system. When solving a compromise problem, the optimal ranges of cyclone diameter values (350 - 360 mm), internal diameter of the feed pipeline (70 - 71 mm), fan air feed (6.0 - 6.2 m^3/h) and the height of the cylindrical part of the cyclone (300 - 310 mm).

Key words: sorghum harvester, grain transportation system, grain sorghum, replaceable grain bunker, optimization.

For citation: A.I. Ryadnov, S.V. Tronev, R.V. Sharipov, D.V. Smirnov. Optimization of grain transportation system parameters into replaceable bunkers of sorgum harvester. Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024; (1): 63-68. (In Russ.).

Введение. В настоящее время к качеству работы системы очистки и транспортировки зерна зерноуборочных комбайнов предъявляются достаточно высокие требования [1, 2]. Если степень очистки зерна зависит от конструктивных особенностей и режимов работы системы очистки комбайна, то дробление зерна зависит также от системы транспортировки зерна от системы очистки в зерновой бункер.

Для транспортировки зерна в современных зерноуборочных комбайнах используют, в основном, скребковые и винтовые транспортеры, подающие зерно, как под наклоном, так и вертикально. У таких транспортеров при увеличении угла наклона их установки существенно снижается их производительность [3],у винтовых транспортеров растет также и энергоемкость при увеличении частоты вращения шнека [4], а у скребковых - высокое травмирование зерна [5]. В связи с этим, следует совершенствовать систему транспортировки зерна, которая обеспечивает максимально возможную производительность и минимальное травмирование зерна [6, 7].

При уборке зерновых культур комбайнами с классической мололильно-сепарирующим устройством дробление зерна превышает агротехнические требования не только для семенного, но также и для продовольственного зерна (2 %). Более качественно (с точки зрения дробления зерна) обмолачивают зерновые культуры комбайны, оборудованные роторно-молотильными сепарирующими устройствами [8].

При транспортировке зерна и других сельскохозяйственных грузов нашли применение также пневматические транспортеры, которые по сравнению с винтовыми имеют ряд преимуществ: более высокую надежность при эксплуатации, малые габариты, изоляцию зерна от окружающей среды и другие.

В связи с этим, для успешного решения проблемы повышения качества обмолоченного зерна необходимо разрабатывать и внедрять в производство новые технологические схемы очистки и транспортировки обмолоченного зерна в бункер комбайна и использовать в конструкции вновь разрабатываемых комбайнов адаптированные к условиям работы системы очистки и транспортировки зерна, с оптимизированными геометрическими и кинематическими параметрами. При этом разрабатываемые системы должны обеспечивать требуемую производительность с допустимым уровнем травмирования зерна и осуществлять предварительную очистку зерна от легких примесей и пыли.

Материалы и методы. Анализ научных исследований показал, что применительно к разработанному в Волгоградском ГАУ соргоуборочному комбайну, осуществляемому обмолот, в частности, зернового сорго на корню молотильно-сепарирующим устройством инерционно-очесного типа с дальнейшим срезом растений сорго жаткой комбайна, измельчением их и разбрасыванием по полю [9], следует использовать для транспортировки зерна от молотильно-сепарирующего устройства в сменный бункер пневматическую систему. Необходимо отметить, что у экспериментального соргоуборочного комбайна нет системы очистки обмолоченного зерна. Предварительная очистка осуществляется молотильно-сепарирующим устройством.

В научной литературе представлены некоторые разработки пневматических систем. В частности, в работе [10] предложена конструктивная схема пневмотранспортера зерна для зерносушилки, теоретически рассчитан ряд конструктивных и режимных параметров, в том числе длина трубопровода и его внутренний диаметр, расход воздуха.

Нами применительно к соргоуборочному комбайну также разработана пневматическая система транспортировки зерна [11].

На основе разработок [9, 11] изготовлен экспериментальный соргоуборочный комбайн с системой транспортировки обмолоченного зерна в сменный бункер. Схема экспериментального соргоуборочного комбайна представлена на рисунке 1.

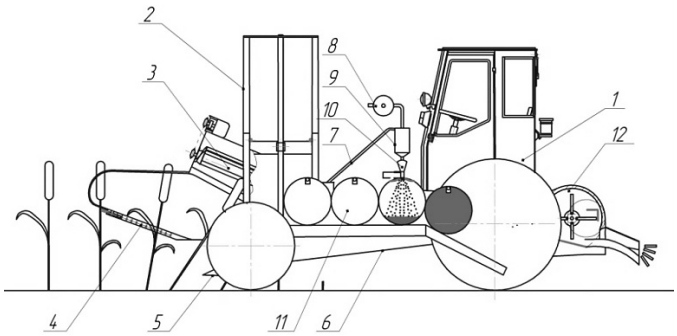

Рисунок 1 – Схема навесного соргоуборочного комбайна со сменными зерновыми бункерами и пневматической системой транспортировки зерна

Соргоуборочный комбайн работает следующим образом. Растения зернового сорго направляются нормолизатором 4 в прямоточную выносную молотильную камеру 3, в которой инерционно-очесным способом обмолачиваются метелки сорго и обмолоченное зерно предварительно очищается. Затем обмолоченные растения срезаются жаткой 5 и транспортером 6 подаются к измельчителю 12,

который измельчает их и разбрасывает по полю. Обмолоченное зерно вентилятором 8 всасывается по трубопроводу 7 в циклон 9, в котором оно дополнительно очищается от пыли и мелких примесей. Очищенное зерно, минуя компенсатор 10, поступает в сменный бункер 11. При заполнении зерном сменного бункера перекрывается поступление зерна в бункер системой автоматического перекрытия подачи зерна в сменный бункер 11. В этот момент автоматически закрывается входное отверстие сменного бункера, а обмолачиваемое зерно накапливается в компенсаторе 10. Заполненный зерном сменный бункер 11 сбрасывается на поле, а пустой сменный бункер подается под компенсатор 10. После этого открывается проход зерна в установленный сменный бункер. Замена сменных бункеров осуществляется без остановки комбайна. Заполненные сменные бункеры собираются с поля роботизированным подборщиком и отправляются на выгрузку зерна из них в транспортное средство или перегружатель зерна, которые располагаются на краю поля. Установка пустых сменных бункеров на соргоуборочный комбайн осуществляется в конце рабочего гона.

Для обеспечения высокого качества очистки обмолоченного зерна и низкого уровня его травмирования необходимо чтобы основные конструктивные параметры системы транспортировки зерна от молотильно-сепарирующего устройства в сменный бункер были оптимальными.

Результаты и их обсуждение. Исследованиями экспериментального соргоуборочного комбайна на уборке зернового сорго сорта «Премьера» на опытном поле УМПЦ «Горная Поляна» Волгоградского ГАУ выявлено, что наибольшее влияние на качество очищенного вороха обмолоченного зерна (Y_1, %) и уровень его травмирования (Y_2, %,) системой транспортировки обмолоченного зерна в сменный бункер, выбранные нами за критерии оптимизации, оказывают: диаметр и высота цилиндрической части циклона 9, внутренний диаметр подводящего трубопровода 7, подача воздуха вентилятором 8.

Следует отметить, что дробления зерна сорго не зафиксировано. В связи с этим, травмирование зерна оценивалось его макро-и микротравмированием.

Для выбранных оптимизируемых параметров назначены уровни и интервалы их варьирования (табл. 1).

Таблица 1 - Оптимизируемые параметры системы транспортировки зерна в сменные бункеры соргоуборочного комбайна, их уровни и интервалы варьирования

Оптимизируемые параметры	Уровни параметров			Интервал варьирования, ε
	0	–1	+1	
x_1 – диаметр циклона, мм	350	250	450	100
x_2 – внутренний диаметр подводящего трубопровода, мм	70	60	80	10
x_3 – подача воздуха вентилятором, м^3/ч	6	4	8	5
x_4 – высота цилиндрической части циклона, мм	300	200	400	100

Определение области оптимума выполнялось по плану Рехтшафнера для 4-х факторного эксперимента по программе, предложенной авторами работы [12], которая позволила рассчитать коэффициенты B_0, B_i, B_{ij} и B_{ii} уравнения регрессии:

$$y = B_0 + \sum B_i x_i + \sum B_{ij} x_i x_j + \sum B_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

После оценки значимости коэффициентов уравнения (1) с использованием критерия Стьюдента [13], удаления незначимых коэффициентов и перерасчета коэффициентов, получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$Y_1 = 91{,}1 + 5{,}0x_1 + 4{,}2x_2 + 5{,}8x_3 + 3{,}3x_3 + 1{,}3x_1x_2 + 1{,}6x_1x_3 + 0{,}8x_1x_4 + 1{,}3x_2x_3 + 0{,}9x_2x_4 + +1{,}6x_3x_4 - 4{,}8x_1^2 - 3{,}7x_2^2 - 5{,}1x_3^2 - 3{,}7x_4^2, \quad (2)$$

$$Y_2 = 4{,}72 + 0{,}64x_1 + 0{,}16x_2 + 1{,}2x_3 + 0{,}88x_3 - 0{,}63x_1x_2 - 0{,}32x_1x_3 - 0{,}26x_1x_4 - 0{,}18x_2x_3 - 0{,}27x_2x_4 - 0{,}23x_3x_4 - 0{,}92x_1^2 - 0{,}64x_2^2 - 1{,}05x_3^2 - 0{,}79x_4^2. \quad (3)$$

Полученная математическая модель (2) проверялась на адекватность с использованием критерия Фишера [13]:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2(y)}, \quad (4)$$

где $S^2(y) = \sum_1^N \sum_1^n \left(y_{iq} - \bar{y}_i\right)^2 / N(n-1)$ – дисперсия ошибки опыта; $S_{ад}^2 = n\sum_1^n (y_I - \bar{y}_i)^2 / (N - [k-1])$ – дисперсия неадекватности модели, здесь: y_I – случайная величина; y_i – среднеарифметическое значение случайной величины; y_{iq} – значение i-ой величины в q-ом опыте; n – число повторностей опыта; N – число строк матрицы плана; k – число параметров.

Получено, что критерий Фишера при исследовании качества очищенного вороха обмолоченного зерна F_{Y1} = 1,1712 и травмирования зерна F_{Y2} = 1,3037. Во всех случаях $F_{0.05} > F$ (здесь

$F_{0.05}$=2,1646 – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5% [13]). Таким образом, математические модели адекватны результатам эксперимента.

По программе [12] определены оптимальные значения параметров (табл. 2).

Таблица 2 – Оптимальные значения параметров

Параметр оптимизации	Критерий оптимизации	
	качество очищенного вороха обмолоченного зерна Y_1	травмирование зерна Y_2
x_1	0,93 / 443	– 0,94 / 256
x_2	0,94 / 79,4	– 0,98 / 60,2
x_3	0,93 / 7,86	– 0,94 / 4,12
x_4	0,93 / 393	– 0,97 / 203

Примечание: в числителе – в кодированном виде, в знаменателе – в раскодированном виде.

Для анализа и систематизации полученные математические модели второго порядка привели к типовой канонической форме вида:

$$Y - Y_s = B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + ... + B_{kk}X_k^2 \quad (5)$$

где Y – значение критерия оптимизации; Y_s – значение критерия оптимизации в оптимальной точке; X_1, X_2, …, X_k – новые оси координат, повернутые относительно старых x_1, x_2, …, x_k; B_{11}, B_{22}, …, B_{kk} – коэффициенты регрессии в канонической форме.

В результате расчетов, проведенных на ЭВМ, получены коэффициенты регрессии в канонической форме B_{11}, B_{22}, B_{33}, B_{44} и значения критерия оптимизации в оптимальной точке Y_s.

Уравнения регрессии (2) и (3) в канонической форме имеют вид:

$$Y_1 - 99{,}6 = -5{,}0X_1^2 - 2{,}4X_2^2 - 5{,}8X_3^2 - 4{,}1X_4^2\,, \quad (6)$$

$$Y_2 - 3{,}35 = 1{,}18X_1^2 + 0{,}3X_2^2 + 1{,}06X_3^2 + 0{,}84X_4^2. \quad (7)$$

В связи с тем, что в уравнении (2) все коэффициенты при квадратных членах отрицательны, то поверхность откликов, описанное уравнением (2), представляет четырехмерный параболоид с координатами центра поверхности в оптимальных значениях параметров.

Так как все коэффициенты при квадратных членах в уравнении (3) имеют положительные знаки, то поверхность отклика, описанное этим уравнением, также представляет четырехмерный параболоид с координатами центра поверхности в оптимальных значениях факторов.

Оптимальные значения исследуемых параметров определены решением компромиссной задачи с использованием двумерных сечений, представленных на рисунке 2.

При этом решали компромиссную задачу, в которой требовалось найти значения параметров, дающих качество очищенного вороха зерна $Y_1 \geq 90$ % и травмирование зерна $Y_2 \leq 5$ %.

Были построены двумерные сечения поверхностей отклика по уравнениям регрессии для различных сочетаний пар оптимизируемых факторов. Пример одного такого двумерного сечения представлен на рисунке 2.

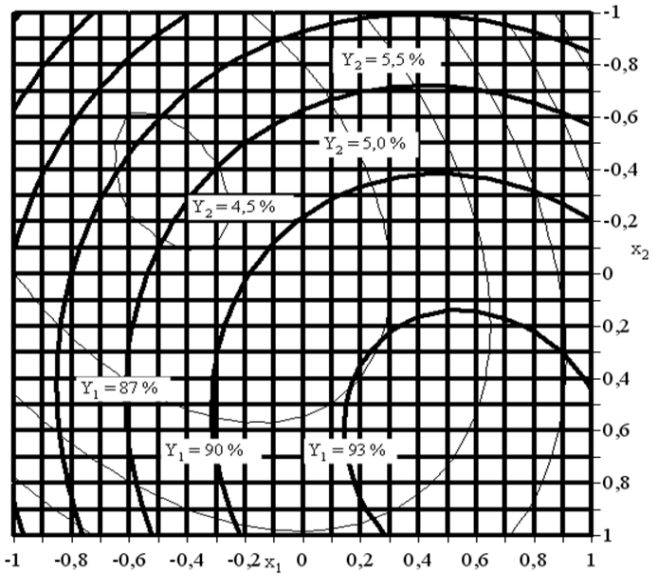

Рисунок 2 – Двумерное сечение для изучения влияния параметров x_1 и x_2 при $x_3 = 0$ и $x_4 = 0$ на качество очищенного зернаY_1 и повреждение зерна Y_2

При рассмотрении двумерных сечений поверхностей отклика по уравнениям регрессии относительно исследуемых параметров:

– x_1 и x_2, факторы x_3 и x_4 фиксировались на уровнях: $x_3 = 0$ и $x_4 = 0$ (рис. 2). В соответствии с рис. 2 можно рекомендовать следующий диапазон оптимальных значений параметров: $x_1 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$ и $x_2 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$;

– x_1 и x_3, факторы x_2 и x_4 фиксировались на уровнях: $x_2 = 0$ и $x_4 = 0$. Рекомендован следующий диапазон оптимальных значений параметров: $x_1 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$ и $x_3 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$;

– x_1 и x_4, факторы x_2 и x_3 фиксировались на уровнях: $x_2 = 0$ и $x_3 = 0$. Рекомендован следующий диапазон оптимальных значений параметров: $x_1 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$ и $x_4 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$;

– x_2 и x_3, факторы x_1 и x_4 фиксировались на уровнях: $x_1 = 0$ и $x_4 = 0$. Рекомендован следующий диапазон оптимальных значений параметров: $x_2 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$ и $x_3 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$;

– x_2 и x_4, факторы x_1 и x_3 фиксировались на уровнях: $x_1 = 0$и $x_3 = 0$. Рекомендован следующий диапазон оптимальных значений параметров: $x_2 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$ и $x_4 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$;

– x_3 и x_4, факторы x_1 и x_2 фиксировались на уровнях: $x_1 = 0$ и $x_2 = 0$. Рекомендован следующий диапазон оптимальных значений параметров: $x_3 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$ и $x_4 = -0{,}1 \ldots +0{,}1$.

Так как при построении двумерное сечение параметры фиксировались на уровнях: $x_1 = 0$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$ и $x_4 = 0$, то для обеспечения качества очищенного зерна $Y_1 \geq 90$ % необходимо иметь следующие оптимальные значения параметров: $x_1 = 0 \ldots 0{,}1$ (350…360 мм), $x_2 = 0 \ldots 0{,}1$ (70…71 мм), $x_3 = 0 \ldots 0{,}1$ (6,0…6,2 м^3/ч) и $x_4 = 0 \ldots 0{,}1$ (300…310 мм). При этом травмирование зерна составит $Y_2 \leq 5$ %.

Таким образом, проведена оптимизация выбранных параметров системы транспортировки зерна в сменные бункеры соргоуборочного комбайна.

Выводы. Оптимизация конструктивных параметров системы транспортировки зерна в сменные бункеры соргоуборочного комбайна осуществлялась по плану Рехтшафнера. По критериям оптимизации – качеству очищенного вороха обмолоченного зерна и уровню его травмирования определены оптимальные диапазоны значений диаметра циклона (350 - 360 мм), внутренний диаметр подводящего трубопровода (70 - 71 мм), подача воздуха вентилятором (6,0 - 6,2 м^3/ч) и высота цилиндрической части циклона (300 - 310 мм).

Список источников

1. Миренков В.В., Хиженок В.Ф. Анализ работы турбинного вентилятора очистки зерноуборочного комбайна и оптимизация качественной характеристики воздушного потока // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2012. № 4. С. 11-19.
2. Халилов З.Ш. Совершенствование системы очистки зерноуборочного комбайна при уборке зерновых на склонах // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022. № 6 (99). – Режим доступа: URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13989 (дата обращения: 06.01.2024).
3. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. М.: Машиностроение, 1972. 184 с.
4. Нестеров С.А. Повышение эффективности вертикального пневмовинтового конвейера для зерна обоснованием конструктивно-технологических параметров: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства. Волгоград, 2010. 21 с.
5. Московский М.Н., Адамян Г.А., Тихонов К.М. Оценка влияния шнековых рабочих органов транспортирующих устройств на показатели качества семенных материалов // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2015. № 4. – Режим доступа: URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_75_Moskovskiy_Adamyan.pdf_d62ffb37d7.pdf (дата обращения: 06.01.2024).
6. Пути снижения травмирования зернового материала ковшовыми элеваторами в зерноочистительных агрегатах типа ЗАВ / В.И. Пахомов, А.А. Бойко, Д.С. Подлесный и др. // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса «ДГТУ-ПРИНТ». Ростов н/Д, 2020. С. 554-558.
7. Купреенко А.И., Комогорцев В.Ф. Анализ рабочего процесса шнекового транспортёра-распределителя // 21 век: фундаментальная наука и технологии: материалы XVI междунар. науч.-практ. конф., 25–26 июня 2018 г. North Charleston, USA. С. 80–81.
8. Маслов Г.Г., Ткаченко В.Т. Проблемы повышения качества механизированных работ // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. 2015. № 107. С. 318-332.
9. Комбайн для уборки зернового сорго: пат. 2749458 Рос. Федерация / Ряднов А.И., Федорова О.А., Павловский Д.С., Смирнов Д.В. - №2020137020; заявл. 10.11.2020; опубл. 11.06.2021, Бюл. №17. 3 с.
10. Панова Т.В., Панов М.В. Определение конструктивно-режимных параметров пневмотранспортёра для зерносушилки // Известия Оренбургского ГАУ. 2021. № 2 (88). С. 106-109.
11. Ряднов А.И. Обоснование конструктивно-технологической схемы пневмотранспортера зерна соргоуборочного комбайна // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2014. № 3 (35). С. 200-205.
12. Дегтярев Ю.П., Филатов А.И. Регрессионный анализ на ПЭВМ // Повышение надежности и эффективности использования сельскохозяйственной техники: сб. науч. тр. Волгоградского СХИ. Волгоград, 1992. С. 128-131.
13. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: «Наука», 1971. 192 с.

Информация об авторах:

А.И. Ряднов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, заслуженный работник высшей школы РФ, alex.rjadnov@mail.ru.

С.В. Тронев – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, stronev@mail.ru.

Р.В. Шарипов – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, renat_sharipov@mail.ru.

Д.В. Смирнов – аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, mitai.de@outlook.com.

Information about the authors:

A.I. Ryadnov – Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd state agrarian University, honored worker of the higher school of the Russian Federation, doctor of agricultural Sciences, Professor, alex.rjadnov@mail.ru.

S.V. Tronev – Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd state agrarian University, Doctor of Technical Sciences, associate Professor, stronev@mail.ru.

R.V. Sharipov – Associate Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd state agrarian University, Candidate of Technical Sciences, associate Professor, renat_sharipov@mail.ru.

D.V. Smirnov – postgraduate student of the Department "Operation and Technical Service of machines in the Agro–industrial Complex" Volgograd State Agrarian University, mitai.de@outlook.com.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 09.01.2024; одобрена после рецензирования 26.01.2024, принята к публикации 31.01.2024.

The article was submitted 09.01.2024; approved after rewiewing 26.01.2024; accepted for publication 31.01.2024.

© Ряднов А.И., Тронев С.В., Шарипов Р.В., Смирнов Д.В.