Вестник РГАТУ, 2026, т.18, №2, с. 87-93
Vestnik RGATU, 2026, Vol.18, №2, pp 87-93

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.171
DOI: 10.36508/RSATU.2026.88.44.011

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАГРУЗКИ РОТОРА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ СОЛОМЫ

Илья Юрьевич Богданчиков [1]✉, Анна Владимировна Юдина [2], Михаил Анатольевич Есенин [2]

[1] ФГАОУ ВО Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия
[2] ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

✉ *ibogdanchikov@hse.ru*

Аннотация.
Проблема и цель. *Существующие технологии утилизации незерновой части урожая (НЧУ) сталкиваются с проблемой неравномерной подачи растительной массы в измельчающий аппарат, что ограничивает ширину разбрасывания и производительность агрегата. Цель работы – оценить эффективность пассивного разравнивающего устройства через количественную связь коэффициента неравномерности загрузки ротора измельчителя ($K_н$) с интегральными показателями производительности МТА.*
Методология. *Исследования проведены в 2024-2025 гг. на базе УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ. Использован агрегат МТЗ-82 с измельчителем Kverneland FX 230. Разработана математическая модель, устанавливающая влияние Кн на рабочую ширину захвата, скорость движения и коэффициент использования времени смены. Экспериментальная верификация включала лотковый отбор проб, ГЛОНАСС-мониторинг и статистический анализ (Python 3.9).*
Результаты. *Без воздействия разравнивающего устройства (разравниватель) $K_н$ составляет 1,8-2,2, что соответствует концентрации 60-65 % массы в центральной зоне ротора измельчителя. Применение пассивного разравнивателя (угол 120°) снизило Кн до 0,5-0,8 и увеличило ширину разбрасывания на 15-20 % (до 2,4 м). Экспериментально подтверждён рост производительности МТА на 8-18 % в зависимости от скоростного режима; интегральная оценка по разработанной модели показывает потенциальный эффект до 41 % за счёт комплексного влияния Кн на рабочую ширину, скорость и коэффициент использования времени смены.*
Заключение. *Пассивное выравнивание валка эффективно устраняет дисбаланс загрузки ротора и повышает производительность без значительных капитальных затрат. Для достижения ширины разбрасывания 6-7 м требуется разработка активной системы с адаптивной регулировкой параметров на основе обратной связи по $K_н$, методическую базу для которой формируют результаты данного исследования.*

Ключевые слова: *утилизация соломы, незерновая часть урожая, загрузка ротора, пассивный разравниватель, производительность, коэффициент неравномерности*

Для цитирования: *Богданчиков И.Ю., Юдина А.В., Есенин М.А. Влияние неравномерности загрузки ротора измельчителя на производительность машинно-тракторного агрегата при утилизации соломы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2026, Т.18, № 2, С. 87-93 https://doi.org/10.36508/RSATU.2026.88.44.011*

Original article

INFLUENCE OF ROTOR LOAD NON-UNIFORMITY OF THE CHOPPER ON THE PRODUCTIVITY OF A MACHINE-TRACTOR UNIT DURING STRAW UTILIZATION

Ilya Yu. Bogdanchikov [1]✉, Anna V. Yudina [2], Mikhail A. Yesenin [2]

[1] National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia
[2] Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

✉ *ibogdanchikov@hse.ru*

© Богданчиков И.Ю., Юдина А.В., Есенин М.А,, 2026 г.

Abstract.
Problem and purpose. *Existing technologies for utilizing the non-grain portion of the crop (NGC) face the problem of non-uniform feeding of plant mass into the chopping apparatus, which limits the spreading width and productivity of the unit. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of a passive leveling device through the quantitative relationship between the rotor load non-uniformity coefficient ($K_н$) of the chopper and the integral performance indicators of the machine-tractor unit (MTU).*
Methodology. *The research was conducted in 2024-2025 at the Research and Education Center "Agrotechnopark" of Ryazan State Agrotechnological University. An MTZ-82 tractor equipped with a Kverneland FX 230 chopper was used. A mathematical model was developed to establish the influence of $K_н$ on the operating working width, travel speed, and shift time utilization factor. Experimental verification included tray sampling, GLONASS monitoring, and statistical analysis (Python 3.9).*
Results. *Without the leveling device, the rotor loads non-uniformity coefficient ($K_н$) ranged from 1.8 to 2.2, corresponding to a concentration of 60-65% of the plant mass in the central zone of the chopper rotor. The application of a passive leveling device (120° angle) reduced $K_н$ to 0.5-0.8 and increased the spreading width by 15-20% (up to 2.4 m). Experimental data confirmed an 8-18% increase in MTU productivity depending on the travel speed mode; the integrated assessment based on the developed mathematical model indicates a potential effect of up to 41% due to the complex influence of $K_н$ on the operating working width, travel speed, and shift time utilization factor.*
Conclusion. *Passive swath leveling effectively eliminates rotor load imbalance and increases productivity without significant capital investment. To achieve a target spreading width of 6-7 m, the development of an active system with adaptive parameter control based on Kн feedback is required; the methodological foundation for such a system is provided by the results of this study*

Key words: *straw utilization, non-grain part of the crop, rotor loading, passive leveling device, productivity, machine-tractor unit, non-uniformity coefficient*

For citation: *Bogdanchikov I.Yu., Yudina A.V., Yesenin M.A. Influence of rotor load non-uniformity of the chopper on the productivity of a machine-tractor unit during straw utilization // Ryazan Agrotech University Bulletin. 2026, Vol.18, No. 2, P.87-93 https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2026.88.44.011*

Введение

В условиях реализации Стратегии развития АПК РФ до 2030 года повышение эффективности утилизации незерновой части урожая (НЧУ) приобретает особую значимость [1-5]. Анализ эксплуатации машинно-тракторных агрегатов (МТА) для измельчения и разбрасывания соломы в 2024-2025 гг. выявил системную проблему: даже при оптимальной настройке измельчителя наблюдается концентрация растительной массы в центральной зоне ротора (60-65 % эффективной загрузки), что обусловлено геометрическим несоответствием ширины валка (1,5-1,6 м) и рабочей ширины захвата ротора (2,3 м).

Проведённые ранее исследования [6, 7] основывались преимущественно на эмпирической оценке ширины разбрасывания в зависимости от скорости движения агрегата и геометрических параметров разравнивающего устройства. Однако количественная связь между коэффициентом неравномерности загрузки ротора ($K_н$) и интегральными показателями производительности МТА оставалась недостаточно изученной. Отсутствие математической модели, учитывающей комплексное влияние Кн на рабочую ширину захвата, скорость движения и коэффициент использования времени смены, затрудняет прогнозирование экономического эффекта от внедрения технических решений.

Цель работы – разработка и экспериментальная проверка математической модели производительности МТА, устанавливающей количественные зависимости между коэффициентом неравномерности загрузки ротора измельчителя и технико-экономическими показателями утилизации соломы при применении пассивного разравнивающего устройства.

Методика

Теоретическое обоснование математической модели

Теоретическое обоснование параметров разравнивающего устройства (разравнивателя) базируется на двух ключевых положениях.

Во-первых, геометрическая модель сохранения объёма растительной массы связывает исходные параметры валка (ширина $B_в$, высота $H_в$) с шириной разравненного потока $B_в$-р:

$$B_{в-р} = B_в \cdot \frac{H_В}{H_{в-р}} \cdot K_{тп}, \quad (1)$$

где $B_{в-р}$ – ширина валка после взаимодействия с разравнивателем, м;

$B_в$ – ширина валка, м;

$H_в$ -высота валка, м;

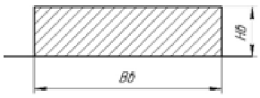
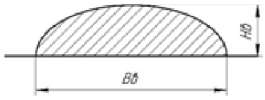
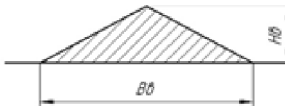
$H_{в-р}$ – высота валка после взаимодействия с разравнивателем, м;

$K_{тп}$ – коэффициент трансформации профиля валка, учитывающий изменение формы сечения при срезании вершины, $K_{тп} = \frac{K_{фв\ исх}}{K_{фв\ разрав}}$.

$K_{фв\ исх}$ – коэффициент формы валка исходного;

$K_{фв\ разрав}$ – коэффициент формы валка после разравнивания. Значение коэффициента для валка $B_в$=1,5 м, $H_в$=0,45 м и высотой среза разравнивателя $h_{срез}$=0,3 м представлены в таблице 1 [8].

Таблица 1 – Значения коэффициентов, учитывающие изменение формы сечения валка

Форма сечения валка	Формула площади	$K_{фв\ исх}$	$K_{фв\ разрав}$	$K_{тп}$
	$S = B_в \cdot H_в$	1,00	0,60	1,67
	$S = \frac{\pi \cdot B_в \cdot H_в}{4}$	0,785	0,634	1,24
	$S = \frac{B_в \cdot H_в}{2}$	0,50	0,748	0,67

Примечание: $B_в$ – ширина валка, м; $H_в$ – высота валка, м; $K_{фв\ исх}$ – коэффициент формы валка исходного; $K_{фв\ разрав}$ – коэффициент формы валка после разравнивания; $K_{тп}$ – коэффициент трансформации профиля валка, учитывающий изменение формы сечения при срезании вершины.

Во-вторых, анализ движения частиц соломы в наклонном воздушном потоке показывает, что ширина разбрасывания $B_{разбр}$ определяется начальной скоростью воздуха $V_{возд}$, углом установки дефлектора γ и шириной поступающего материала. В инженерном приближении эта зависимость может быть представлена в виде:

$$B_{разбр} = k \cdot V_{возд} \cdot \sqrt{\frac{B_{в-р}}{B_в} \cdot (1 - \mu \cdot \frac{\gamma}{90^\circ})}, \quad (2)$$

где $B_{разбр}$ – ширина разбрасывания измельчённой растительной массы, м;

k=0,42, μ=0,18 – эмпирические коэффициенты для агрегата МТЗ-82 + Kverneland FX 230.

Схематично процесс преобразования валка при взаимодействии с разравнивателем, ротором измельчителя и делителями потока измельчённой растительной массы представлен на рисунке 1.

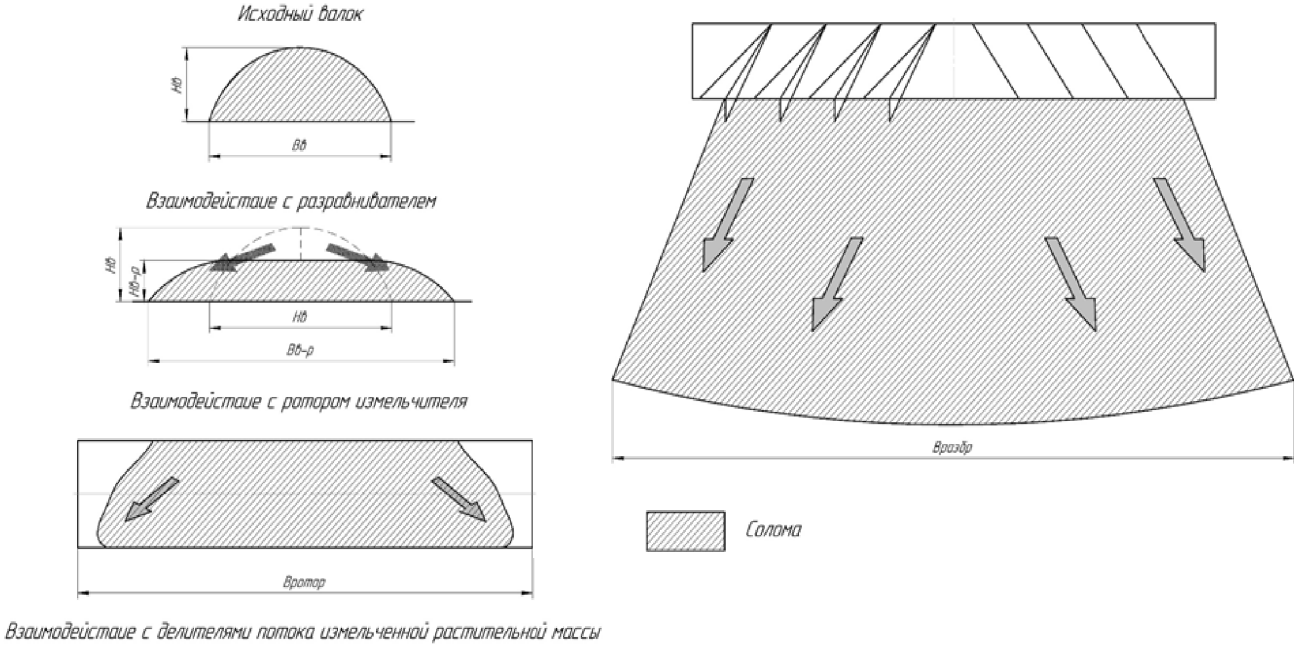


Рис. 1 – Схема процесса преобразования валка при взаимодействии с разравнивателем, ротором измельчителя и делителями потока измельчённой растительной массы
Fig. 1 – Diagram of the roller conversion process when interacting with the leveler, rotor of the grinder and dividers of the flow of crushed plant mass

В основе разработанной модели лежит гипотеза о том, что коэффициент неравномерности загрузки ротора $K_н$ влияет на производительность МТА через три независимых механизма.

1. Влияние на рабочую ширину захвата $B_р$

Неравномерная загрузка ротора (преимуще-

ственно в центральной зоне) приводит к недоиспользованию периферийных участков рабочей ширины. Эмпирическая зависимость имеет вид:

$$B_р = B_{ротор} \cdot (1 - 0{,}35 \cdot \frac{K_н}{1+K_н}), \quad (3)$$

где $B_{ротор}$ – ширина ротора измельчителя (для Kverneland FX 230 $B_{ротор}$ = 2,3 м);

0,35 – эмпирический коэффициент;

$K_н$ – коэффициент неравномерности загрузки ротора.

Функция $\frac{K_н}{1+K_н}$ выбрана исходя из следующих соображений:

При $K_н \to 0$ (идеальная равномерность) множитель стремится к 0;

При $K_н \to \infty$ (крайняя неравномерность) множитель стремится к 1;

При $K_н$ = 2,0 (типичное значение) Вр ≈ 1,77 м.

2. Влияние на рабочую скорость $V_р$.

Пульсации крутящего момента на роторе, вызванные неравномерной подачей массы, вынуждают оператора снижать скорость движения агрегата для предотвращения перегрузки двигателя и забивания измельчителя:

$$V_р = V_{max} \cdot (1 - 0{,}18 \cdot \frac{K_н}{(1+K_н)}), \quad (4)$$

где V_{max} – максимальная техническая скорость, км/ч; 0,18 – эмпирический коэффициент.

3. Влияние на коэффициент использования времени смены τ

Неравномерная загрузка увеличивает частоту простоев из-за забивания центральной зоны ротора и необходимости очистки:

$$\tau = \tau_0 \cdot (1 - 0{,}12 \cdot \frac{K_н - 0{,}15}{1{,}5}), \quad (5)$$

где τ_0 – базовый коэффициент использования времени смены;

0,12 – эмпирический коэффициент потерь времени.

Выражение (5) справедливо для диапазона $K_н$ = 0,15-2,2, исследованного в работе. Константа 0,15 представляет собой минимальное значение $K_н$, полученное в ходе экспериментов при оптимальной работе разравнивателя. Это значение обеспечивает физический смысл формулы: при $K_н$ = 0,15 коэффициент использования времени смены достигает базового значения τ_0, а при увеличении неравномерности τ закономерно снижается

Эмпирические коэффициенты (0,35; 0,18; 0,12) определены методом нелинейной регрессии по результатам 80 натурных измерений. Подбор параметров осуществлялся в среде Python 3.9 (библиотека SciPy, метод least_squares). Коэффициент детерминации интегральной модели (6) составил R^2 = 0,89 при RMSE = 0,14 га/ч, что подтверждает статистическую значимость зависимостей ($p < 0{,}01$ по критерию Фишера).

4. Интегральная формула производительности

Объединяя зависимости (3)-(5) с классической формулой сменной производительности, получаем:

$$W_{см} = 0{,}1 \cdot B_{ротор} \cdot (1 - 0{,}35 \cdot \frac{K_н}{1+K_н}) \cdot V_{max} \cdot (1 - 0{,}18 \cdot \frac{K_н}{1+K_н}) \cdot T_{см} \cdot \tau_0 \cdot \left(1 - 0{,}12 \cdot \frac{K_н - 0{,}15}{1{,}5}\right) \quad (6)$$

Экспериментальная методика

Объект исследования: МТА в составе трактора МТЗ-82 и навесного измельчителя-разбрасывателя Kverneland FX 230 с пассивным разравнивающим устройством. Устройство представляет собой конструкцию треугольного профиля (высота треугольника 300 мм, угол при вершине 120°), изготовленную из стального уголка 50×50×5 мм. Высота установки нижнего края (режущей кромки) устройства над поверхностью почвы составила 250 мм.

Условия проведения: исследования выполнены в 2025 г. на базе УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ на валках соломы яровой пшеницы (ширина 1,5-1,6 м, высота 0,45-0,50 м, плотность 5,2-5,5 кг/м³).

Измеряемые параметры:

1. Коэффициент неравномерности загрузки $K_н$ определялся по распределению потребляемой мощности ротора, откалиброванной по данным лоткового метода (8 приёмных лотков по ширине захвата, шаг 0,28 м). Линейная плотность q рассчитывалась как масса материала в лотке, отнесённая к длине пробега агрегата.

$$K_н = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{ср}}, \quad (7)$$

где q_{max}, q_{min}, $q_{ср}$ – соответственно максимальная, минимальная и средняя линейная плотность потока растительного материала по ширине ротора, кг/(м·с).

2. Ширина разбрасывания фиксировалась по изолинии плотности ≥50 г/м² с использованием сетки 1×1 м (6 рядов перпендикулярно движению, шаг 0,5 м).

3. Рабочая скорость регистрировалась ГЛОНАСС-трекером (частота 1 Гц, точность ±0,1 км/ч).

4. Испытания проводились при влажности соломы 14±2 % и скорости ветра не более 3 м/с. Влияние погодных факторов контролировалось переносной метеостанцией.

5. Коэффициент использования времени смены τ рассчитывался по данным хронометража:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{см}}, \quad (8)$$

где T_p – время чистой работы МТА, ч;

$T_{см}$ – продолжительность рабочей смены, ч.

Схема эксперимента. Исследования проводились в двух вариантах:

Вариант 1: без разравнивающего устройства ($K_н$ = 1,8-2,2);

Вариант 2: С пассивным разравнивающим устройством ($K_н$ = 0,5-0,8).

Для каждого варианта измерялись все параметры при скоростях 5, 6, 7 и 8 км/ч (n = 5 повторностей для каждой скорости).

Порядок испытаний рандомизирован с использованием генератора псевдослучайных чисел. Достоверность результатов подтверждена построением 95 % доверительных интервалов (распределение Стьюдента) для каждой из исследуемых скоростей. Несмотря на то, что число повторностей в каждом опыте составляло всего 5, общий объём выборки (80 точек при калибровке модели) и высокое значение $R^2 = 0{,}89$ ($p < 0{,}01$) обеспечивают достаточную статистическую значимость выводов.

Результаты и их обсуждение

Данные, сведённые в таблицу 2, демонстрируют, что оборудование агрегата пассивным разравнивателем приводит к стабильному росту ширины разбрасывания во всём диапазоне рабочих скоростей.

Таблица 2 – Влияние пассивного разравнивателя на ширину разбрасывания и коэффициент $K_н$ (валок яровой пшеницы)

Скорость, $V_р$, км/ч	$B_{разбр}$ без разравнивателя,м	$B_{разбр}$ С разравнивателем,М	Прирост, %	$K_н$ С разравнивателем	Примечание
5	1,55	1,83	+18,0	0,7	Валок 1500×450 мм
6	1,64	2,00	+21,9	0,6	Валок 1500×450 мм
7	1,82	2,15	+18,1	0,5	Валок 1500×450 мм
8	1,95	2,32	+19,0	0,5	Валок 1500×450 мм
5	1,70	1,89	+11,2	0,85	Валок 1600×500 мм
6	1,88	1,99	+5,9	0,8	Валок 1600×500 мм
7	1,96	2,20	+12,2	0,8	Валок 1600×500 мм
8	2,05	2,40	+17,1	0,8	Валок 1600×500 мм

Примечание: $B_{разбр}$ – ширина разбрасывания измельчённой растительной массы, м; $K_н$ – коэффициент неравномерности загрузки ротора

Конструкция пассивного разравнивателя накладывает ограничения: при фиксированной высоте его нижней кромки (250 мм) – обработке подвергается лишь верхняя часть валка. Нижний слой такой же высоты остаётся нетронутым. Вследствие этого для валков с $H_в > 0{,}45$ м эффективность устройства падает до 11-17 %. Необработанная нижняя часть сохраняет высокую плотность и обеспечивает локальную концентрацию массы в центре ротора. Пассивное устройство не обладает достаточной энергией для деформации такого плотного «ядра», что ограничивает максимальную ширину разравненного потока и подтверждает необходимость разработки активной системы с регулировкой высоты заглубления.

Анализ расчётных данных свидетельствует о положительной динамике производительности: прирост показателя составил 8-18 % в зависимости от выбранного скоростного режима (табл. 3). Пиковое значение эффективности (+18,0 %) зафиксировано при движении агрегата со скоростью 5 км/ч, что объясняется оптимальным преобразованием кинетической энергии потока в работу по боковому смещению растительной массы.

Таблица 3 – Сравнение производительности МТА, оборудованного разравнивающим устройством, и без него

Скорость, км/ч	$W_ч$ без разравнивателя, га/ч	$W_ч$ с разравнивателем, га/ч	Прирост W, %
5	3,29	3,88	+18,0
6	3,95	4,28	+8,4
7	4,84	5,25	+8,5
8	5,52	6,25	+13,2

Для наглядного сравнения эффективности на разных скоростях значения производительности в таблице 3 приведены в часовом измерении (га/ч), полученном из формулы (6) нормированием на единицу времени:

$$W_ч = \frac{W_{см}}{T_{см}} \text{ при } T_{см} = 1 \text{ ч.} \quad (9)$$

Для комплексной оценки эффективности применения пассивного разравнивателя результаты измерений ширины разбрасывания и расчетной производительности объединены на едином графике (рис. 2).

Анализ рисунка 2 показывает устойчивую положительную корреляцию: применение разравнивателя смещает кривые производительности вверх во всем диапазоне скоростей. При этом разрыв между кривыми («эффект от внедрения») увеличивается с ростом скорости, достигая максимума в 6,25 га/ч при 8 км/ч.

Полученные данные подтверждают выдвинутую гипотезу: максимальная эффективность устройства достигается на высоких скоростях, поскольку возросшая кинетическая энергия потока улучшает рассеивание выровненной массы.

Вместе с тем, даже при достигнутых значениях ширины разбрасывания (2,32-2,40 м) этот показатель уступает ширине прокоса жатки зерноуборочного комбайна (6-7 м). Как следствие, требуется

выполнение дополнительных 3-4-х проходов агрегата, что влечёт за собой перерасход топлива в объёме 18-20 л/га. В связи с этим дальнейшая модернизация разравнивающего устройства должна быть направлена на создание адаптивных систем с регулируемыми параметрами.

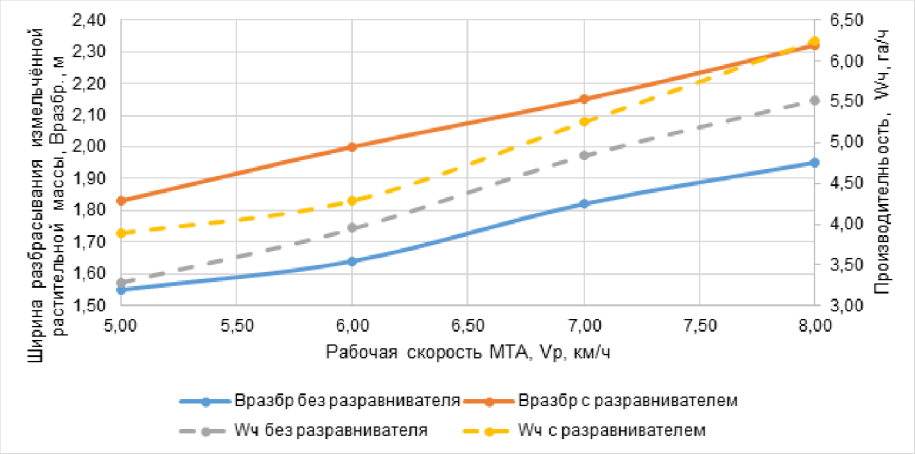


Рис. 2 – Зависимость ширины разбрасывания ($B_{разбр}$) и сменной производительности ($W_ч$) от скорости движения МРТА (Vр).
Fig. 2 – Dependence of spread width ($B_{disassembly}$) and shift capacity (W_h) on MTA movement speed (V_p).

Заключение

1. Коэффициент неравномерности $K_н$ показал себя как эффективный диагностический параметр. При его значениях 1,8-2,2 в центральной зоне ротора сосредотачивается до 60-65 % массы, а ширина разбрасывания на скорости 8 км/ч не превышает 1,95-2,05 м.

2. Использование пассивного разравнивателя с треугольным профилем (с углом в вершине 120°) уменьшает $K_н$ до уровня 0,5-0,8 и увеличивает ширину разбрасывания на 15-20 % (до 2,32-2,40 м). Эти данные согласуются с разработанной математической моделью, о чём свидетельствуют высокие показатели качества: R^2 = 0,89, RMSE = 0,14 га/ч.

3. Достижение целевой ширины разбрасывания 6-7 м (аналогичной ширине захвата жаток зерноуборочных комбайнов) требует дальнейшей модернизации разравнивателя в направлении создания адаптивных систем с регулируемыми параметрами. Представленные в работе результаты служат методической базой для такой разработки.

Список источников

1. Турусов В.И., Богатых О.А., Дронова Н.В., Балюнова Е.А. Роль пожнивно-корневых остатков в восстановлении плодородия почвы. *Плодородие.* 2020;4(115):10-12. DOI 10.25680/S19948603.2020.115.03.

2. Brichi L., Fernandes J. D., da Silva L. S. et al. Organic Residues and Their Impact on Soil Health, Crop Production and Sustainable Agriculture: A Review Including Bibliographic Analysis. Soil Use and *Management.* 2023;39(2):686–708. DOI 10.1111/sum.12867.

3. Qiu F., Regmi S., Allen C. M. A Review of Common Crop Residue Management Practices in Grain Production. *Agronomy.* 2026;16(6):625. DOI 10.3390/agronomy16060625.

4. Эскерханова Л. Т., Зарипова Р. С., Митрофанов С. В. Устойчивое развитие и инвестиции в зеленую экономику: роль частного и государственного секторов. *Экономика и управление: проблемы, решения.* 2024;4,3(144):85-91. DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.03.04.011. – EDN WBXVRB.

5. Митрофанов С. В. Эволюция концепции устойчивого развития и её значение для трансформации сельских территорий в XXI веке. *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2025;3,8(161):131-137. DOI 10.36871/ek.up.p.r.2025.08.03.013.

6. Богданчиков И.Ю., Бачурин А.Н., Есенин М.А., Мартышов А.И. Результаты полевых испытаний разравнивающего устройства в агрегате для утилизации незерновой части урожая в качесте удобрения. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2021;13(3):93-99. DOI 10.36508/RSATU.2021.14.95.013.

7. Есенин М.А., Богданчиков И.Ю. и др. Лабораторные исследования оптимальных параметров разравнивающего устройства агрегата для утилизации незерновой части урожая. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева.* 2022;14(1):92-98. DOI 10.36508/RSATU.2022.85.59.011.

8. Богданчиков И. Ю., Борычев С. Н. Результаты полевых испытаний сканирующего устройства машины для утилизации соломы в качестве удобрения. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева.* 2023;15(2):82-87. DOI 10.36508/RSATU.2023.96.86.012.

Вклад авторов:
Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Turusov V. I., Bogatykh O. A., Dronova N. V., Balyunova E. A. Role of crop-root residues in the restoration of soil fertility. Plodorodie. 2020;4(115):10-12. *(in Russ.)*. DOI 10.25680/S19948603.2020.115.03.

2. Brichi L., Fernandes J. D., da Silva L. S., et al. Organic Residues and Their Impact on Soil Health, Crop Production and Sustainable Agriculture: A Review Including Bibliographic Analysis. Soil Use and *Management.* 2023;39(2):686–708. DOI 10.1111/sum.12867.

3. Qiu F., Regmi S., Allen C. M. A Review of Common Crop Residue Management Practices in Grain Production. Agronomy. 2026;16(6):625. DOI 10.3390/agronomy16060625.

4. Eskerkhanova L. T., Zaripova R. S., Mitrofanov S. V. Sustainable development and investment in the green economy: the role of the private and public sectors. *Economics and Management:* Problems, Solutions. 2024;4,3(144):85-91. (in Russ.). DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.03.04.011.

5. Mitrofanov S. V. The evolution of the concept of sustainable development and its significance for the transformation of rural areas in the XXI century. *Economics and Management: Problems, Solutions.* 2025;3,8(161):131-137. (in Russ.). DOI 10.36871/ek.up.p.r.2025.08.03.013.

6. Bogdanchikov I.Yu., Bachurin A.N., Yesenin M.A., Martyshov A.I. Results of field tests of levelling device in unit for recycling of non-grain part of crop as fertilizer. *Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev. 2021;13(3):93-99. (in Russ.).* DOI 10.36508/RSATU.2021.14.95.013.

7. Yesenin M.A., Bogdanchikov I.Yu., Borychev S.N. et al. Laboratory studies of the optimal parameters of the leveling device of the unit for the utilization of the non-grain part of the crop. Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev. 2022;14(1):92-98. (in Russ.). DOI 10.36508/RSATU.2022.85.59.011.

8. Bogdanchikov I. Yu., Borychev S. N. Results of field tests of scanning device of machine for disposal of straw as fertilizer. *Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev. 2023;15(2):82-87. (in Russ.).* DOI 10.36508/RSATU.2023.96.86.012.

Contribution of the authors:
All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Илья Юрьевич Богданчиков, *канд. техн. наук, доцент, научный сотрудник института аграрных исследований ФГАОУ ВО Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия, ibogdanchikov@hse.ru*

Анна Владимировна Юдина, *студентка 2 курса магистратуры по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, anna.yudina.2002@mail.ru*

Михаил Анатольевич Есенин, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия m_esenin@mail.ru*

Author Information

Ilya Yu. Bogdanchikov, *Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor, Research Assistant, Institute of Agrarian Studies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ibogdanchikov@hse.ru*

Anna V. Yudina, *bachelor in the direction of training 35.03.06 "Agroengineering," 2st year student of the magistracy in the direction of training 35.04.06 "Agroengineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, , anna.yudina.2002@mail.ru*

Mikhail A. Yesenin, *Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor, Department of Operation of the Machine and Tractor Park, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, m_esenin@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 10.04.2026; одобрена после рецензирования 30.04.2026; принята к публикации 15.06.2026.

The article was submitted 10.04.2026; approved after reviewing 30.04.2026; accepted for publication 15.06.2026.