

На правах рукописи



ФЕДОРОВ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ТРАКТОРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА УБОРКЕ
СЕНА В РУЛОНАХ**

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном
образовательном учреждении высшего образования
«Волгоградский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: **Тронеv Сергей Викторович,**
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Лимаренко Николай Владимирович,**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Донской государственный техниче-
ский университет», профессор кафедры «Прибо-
ростроение и биомедицинская инженерия»

Филюшин Олег Владимирович,
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агро-
технологический университет им. П.А. Костыче-
ва», доцент кафедры «Техническая эксплуатация
автотракторной техники»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Воронеж-
ский государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

Защита состоится «01» декабря 2026 г. в 10 ч 00 мин. на заседании диссертационного совета 35.2.007.02, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» по адресу: 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26, зал заседаний диссертационного совета

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ и на сайте университета: www.volgau.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Седов Алексей Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Производство зерна, овощей и другой сельскохозяйственной продукции в последние годы в Российской Федерации неуклонно растет. В связи с этим, для устойчивого и стабильного развития сельскохозяйственного производства важная роль отводится грузовому транспорту. Более 45 наименований грузов как основной, так и побочной продукции дают только растениеводство и животноводство.

В настоящее время Правительство РФ особое внимание уделяет развитию животноводства, в том числе, крупного рогатого скота, для которого одним из важнейших видов корма в зимне-весенний период года является сено. Сено заготавливают как в рассыпном, так и в прессованном состоянии, в частности, в виде рулонов. Заготовка сена в рулонах в нашей стране является наиболее востребованной.

Заготовка сена включает ряд технологических операций, которые следует выполнять в установленные агротехнические сроки, нарушение которых ведет к снижению качества заготавливаемого корма и не позволяет своевременно выполнять на данном поле очередные сельскохозяйственные работы. В связи с этим, высокую производительность должны иметь не только машины, осуществляющие прессование сена или соломы в рулоны, но и машины для погрузки и перевозки рулонов сена к местам хранения или реализации. При этом грузовой транспорт как автомобильный, так и на базе тракторных прицепов должен полностью удовлетворять потребности сельскохозяйственного производства в своевременных перевозках сельскохозяйственных грузов с высоким качеством при минимальных затратах труда и средств.

В связи с этим, решение задачи по разработке научно-обоснованного метода выбора максимально эффективного транспортного средства для перевозки рулонов сена и усовершенствование узлов и механизмов традиционно используемых транспортных средств с целью улучшения показателей их использования актуально и весьма значимо для сельскохозяйственного производства.

Степень разработанности темы. Изучению эффективности процессов загрузки, транспортировки и выгрузки урожая сельскохозяйственных культур посвящены научные труды многих ученых: Афоничева Д.Н., Борычева С.Н., Бышова Н.В., Гамаюнова П.П., Колесникова Н.П., Кузнецова Е.Е., Купреенко А.И., Лимаренко Н.В., Пастухова А.Г., Ряднова А.И., Тихонкина И.В., Успенского И.А., Юхина И.А., Филюшина О.В. и других ученых.

Исследованиям технологий уборки грубого корма, спрессованного в рулоны и тюки, и машинам, реализующих эту технологию, посвящены научные

труды Блынского Ю.Н., Гуськова Ю.А., Николаева В.А., Тихонкина И.В., Щитова С.В. и ряда других ученых.

Анализ опубликованных работ свидетельствует о необходимости продолжения исследований тракторных транспортных средств в направлении комплексной оценки показателей их использования на уборке рулонов сена.

Цель исследования – повышение эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена применением разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ технических средств, используемых на транспортировке сельскохозяйственных грузов, и методов оценки эффективности их использования.

2. Разработать конструкцию погрузчика-транспортировщика рулонов сена, оборудованного системой погрузки рулонов сена на основную и дополнительную платформы.

3. Обосновать частные показатели и разработать математическую зависимость комплексного критерия эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена.

4. По комплексному критерию эффективности использования тракторных транспортных средств сравнить разработанный погрузчик-транспортировщик рулонов сена с погрузчиком-транспортировщиком рулонов сена-прототипом и серийным тракторным транспортным средством.

5. Дать оценку экономического эффекта от применения разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена.

Объект исследования – разработанный погрузчик-транспортировщик рулонов сена; технологические процессы погрузки и разгрузки рулонов сена.

Предмет исследования – закономерности изменения эксплуатационных показателей тракторных транспортных средств при уборке рулонов сена.

Научную новизну работы представляют:

- конструкция погрузчика-транспортировщика рулонов сена, оборудованного системой загрузки рулонов сена в основную и дополнительную платформы;

- алгоритмы функционирования автоматической системы управления механизмами дополнительной платформы разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена;

- теоретически обоснованные значения конструктивных параметров разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена;

- обоснованные частные показатели и математическая зависимость комплексного критерия оценки эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена.

Техническую новизну работы подтверждают 2 патента РФ на изобретения: №2833277 – транспортное средство для погрузки, перевозки и разгрузки рулонов сена и № 2639732 – расходомер.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость работы представляют: комплексный критерий оценки эффективности использования тракторных транспортных средств на операциях уборки сена, спрессованного в рулоны; обоснованные конструктивные параметры разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена, влияющие на степень заполнения основной и дополнительной платформ рулонами сена.

Практическую значимость работы представляют: разработанная конструкция погрузчика-транспортировщика рулонов сена, позволяющего повысить эффективность уборки рулонов сена с поля; конструкция расходомера топлива; рекомендации по выбору максимально эффективного тракторного транспортного средства при уборке рулонов сена с поля в зависимости от условий их транспортировки.

Методология и методы исследования. Методологической основой теоретических исследований являлись положения теории эффективности и надежности технических систем, методы математической статистики и принципы теоретической механики. Проведение экспериментальных работ осуществлялось по частным методикам, разработанным в соответствии с требованиями государственных стандартов. Обработка численных результатов выполнена с применением компьютерных программ.

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивные особенности разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена;
- совокупность частных показателей и математическая зависимость комплексного критерия эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена с поля;
- результаты оценки значений выбранных частных показателей и комплексного критерия эффективности использования исследуемых тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена с поля и их анализ;
- экономическая оценка эффективности применения разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена.

Степень достоверности и апробация результатов исследований. Достоверность полученных результатов и сделанных выводов обеспечивается высокой сходимостью экспериментальных данных с теоретическими предпосылками, применением классических положений теории эффективности и надежности технических систем, использованием общенаучных методов и приемов обработки статистических данных и типовых компьютерных программ.

Основные результаты диссертации были доложены и обсуждены на ежегодных национальных и международных научно-практических конференциях Волгоградского ГАУ (2023 – 2026 годы) и на международной научно-практической конференции ООО "Аэтерна", Уфа (2026 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 19 научных работ, в том числе 9 статей – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России; получено 2 патента РФ на изобретения. Общий объем опубликованных работ составляет 5,8 п.л., в том числе на долю автора приходится 2,1 п.л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 148 страниц с приложениями, в тексте имеется 24 таблицы и 43 рисунка. Список литературы представлен из 124 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Обзор и анализ результатов научных работ по использованию транспорта на перевозках сельскохозяйственных грузов» представлен анализ транспортных средств, применяемых на перевозках сельскохозяйственных грузов, и научных исследований по оценке эффективности использования технических средств в сельскохозяйственном производстве.

В настоящее время важнейшим направлением развития сельскохозяйственного производства в Российской Федерации является повышение валового сбора возделываемых культур и качества получаемой продукции. При достаточно существенном ежегодном валовом сборе сельскохозяйственных культур требуется высокая эффективность использования всего комплекса машин, в том числе и транспортных средств на перевозках сена, спрессованного в рулоны.

При транспортировке сена в рулонах используются, в основном, серийные технические средства отечественного и иностранного производства. При

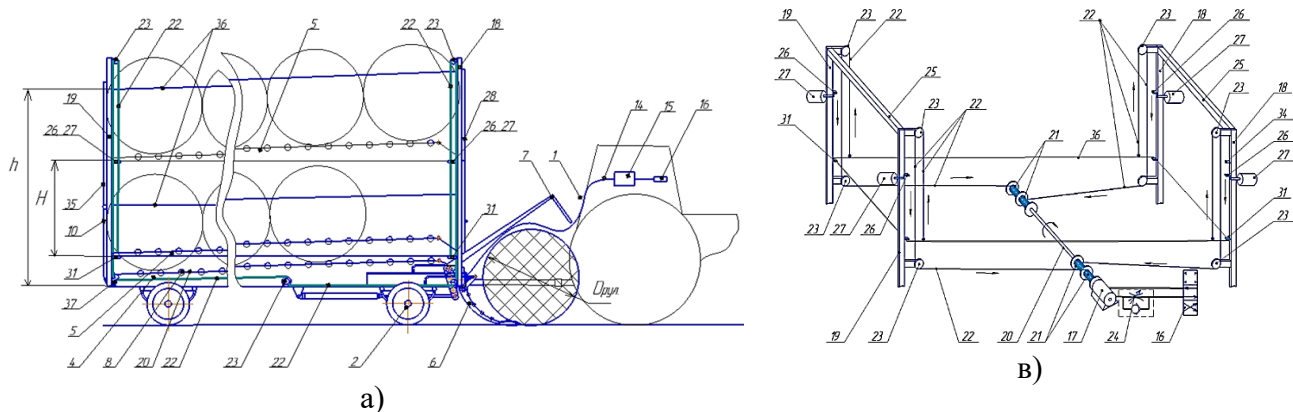
этом, около 50 – 60 % всего объема перевозок сельскохозяйственных грузов внутри хозяйства осуществляется тракторными транспортными агрегатами, которые по сравнению с автомобильным транспортом в большинстве случаев имеют низкую степень использования грузоподъемности при перевозках грузов с малой объемной массой и меньшую сменную производительность из-за значительных потерь времени смены на простои на их загрузку грузом.

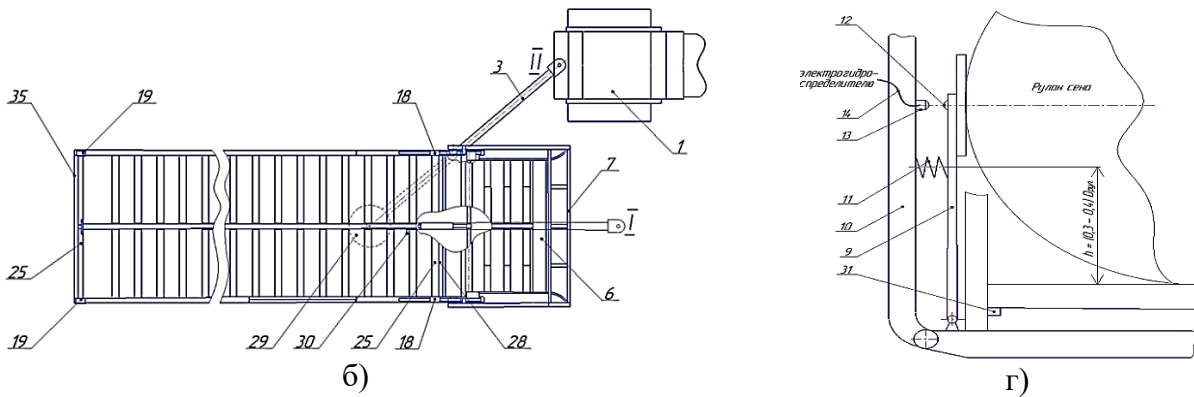
До настоящего времени актуальной проблемой остается правильный подбор максимально эффективного транспортного средства из совокупности средств, имеющим возможность выполнять заданную операцию.

На основании анализа технических средств, применяемых на перевозках сельскохозяйственных грузов, и научных исследований по оценке эффективности их использования была сформулирована цель исследования, в соответствии с которой определены задачи исследования.

Во второй главе «Обоснование комплексного критерия эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена» описаны особенности конструкции и алгоритм функционирования разработанного погрузчика-транспортёра рулонов сена, выбраны важнейшие показатели использования транспортных средств на погрузочно-транспортных операциях уборки сена в рулонах, дано обоснование математической зависимости комплексного критерия эффективности использования разработанного погрузчика-транспортёра рулонов сена.

Для повышения эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке с поля рулонов сена предложена конструкция погрузчика-транспортёра рулонов сена (ПТРС-2) на базе энергетического средства и прицепа 2ПТС-4,5, позволяющего осуществлять погрузку рулонов сена в два яруса с применением автоматической системы включения грузоподъемного механизма для подъема дополнительной платформы в верхний ярус при ее заполнении рулонами сена на нижнем ярусе, а также их транспортировку и выгрузку. Схема разработанного ПТРС-2 показана на рис.1, а его фотография – на рис.2.





а – вид сбоку, б – вид сверху, в - схема тросового грузоподъемного механизма,
г - схема датчика заполнения платформы рулонами сена

Рисунок 1 – Схема погрузчика-транспортировщика рулонов сена ПТРС-2



Рисунок 2 – Погрузчик-транспортировщик рулонов сена ПТРС-2

Разработанный погрузчик-транспортировщик рулонов сена ПТРС-2 работает следующим образом. После заезда на поле, на котором уложены рядами рулоны, прицеп 3 (рис. 1) разворачивают на поворотном круге 29 из положения *I*, при котором осуществляется движение транспортного средства от поля к месту выгрузки рулонов сена и обратно, в рабочее положение *II*. В этом положении прицеп 3 стопорится фиксатором 30. Дополнительную платформу 5 опускают до упоров 31. ПТРС-2 готово к подбору с поля рулонов сена.

Когда агрегат приближается на заданном расстоянии к рулону сена, подается сигнал на переключение гидрораспределителя 16 в положение, соответствующее опусканию погрузчика 6 до касания его с поверхностью поля, проводится корректировка направления движения МТА к рулону так, чтобы рулон сена оказался между направляющими погрузчика 6. Затем автоматически срабатывает электрогидрораспределитель 16 и рабочая жидкость от насоса направляется к гидроцилиндру 32, который опускает прижим 7 рулона, захватывающий рулон сена и подтягивающий его на погрузчик 6. Далее электрогидрораспределитель 16 управляет работой гидроцилиндра 32, который осуществляет поворот погрузчика 6 в сторону подъема рулона сена на пол дополнительной платформы 5.

Рулон сена после подачи его на пол дополнительной платформы 5 скатывается по ее роликам 8 до упора в пластину рычага 9, который под действием рулона сена поворачивается вокруг оси на некоторый угол, зависящий от жесткости упругого элемента 11. Жесткость упругого элемента 11 подобрана исходя из условия контакта упора 12 рычага 9 с концевым датчиком 13 при полной загрузке дополнительной платформы 5 рулонами сена.

За счет наклона платформы назад рулоны сена, загруженные на платформу первыми, не скатываются вперед при движении транспортного средства.

После полной загрузки дополнительной платформы срабатывает датчик полной загрузки, вследствие чего система обнаружения и погрузки рулонов отключается, механизм погрузочного устройства блокируется.

Далее при контакте упора 12 рычага 9 с концевым датчиком 13 подается электрический сигнал к электрогидрораспределителю 16, который включает гидромотор 17 тросового грузоподъемного механизма. При этом, полностью загруженная рулонами сена дополнительная платформа 5 поднимается на высоту расположения концевого выключателя 34. Дополнительная платформа 5 удерживается в верхнем положении с помощью фиксаторов 26, которые управляются электромагнитами 27.

Затем аналогичным образом загружается рулонами сена основная платформа 4.

При полной загрузке транспортного средства рулонами погрузчик 6 фиксируется в верхнем положении и прицеп 3 переводится из рабочего положения в транспортное. В этом случае погрузчик 6 удерживает рулоны на платформе при движении транспортного средства по неровностям дорог.

Опорная стенка 35, ограничительный щит 28 и барьеры 36 удерживают рулоны от выпадения из транспортного средства при движении. ПТРС-2 перемещается энергетическим средством к месту складирования рулонов.

На площадке складирования рулонов сена оператор открывает задний борт 10 с помощью гидроцилиндра 37, транспортное средство рывком начинает движение и рулоны скатываются по роликам 8 наклоненного назад пола основной платформы 4 на площадку складирования рулонов. Затем электромагниты 27 переводят фиксаторы 26 в вертикальное положение, что позволяет дополнительной платформе 5 под действием массы загруженных на ней рулонов и собственной массы опускаться до упоров 31. Для плавного опускания дополнительной платформы 5 используется механизм ее торможения, который автоматически включается в начале движения вниз дополнительной платформы 5. При достижении дополнительной платформы 5 нижнего положения осуществляется выгрузка рулонов сена аналогично, как с основной платформы 4.

Для разработанной конструкции ПТРС-2 определены конструктивные параметры, от которых зависит, в первую очередь, заполнение рулонами сена обеих платформ: конструктивная длина основной и дополнительной платформ (L_k) из условия загрузки каждой платформы в один ряд 4 рулонов с максимальным фактическим диаметром ($D_{\max}$), сформированных пресс-подборщиками, используемыми в сельскохозяйственных предприятиях, в которых проводились экспериментальные исследования; необходимый угол наклона платформы α , обеспечивающий скатывание рулонов по роликам к заднему борту с учетом уклона поля; высота рычага включения концевого датчика управления электрогидрораспределителем подъема дополнительной платформы ($h_{\text{рыч}}$) и высота подъема дополнительной платформы H , значение которой рассчитывается с учетом габаритных размеров транспортируемых рулонов сена.

Для транспортировки на одной платформе 4 рулонов сена, сформированных пресс-подборщиками ПР-Ф-110 ($D_{\max 1} = 1,15$ м) и ППР-120 ($D_{\max 2} = 1,25$ м), конструктивная длина каждой платформы должна быть равной соответственно $L_{k1} = 4,60$ м и $L_{k2} = 5,00$ м.

При этом, дополнительная платформа, загруженная рулонами сена с максимальным их диаметром будет перемещаться из нижнего положения в верхнее без повреждения рулонов.

Угол наклона платформы должен изменяться в зависимости от уклона поля: от $\alpha = 3^\circ$ при уклоне поля $\alpha_{\text{ук.п.}} = 0^\circ$ до $\alpha = 13^\circ$ при $\alpha_{\text{ук.п.}} = 10^\circ$.

При максимально возможном угле наклона платформы $\alpha_{\max} = 13^\circ$ расчетное максимальное значения $h_{np} = 0,49$ м.

Определен угол уклона поля или дороги при перемещении разработанного ПТРС-2 до моментов начала его опрокидывания в поперечном направлении ($\beta = 22^\circ$) и отрыва передних колес от поля (дороги) при въезде на подъем ($\alpha = 37^\circ$). В обоих случаях ПТРС-2 сконструирован таким образом, что он сохраняет устойчивость в любом направлении на твердой почве с уклоном более $8,5^\circ$, установленного ГОСТом.

Таким образом, разработанная конструкция ПТРС-2 позволяет осуществлять погрузку рулонов сена в два яруса на ходу без остановок, транспортировку и выгрузку их в местах складирования.

Из материалов научных статей по теме настоящей работы нам удалось выделить три группы факторов, влияющих на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки рулонов сена: технологические, конструктивные и эксплуатационно-экономические. На основе анализа всей совокупности факторов указанных групп предложено применять для комплексной оценки эффективности использования разработанного

тракторного транспортного средства (ТТС) следующие показатели: производительность за один час сменного времени ($W_{\text{ч.см}}$), расход топлива на один доставленный рулон сена (G_p), суммарные затраты труда на доставку одного рулона сена ($З_T$), уровень надежности, оцениваемый коэффициентом готовности (K_Γ) и стоимость технических устройств и механизмов с учетом амортизационных отчислений всех машин, участвующих на уборке сена в рулонах (C_{TC}).

Производительность ТТС за один час сменного времени определяется по зависимости:

$$W_{\text{ч.см}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (m_i N_{pi}) L_\Gamma}{T_{\text{см}}}, \quad (1)$$

где m_i – масса одного рулона, сформированного i -й маркой рулонного пресс-подборщика, т; N_{pi} – количество рулонов, доставленных в течение смены от рулонного пресс-подборщика i -й марки, шт.; $i = 1 \dots n$ – количество марок рулонных пресс-подборщиков, от которых рулоны транспортируются к месту хранения; $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены (принято $T_{\text{см}} = 7$ ч); L_Γ – расстояния перевозки рулонов, км.

Расход топлива на один доставленный рулон сена рассчитывается по формуле:

$$G_p = \frac{G_{\text{см}}}{N_p}, \quad (2)$$

где $G_{\text{см}}$ – расход топлива ТТС за смену, л; N_p – количество рулонов сена, перевезенных ТТС за смену с поля к месту складирования, шт.

Суммарные затраты труда на доставку одного рулона сена определяются по формуле:

$$З_T = \frac{1}{N_p} \sum_{j=1}^{j=d} t_j N_{\text{оп}j}. \quad (3)$$

где N_p – количество рулонов сена транспортируемых за смену, шт.; j – число технологических операций ($j = 1 \dots d$, шт.); t_j – продолжительность выполнения j -ой операции, ч; $N_{\text{оп}}$ – число операторов, обслуживающих технические средства, чел.

Коэффициент готовности ТТС рассчитывается по формуле:

$$K_\Gamma = \frac{\bar{t}_0}{\bar{t}_0 + \bar{t}_B}. \quad (4)$$

где $\bar{t}_0$ – средняя наработка на отказ, ч; $\bar{t}_B$ – среднее время восстановления работоспособности ТТС, ч.

Стоимость технических устройств и механизмов, используемых на уборке рулонов сена, определяется по зависимости:

$$C_{TC} = Ц_{TC} + A_{TC}, \quad (5)$$

где $Ц_{TC}$ – суммарная цена технических средств, участвующих на погрузке, транспортировке и выгрузке рулонов сена, руб.; A_{TC} – амортизационные отчисления, руб.

Следует учесть, что отмеченные выше показатели оказывают неравноценное влияние на комплексный критерий. В связи с этим, экспертным методом определяется относительная их значимость:

$$\varepsilon_i = \frac{\sum_{l=1}^n r_j^l}{\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m r_j^l}, \quad (6)$$

где r_j^l – ранг, присвоенный j -му частному показателю l – m экспертом.

Выбранные частные показатели и их относительная значимость учтены в комплексном критерии эффективности:

$$K_{\varepsilon} = \frac{K_W K_H}{K_G K_T K_C}, \quad (7)$$

$$\text{где } K_W = \varepsilon_W \frac{W_{qCM}}{W_{qCM}^{TP}}, \quad K_H = \varepsilon_H \frac{K_{\Gamma}}{K_{\Gamma}^{TP}}, \quad K_G = \varepsilon_G \frac{G_P}{G_P^{TP}}, \quad K_T = \varepsilon_T \frac{3_T}{3_T^{TP}}, \quad K_C = \varepsilon_C \frac{C_{TC}}{C_{TC}^{TP}}. \quad (8)$$

В числитель зависимости (7) включены частные показатели, увеличение которых ведет к росту эффективности использования ТТС, а в знаменатель – показатели, значения которых необходимо снижать. При этом, для исключения зависимости частных показателей от их размерности каждый частный показатель был отнесен к соответствующему требуемому (желаемому для лица, принимающего решение) показателю W_i^{TP} .

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» представлены методики оценки габаритных размеров и массы рулонов сена, определения частных показателей использования, разработанного ПТРС-2, включенных в комплексный критерий эффективности и их экспертного оценивания.

Рулоны сена, габаритные и массовые характеристики которых оценивали, были сформированы пресс-подборщиками ПР-Ф-110 и ППР-120 "Pelikan", широко применяемые в хозяйствах Волгоградской области. Пресс-подборщики были отрегулированы на выбранную плотность прессования.

Влажность сена в рулонах определяли анализатором влажности «Эвлас-2М». Точность измерения равнялась $\pm 1\%$, повторность – четырехкратная в соответствии с ГОСТ 27548-97.

Определялись размеры рулонов сена в горизонтальной и вертикальной плоскостях, с точностью до 10 мм.

Массу рулона определяли взвешиванием на электронных весах СКЕЙЛ СKE-1500-1215-3-4 с точностью до 1,0 кг. Число взвешиваемых рулонов равнялось 100 шт., что обеспечивало необходимую точность измерения.

Сравнительные экспериментальные исследования частных показателей использования тракторных транспортных средств (ТТС) проводились в ИП Алмазова П.К. Кумылженского района и КХ Березина Ю.И. Михайловского района Волгоградской области на примере следующих ТТС: серийного МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с загрузкой в прицеп рулонов сена агрегатом МТЗ-82.1+ПКУ-0,8; МТЗ-82.1+ПТРС-1 (прототип, загрузка рулонов сена в один ярус, патент РФ №2728961) и МТЗ-82.1+ПТРС-2 (разработанное ТТС при загрузке рулонов сена в два яруса, патент РФ №2833277).

Основой оценки частных показателей эффективности использования ТТС – производительности за один час сменного времени, затрат труда на доставку одного рулона сена и показателей надежности являлись результаты сплошного хронометража работы ТТС.

Расход топлива исследуемыми ТТС оценивался двумя методами: с помощью разработанного расходомера (патент РФ № 2639732) и статистическим.

Для расчета комплексного критерия эффективности использования сравниваемых ТТС на уборке рулонов сена определены значения коэффициентов относительной важности, рассчитанных по зависимости (6). При этом ранг r_j^l каждого частного показателя определялся методом экспертной оценки на основе опроса специалистов, компетентных в данной области знаний.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты оценки габаритных размеров и массы рулонов сена, показателей использования агрегатов на уборке сена в рулонах, их производительности, расхода топлива, затрат труда, надежности тракторных транспортных средств, стоимости технических устройств и механизмов, применяемых на уборке сена в рулонах, и результаты расчета комплексного критерия эффективности использования сравниваемых технических средств.

Анализ статистических данных показал, что рулоны сена, сформированные пресс-подборщиком ПР-Ф-110, имеют сечение размером 1,11 м по горизонтали и 1,08 м по вертикали. Для рулонов сена, сформированных ППР-120 «Pelikan», соответствующие размеры составляют 1,25 м по горизонтали и 1,19 м по вертикали. Среднеквадратическое отклонение размеров рулонов сена от номинальных значений составляют для ПР-Ф-110 $\sigma_{LG} = 0,1$ м и $\sigma_{LB} = 0,08$ м, а для ППР-120 «Pelikan» $\sigma_{LG} = 0,07$ м и $\sigma_{LB} = 0,06$ м. Полученные результаты свидетельствуют о незначительной эллипсности исследованных рулонов.

Установлено, что масса рулона сена от ПР-Ф-110 и ППР-120 «Pelikan» в среднем соответственно равна 147 кг и 248 кг. При этом, грузоподъемность разработанного ТТС при транспортировке 8 рулонов сена от пресс-подборщика ПР-Ф-110 используется на 26,1 %, а от ППР-120 "Pelikan" - на 44,1 %.

Результаты оценки исследуемых частных показателей эффективности использования ТТС на основе результатов сплошного хронометража ТТС на уборке рулонов сена, расчетов коэффициентов относительной важности частных показателей ТТС по зависимости (6) и комплексного критерий эффективности K_{Σ} по зависимости (7) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения частных показателей, коэффициентов их относительной важности и комплексного критерия эффективности

Транспортное средство		
МТЗ-82.1+ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	МТЗ-82.1 + ПТРС-2
Производительность ТТС за 1 ч сменного времени – $W_{чсм}$, т·км/ч и коэффициент относительной значимости $\varepsilon_w = 0,36$		
2,38	2,19	3,29
$W_{чсм}^{TP} = 3,76$ ткм/ч		
K_w		
0,228	0,210	0,315
Расход топлива на один доставленный рулон сена – G_P , л/рул. и коэффициент относительной значимости $\varepsilon_G = 0,21$		
0,271	0,319	0,170
$G_P^{TP} = 0,170$ л/рул.		
K_G		
0,335	0,394	0,210
Затраты труда на доставку 1 рулона сена – $З_T$, чел.ч/рул. и коэффициент относительной значимости $\varepsilon_T = 0,03$		
0,204	0,200	0,108
$З_T^{TP} = 0,108$ чел.ч/шт.		
K_T		
0,057	0,056	0,030
Коэффициент готовности - K_G и коэффициент относительной значимости $\varepsilon_H = 0,09$		
0,89	0,86	0,87
$K_G^{TP} = 0,9$		
K_H		
0,089	0,086	0,087
Стоимость технических устройств и механизмов, участвующих на уборке рулонов сена – C_{TC} , руб. и коэффициент относительной значимости $\varepsilon_C = 0,31$		
6820000	3745500	3784000
$C_{TC}^{TP} = 3745500$ руб.		
K_C		
0,565	0,310	0,313
K_{Σ}		
1,88	2,64	13,89

Значения комплексного критерия эффективности исследуемых ТТС показаны на рисунке 3.

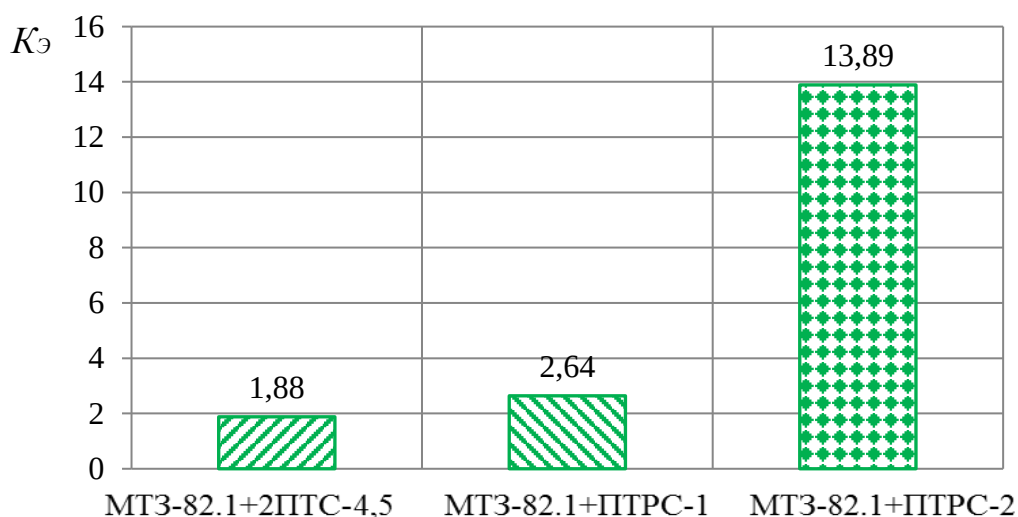


Рисунок 3 – Значения комплексного критерия эффективности

Таким образом, комплексный критерий эффективности использования тракторных транспортных средств следующий: $K_{\text{э}}^{\text{РАЗП.}} = 13,89$ для разработанного MT3-82.1+ПТРС-2, $K_{\text{э}}^{\text{ПП.}} = 2,64$ для прототипа MT3-82.1+ПТРС-1 и $K_{\text{э}}^{\text{СЕР.}} = 1,88$ для серийного MT3-82.1+2ПТС-4,5 совместно с МКУ-0,8.

Применение на уборке с поля рулонов сена разработанного тракторного транспортного средства эффективнее, чем использование транспортных средств-прототипа и серийного соответственно в 5,26 и 7,39 раза.

В пятой главе «Экономическая эффективность применения разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена» был выполнен расчет годового экономического эффекта от применения разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена. Проводилось сравнение экономического эффекта от использования исследуемых тракторных транспортных средств. Определено, что прямые эксплуатационные затраты денежных средств на погрузку, транспортировку и выгрузку рулонов сена, сформированных пресс-подборщиками ПР-Ф-110, для серийного ТТС составили 2948 руб./т; для ТТС-прототипа (MT3-82.1+ПТРС-1) – 1795 руб./т и для разработанного ТТС (MT3-82.1 + ПТРС-2).

Использование в сельскохозяйственных предприятиях на заготовке сена в рулонах разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена дает годовой экономический эффект, равный 198227 руб. Срок окупаемости конструкции равен 1,9 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ технических средств, используемых для погрузки, транспортировки и выгрузки сельскохозяйственных грузов, в том числе и рулонов сена, из которого следует необходимость выполнения технических разработок, направленных на улучшение совокупности их эксплуатационных показателей, и выбора максимально эффективного транспортного средства из совокупности существующих по комплексному критерию, обоснованному с учетом назначения и факторов, от которых зависят его частные показатели.

2. Разработана конструкция погрузчика-транспортировщика рулонов сена, оборудованного основной и дополнительной платформами, а также автоматической системой управления механизмом подъема дополнительной платформы в верхний ярус после ее загрузки на нижнем ярусе без использования дополнительных технических средств, обеспечивающего также транспортировку и выгрузку рулонов сена в местах складирования.

Определены: конструктивная длина дополнительной платформы $L_{к2} = 4,60$ м и $L_{к2} = 5,0$ м при загрузке на нее рулонов сена соответственно от ПР-Ф-110, от ППР-120 и угол наклона платформ к горизонту от $\alpha = 3^\circ$ при уклоне поля $\alpha_{ук.п.} = 0^\circ$ до $\alpha = 13^\circ$ при $\alpha_{ук.п.} = 10^\circ$; высота рычага включения концевого датчика управления электрогидрораспределителем подъема дополнительной платформы $h_{рыч}$ и высота подъема дополнительной платформы H определяются диаметром транспортируемых рулонов сена и соответственно равны $h_{рыч} = D_P/2$ и $H = 1,1D_P$; расстояние, на котором находится продольная ось пружины от оси поворота заднего борта $h_{np} = 0,49$ м при $\alpha = 13^\circ$ и $h_{рыч} = 0,6$ м.

Доказано, что разработанный погрузчик-транспортировщик рулонов сена сохраняет поперечную и продольную устойчивость на твердой почве с уклоном более $8,5^\circ$.

3. Обоснованы частные показатели использования тракторных транспортных средств, в большей степени влияющих на эффективность транспортировки рулонов сена: их производительность за один час сменного времени ($W_{чсм}$), расход топлива (G_P) и затраты труда, приходящиеся на один рулон сена ($З_T$), коэффициент готовности (K_T) и стоимость технического средства ($C_{ТС}$).

Для разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена, а также для серийного тракторного транспортного средства и погрузчика-транспортировщика рулонов сена-прототипа определены фактические значения частных показателей их использования: производительность за один час сменного времени 3,29 т·км/ч, 2,38 т·км/ч и 2,19 т·км/ч; расход топлива, прихо-

дящийся на один рулон сена, доставленный техническим средством с поля к месту складирования 0,17 л/рул., 0,271 л/рул. и 0,319 л/рул.; затраты труда, приходящиеся на один рулон сена 0,108 чел.ч/рул., 0,204 чел.ч/рул. и 0,200 чел.ч/рул.; коэффициент готовности транспортного средства 0,87, 0,89 и 0,86; стоимость технического средства, участвующего на уборке рулонов сена 3784000 руб., 6820000 руб. и 3745500 руб.

4. Разработана математическая зависимость комплексного критерия эффективности $Kэ$, учитывающего совокупность важнейших частных показателей использования тракторных транспортных средств при погрузке, транспортировке и выгрузке рулонов сена и их относительную важность.

Определено, что при использовании разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена в хозяйствах Волгоградской области $Kэ^{PA3P.} = 13,89$, погрузчика-транспортировщика рулонов сена-прототипа $Kэ^{IP} = 2,64$ и серийного тракторного транспортного средства $Kэ^{CEP.} = 1,88$.

Применение на уборке с поля рулонов сена разработанного тракторного транспортного средства эффективнее, чем использование транспортных средств-прототипа и серийного соответственно в 5,26 и 7,39 раза.

5. Использование в сельскохозяйственных предприятиях разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена при транспортировке с поля к месту складирования 165 т рулонов сена за сезон дает годовой экономический эффект, равный 198227 руб. Срок окупаемости конструкции равен 1,9 года.

Рекомендации производству

Разработанный погрузчик-транспортировщик рулонов сена рекомендуется использовать на внутриусадебных перевозках рулонов сена в сельскохозяйственных предприятиях с ограниченными трудовыми ресурсами.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Продолжить модернизацию разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена на основе использования интеллектуальных систем управления его механизмами.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Ряднов А.И., Федорова О.А., **Федоров А.В.** Совершенствование конструкции поршневого расходомера топлива. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 255-262.
2. Ряднов А.И., Алмазов И.В., **Федоров А.В.** Результаты исследований расхода топлива транспортными средствами на перевозках рулонов сена / Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 4 (67). С. 115-121.
3. Ряднов А.И., **Федоров А.В.** Снижение затрат труда при выгрузке рулонов сена из кузова транспортного средства. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2022. Т. 14. № 3. С. 121-129.
4. Ряднов А.И., Любимов Р.В., **Федоров А.В.**, Воронин С.М. Оценка производительности и безотказности погрузчика-транспортировщика рулонов сена. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 427-440.
5. Ряднов А. И., Меченков В. В., **Федоров А. В.** Факторы, влияющие на показатели использования автоматизированных транспортных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах. Известия НВ АУК. 2024. 3(75). 357-366.
6. Ряднов А.И., Руденко В.Н., Павловский Д.С., **Федоров А.В.** Результаты оценки производительности технических средств на уборке сельскохозяйственных культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 346-358.
7. Ряднов А.И., **Федоров А.В.**, Болаев Б.К., Арылов Ю.Н. Снижение трудоемкости транспортировки рулонов сена тракторными агрегатами. Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 6 (112). С. 66-71.
8. Ряднов А.И., **Федоров А.В.**, Бышов Д.Н. Оценка расхода топлива тракторными транспортными агрегатами на перевозке рулонов сена. Известия НВ АУК. 2026. №1 (85). С. 523-532.
9. Ряднов А. И., Тронеv С. В., **Федоров А. В.** Оценка устойчивости подборщика-транспортировщика рулонов сена на склонах. Известия НВ АУК. 2026. 4(88). С. 536-545.

Патенты РФ:

1. Расходомер. Ряднов А.И., **Федоров А.В.** Патент на изобретение RU 2639732 С , 22.12.2017. Заявка № 2017100285 от 09.01.2017.
2. Транспортное средство для погрузки, перевозки и разгрузки рулонов сена. Ряднов А.И., **Федоров А.В.** Патент на изобретение RU 2833277 С1, 16.01.2025. Заявка № 2024112005 от 02.05.2024.

Список работ в других изданиях:

1. **Федоров А.В.** К вопросу выбора эффективного транспортного средства для перевозки грузов сельскохозяйственного назначения. В сборнике: Наука и молодёжь: новые идеи и решения. материалы XVII Международной научно-практической конференции молодых исследователей. Волгоград, 2023. С. 366-369.

2. **Федоров А.В.,** Ряднов А.И. К вопросу повышения производительности транспортных средств на перевозках грузов сельскохозяйственного назначения. В сборнике: Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий. Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, академика ВАСХНИЛ (РАСХН) Листопада Г. Е.. Волгоград, 2023. С. 118-123.

3. Любимов Р.В., **Федоров А.В.** К вопросу повышения производительности транспортных средств при уборке сена в рулонах. В сборнике: Наука и молодёжь: новые идеи и решения. Материалы XVII Международной научно-практической конференции молодых исследователей. Волгоград, 2023. С. 315-319

4. **Федоров А.В.,** Ряднов А.И. Факторы, влияющие на эффективность использования грузового транспорта сельскохозяйственного назначения. В сборнике: Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию победы в Сталинградской битве. Волгоград, 2024. С. 205-212.

5. **Федоров А.В.,** Ряднов А.И. Система автоматизации загрузки транспортного средства рулонами сена. В сборнике: Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий. Материалы Национальной научно-практической конференции. Волгоград, 2025. С. 332-338.

6. Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Меченков В.В., **Федоров А.В.** Особенности автоматической системы загрузки транспортного средства рулонами сена. В сборнике: Материалы национальной научно-практической конференции «Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий». Волгоград, 2025. С. 366-369.

7. **Федоров А.В.,** Ряднов А.И. Обоснование некоторых конструктивных параметров погрузчика-транспортировщика рулонов сена. В сборнике: Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации. Материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2026. С. 332-338.

8. Ряднов А.И., Тронев С.В., **Федоров А.В.** Оценка производительности погрузчика - транспортировщика рулонов сена от расстояния транспортировки рулонов сена. В сборнике: Трансформация современной модели научной деятельности: задачи, проблемы, перспективы. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2026. С. 41-44.

Подписано в печать _____ г. Формат 60х84 1/16

Усл. печ. л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ _____

Издательско-полиграфический комплекс ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ «Нива»
400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26