

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Волгоградский государственный аграрный университет»

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

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Волгоград – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ РАБОТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТРАНСПОРТА НА ПЕРЕВОЗКАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГРУЗОВ.....	9
1.1 Транспортные средства, применяемые на перевозках сельскохозяйственных грузов.....	9
1.2 Анализ научных исследований по оценке эффективности использования технических средств в сельскохозяйственном производстве.....	16
1.3 Цель и задачи исследования.....	22
2 ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАКТОРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА УБОРКЕ РУЛОНОВ СЕНА	24
2.1 Особенности конструкции разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена.....	24
2.2 Выбор показателей использования транспортных средств, существенно влияющих на эффективность погрузочно-транспортных операций уборки сена в рулонах	45
2.3 Обоснование математической зависимости комплексного критерия оценки эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена	50
2.4 Выводы по разделу 2.....	59
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	61
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	61
3.2 Методика оценки габаритных размеров и массы рулонов сена...	62
3.3 Методика оценки показателей использования агрегатов на уборке сена в рулонах для определения их производительности.	66
3.4 Методика определения расхода топлива тракторными транспортными средствами на уборке сена в рулонах.....	69
3.5 Методика определения затрат труда при использовании тракторного транспорта.....	72
3.6 Методика оценки показателей надежности разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена	73
3.7 Методика экспертной оценки частных показателей комплексного критерия эффективности.....	76
3.8 Выводы по разделу 3.....	77
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	79
4.1 Результаты оценки габаритных размеров и массы рулонов сена..	79
4.2 Оценка показателей использования агрегатов на уборке сена в рулонах и их производительности.....	81

4.3	Оценка расхода топлива транспортными тракторными средствами.....	86
4.4	Результаты оценки затрат труда при использовании исследуемых тракторных транспортных средств на уборке сена в рулонах.....	88
4.5	Оценка показателей надежности тракторных транспортных средств.....	91
4.6	Оценка стоимости технических устройств и механизмов, применяемых на уборке сена в рулонах.....	102
4.7	Результаты оценки комплексного критерия эффективности использования исследуемых технических средств на уборке рулонов сена	104
4.8	Выводы по разделу 4.....	109
5	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОГО ПОГРУЗЧИКА- ТРАНСПОРТИРОВЩИКА РУЛОНОВ СЕНА.....	113
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	120
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	138

ВВЕДЕНИЕ

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 мето-

дов 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 и 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.

1 ОБЗОР И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ РАБОТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТРАНСПОРТА НА ПЕРЕВОЗКАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГРУЗОВ

1.1 Транспортные средства, применяемые на перевозках сельскохозяйственных грузов

В настоящее время важнейшим направлением развития сельскохозяйственного производства в Российской Федерации является повышение валового сбора возделываемых культур и качества получаемой продукции.

Данные Минсельхоза РФ по валовому сбору некоторых сельскохозяйственных культур за пятилетний период (с 2020 г. по 2024 г.), которые в значительной степени оказывают влияние на использование транспортных средств сельскохозяйственного назначения, представлены в таблице 1.1 [<https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>. Дата обращения 12.01.2025 г.].

Таблица 1.1 – Валовые сборы сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий Российской Федерации, тыс. ц

Наименование с.- х. культуры	год				
	2020	2021	2022	2023	2024
Зерновые и зернобобовые	1334630	1213994	1576143	1449623	1249638
Подсолнечник	133144	156561	163624	172589	165744
Картофель	196074	179587	188432	202410	180250
Овощи открытого и закрытого грунта	138640	130290	136138	138439	137548

Транспорт используется также на перевозке продукции ряда других сельскохозяйственных культур, например, бахчевых, кукурузы на силос, зеленый корм и сенаж, сено как однолетних, так и многолетних трав. К примеру, в таблице 1.2 представлены данные по валовому сбору указанных выше культур в хозяйствах Волгоградской области.

Таблица 1.2 – Валовый сбор урожая сельскохозяйственных культур
в Волгоградской области, тыс. ц

Наименование с.- х. культуры	год				
	2020	2021	2022	2023	2024
Зерновые и зернобобовые	51101	41261	70085	63731	40171
Подсолнечник	11282	14739	13862	15567	15476
Картофель	1899	1732	1793	1798	1900
Овощи открытого и закрытого грунта	10368	10517	10772	11297	11862
Бахчевые продовольственные культуры	2623	2433	2206	2264	2317
Кукуруза на силос, зеленый корм и сенаж	838	1208	1183	1204	1026
Сено однолетних и многолетних трав	1055	1506	1422	1320	1128

При достаточно существенном ежегодном валовом сборе сельскохозяйственных культур требуется высокая эффективность использования всего комплекса машин, применяемых при уборке сельскохозяйственных культур, в том числе и грузовых транспортных средств.

Исходя из потребностей сельскохозяйственного производства, в сельском хозяйстве применяют грузовые и специальные автомобили, а также транспортные средства, энергетическим средством которых является трактор (тракторный транспорт).

При выборе типа транспорта учитываются, кроме его наличия в хозяйстве, многие факторы, такие как масса транспортируемых грузов, «удобство их погрузки и разгрузки, срочность перевозки, состояние дорог, расстояние перевозки и другие.»[93].

Транспортные средства в сельском хозяйстве участвуют не только на технологических перевозках грузов с поля к местам хранения или переработки зерна, корнеплодов, плодов различных культур, сена и соломы в рассып-

ном и прессованном виде, удобрений, семян, ядохимикатов, но и на заготовительных работах по транспортировке зерна, картофеля, сахарной свеклы, фруктов и овощей на заготовительные пункты. Следует отметить, что количество видов грузов сельскохозяйственного назначения, которые перевозятся различным транспортом, превышает 300 наименований [3].

Наиболее распространенными транспортными средствами в сельскохозяйственном производстве в настоящее время являются грузовые автомобили, в частности, грузовые самосвальные КАМАЗ 45144 с прицепом и ГАЗ-САЗ-3507/35071, бортовой ГАЗ-3302 «Газель», и машинно-тракторные агрегаты, в состав которых входят трактор, как правило, колесный, например, МТЗ-82.1 и прицеп, например, 2ПТС-4,5.

На транспортировке сельскохозяйственных грузов в последние годы начали использовать грузовые автомобили «УРАЛ» (рис. 1.1), Балт «Гранд – Полевик» на шасси, например, КАМАЗ 53228 (рис.1.2) и полуприцепы, например, Тонар-95235 (рис. 1.3).



Рисунок 1.1 – Автомобиль Урал - 432091 на транспортировке картофеля



Рисунок 1.2 – Автомобиль Балт «Гранд – Полевик»
на шасси КАМАЗ 53228 с прицепом



Рисунок 1.3 – Полуприцеп «Тонар – 95235»

Показатели качества перевозимого груза, такие как повреждения, например, клубней картофеля, плодов яблок и ряда других культур зависят не только от их физико-механических свойств, но и от способа перевозки.

Способы перевозки сельскохозяйственных грузов могут быть навалом, в специальных емкостях или таре, а также поштучно. Кроме того, для перевозки урожая ряда сельскохозяйственных культур, например, клубней картофеля, плодов яблок используется специализированный транспорт, который обеспечивает минимальное повреждение перевозимого груза. Специализированный транспорт, как правило, это автомобиль или тракторный прицеп, оборудованный специальным устройством (рис. 1.4.)



Рисунок 1.4 – Устройство в кузове полуприцепа «Тонар – 95235» для снижения уровня повреждений клубней картофеля

Для транспортировки фруктов и овощей на дальние расстояния используют рефрижераторы (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Рефрижератор для транспортировки фруктов и овощей

Имеются некоторые быстропортящиеся сельскохозяйственные грузы, например, молоко. Его качество быстро ухудшается под действием температуры окружающего воздуха и его влажности, света и ряда других факторов. Для транспортировки таких грузов используются специальные автомобили.

Автомобильный грузовой транспорт используется на перевозках крупного рогатого скота. При этом применяются скотовозы, обеспечивающие условия привычные для животных.

Кроме того, грузовым транспортом перевозятся семена и удобрения, запасные части и другие ремонтные материалы.

В настоящее время существенны объемы транспортировки комбикормов, силоса и грубых кормов. К грубым кормам, как известно, относится сено и солома. Применение данного вида корма необходимо для полноценного функционирования пищеварительной системы животных. Замена зеленого корма грубым, например, в летний период всего на 10 -12% увеличивает продуктивность животных по мясу на 10-11,5% и при этом снижается расход корма на 10-12,6% [38].

Наиболее ценным из видов грубых кормов является сено.

«В сельскохозяйственных предприятиях Волгоградской области при заготовке сена наиболее распространенной является технология заготовки

сена с прессованием его в тюки и рулоны, так как она до настоящего времени экономически обоснована. При использовании такой технологии заготовки сена технологический процесс полностью механизирован, а потери сухого вещества в сене снижаются до 30-35% и питательных веществ – в 1.5-2 раза. Однако без совершенствования существующих технологий и разработок новых технических средств, в частности для уборки сена, спрессованного в рулоны, решить проблему заготовки грубого корма в необходимом объеме и высокого качества проблематично.»[67].

Технология заготовки сена в рулонах имеет следующие преимущества:

- достаточно высокая по сравнению с другими технологиями производительность погрузочно-транспортных операций. Это связано с высокой плотностью прессования сена пресс-подборщиками;
- возможность использования существующих транспортных средств, прицепов и погрузчиков рулонов;
- минимальные затраты ручного труда [46].

В настоящее время транспортировка рулонов сена и соломы осуществляется различными машинами, в том числе прицепами 2ПТС-4,5 (рис. 1.6а) и погрузчиками-транспортировщиками рулонов (рис.1.6б, рис. 1.7а), агрегатируемые тракторами различного тягового класса, а также различные автомобили: КАМАЗ 55102 (рис. 1.7 б), ГАЗ-САЗ 3307 (рис. 1.8 а) и ГАЗ-3302 «Газель» (рис. 1.8 б) .



а)



б)

Рисунок 1.6 - Тракторная тележка 2ПТС-4,5 (а) и подборщик- транспортировщик рулонов сена ПТС-1 (б)



а)



б)

Рисунок 1.7 – Подборщик-транспортировщик рулонов Sipta WS 6510 (а);
автомобиль КАМАЗ 55102 (б)



а)



б)

Рисунок 1.8 – Автомобили ГАЗ-САЗ 3307 (а) и ГАЗ-3302 «Газель» (б)

Грузовой автомобильный и тракторный транспорт в сельскохозяйственном производстве используется на перевозках рулонов сена внутри усадьбы, внутри хозяйства и вне хозяйства.

На внутриусадебных перевозках сельхозгрузов могут использоваться, например, агрегат «Беларус 82.1 + 2ПТС-4,5, ГАЗ-3302 «Газель» и ГАЗ-САЗ-3507/35071; на внутрихозяйственных: ГАЗ-3302 «Газель» и ГАЗ-САЗ-3507/35071; на внехозяйственных: ГАЗ-3302 «Газель» и КАМАЗ 45144 с прицепом.»[1].

При этом следует отметить, что около 50 – 60 % всего объема перевозок сельскохозяйственных грузов внутри хозяйства осуществляется тракторными транспортными агрегатами [6, 32, 33]. Это связано, в первую очередь, с

возможностью осуществлять перевозки грузов тракторными транспортными агрегатами в течение всего года по бездорожью и по пересеченной местности [32, 33]. Однако такие агрегаты по сравнению с автомобильным транспортом в большинстве случаев имеют меньшую производительность. В связи с этим, необходимо разрабатывать новые тракторные транспортные средства. «При этом вновь разрабатываемые машины должны иметь высокую производительность за смену, а также необходимый уровень надежности»[67].

Таким образом, широкое применение грузового транспорта в сельскохозяйственном производстве, в том числе и на перевозках рулонов сена, требует вести разработки технического и технологического характера, направленные на улучшение совокупности эксплуатационных показателей его использования и внедрять их.

Следовательно, выбор вида транспортного средства в зависимости от условий транспортировки груза является актуальным в настоящее время.

1.2 Анализ научных исследований по оценке эффективности использования технических средств в сельскохозяйственном производстве

Практический опыт использования транспортных средств и результаты анализа ряда научных работ показали, что серийные транспортные средства, применяемые для перевозки грузов сельскохозяйственного назначения, обладают рядом недостатков. Можно отметить следующие из них: низкая степень использования грузоподъемности при перевозках грузов с малой объемной массой, например, соломы, сена, органических удобрений в сухом состоянии и других грузов; низкая сменная производительность из-за значительных потерь времени смены на простои на загрузку кузова грузом, например, зерном из бункера зерноуборочного комбайна и его разгрузку на току хозяйства или на элеваторе; тесная технологическая связь транспортного средства с техническим средством, осуществляющим сельскохозяйственную операцию, например, скашивание сена кормоуборочным комбайном с погрузкой в трак-

торную тележку; значительное расстояние перевозки груза от места погрузки до места разгрузки. При этом потери времени смены могут быть весьма значительны, что ведет не только к снижению производительности транспортных средств, но и к нарушению агротехнических требований по срокам на выполнение технологической операции и снижению качества ряда грузов, например, корма.

До настоящего времени актуальной проблемой остается правильный подбор максимально эффективного транспортного средства из совокупности средств, которое имеет возможность выполнять заданную операцию и способно отвечать требованиям лица, принимающего решение.

Решение указанной проблемы может быть на основе использования одного или нескольких частных показателей эффективности, объединенных математической моделью в критерий эффективности.

Эффективность использования технических средств, в том числе и транспорта, применяемого в сельскохозяйственном производстве, определяется, прежде всего, частными показателями [45].

Частными показателями, которыми оценивается эффективность использования грузового транспорта на перевозках сельскохозяйственных грузов, могут быть экономическими, техническими, технологическими и другими. Результаты оценки основных эксплуатационных показателей позволят определить значения выбранного критерия эффективности, например, для каждого из нескольких возможных для выполнения данной транспортной операции технических средств, по которым выбирается лучшее, с точки зрения лица принимающего решение, транспортное средство.

Многие как «отечественные, так и зарубежные исследователи в своих работах до настоящего времени используют для выбора эффективных технологий и машин достаточно простые показатели, которые связаны с эксплуатацией машин, например, производительность, некоторые показатели безотказности и долговечности машин, коэффициент использования времени смены и др.»[51].

Так, авторы работы [82] по оценке производительности тракторных транспортных средств на перевозке грубых кормов $Q_{\text{ч}}$ учитывали основные факторы, влияющие на производительность: коэффициент γ использования номинальной грузоподъемности $q_{\text{н}}$ (т), длину ездки с грузом – S_{Γ} (км) с учетом коэффициента использования пробега – β , техническую скорость движения – V_{T} (км/ч) и затраты времени на погрузочные и разгрузочные операции – $t_{\text{ПР}}$ (ч):

$$Q_{\text{ч}} = \frac{\gamma q_{\text{н}}}{S_{\Gamma}/(\beta V_{\text{T}}) + t_{\text{ПР}}}. \quad (1.1)$$

При этом авторы статьи отмечают, что существенно на величину производительности тракторных транспортных средств влияет длительность их простоев при выполнении технологической операции и выбор транспортного средства зависит от его грузоподъемности и расстояния перевозки груза.

До настоящего времени широко используется при выборе максимально эффективного транспортного средства экономический показатель – минимум себестоимости. Этот показатель учитывает заработную плату обслуживающего персонала $C_{\text{З.пл.}}$, отчисления денежных средств на амортизацию $C_{\text{АМ.}}$, «расходы на ремонт, техническое обслуживание и хранения транспортных средств $C_{\text{Р.то}}$, затраты денежных средств на топливо-смазочные материалы (ТСМ) и технические жидкости $C_{\text{ТСМ}}$ и затраты на вспомогательные работы (заправку топливом,»[100] доставку ТСМ и др. работы) $C_{\text{всп.}}$:

$$C = C_{\text{З.пл.}} + C_{\text{АМ.}} + C_{\text{Р.то}} + C_{\text{ТСМ}} + C_{\text{всп.}}. \quad (1.2)$$

При выборе эффективного технического средства для выполнения заданной технологической операции применяется также функция цели, которая определяет минимум энергонасыщенности N_m (кВт) технических средств, число которых для обеспечения функционирования технологического процесса равно n_m (ед.) [47]:

$$\Sigma(n_m \cdot N_m) \rightarrow \min. \quad (1.3)$$

Принцип минимизации энергонасыщенности технических средств качественно реализуется при возможной замене одной группы машин на другую с совершенно новыми системными характеристиками.

Эффективность функционирования группы машин при выполнении транспортной операции можно оценивать также по степени ее адаптации (приспособленности) к выполнению операции в конкретных природно-климатических или хозяйственных условиях. При этом считается, что более адаптивная система в равноценных условиях выполнит большую полезную работу, которая оценивается энергетическим КПД $K_{эн}$. [47].

В работе [35] предложен коэффициент для оценки эффективности использования автотранспорта:

$$E = \frac{M_{гр} V_{ср}}{q}, \quad (1.4)$$

где $M_{гр}$ – масса груза, перевозимого транспортным средством, кг;

$V_{ср}$ – средняя техническая скорость автотранспортного средства, км/ч;

q – эксплуатационный расход топлива в среднем на 100 км пробега, л/100 км.

Важнейшим наследием для настоящих и будущих исследователей технических систем, как мы считаем, является теория эффективности технических средств, обобщенная в работе [45], в соответствии с которой эффективность использования, в том числе и грузового транспорта, следует оценивать степенью соответствия реального результата выполнения данной операции $y(u)$ требуемому результату $y_{тр}$.

Формально этот процесс описывается числовой функцией ρ соответствия результату совокупности операций:

$$\rho = \rho[y(u), y_{тр}]. \quad (1.5)$$

В данном случае $y(u)$ – случайная функция, так как эффективность транспортировки рулонов сена может оцениваться совокупностью несколь-

ких эксплуатационных показателей, каждый из которых зависит от множества факторов, носящих случайный характер.

Тогда, показателем эффективности может являться математическое ожидание функции (1.5) [69]:

$$P_{\varphi}(u) = m[\rho[y(u), y_{mp}]]. \quad (1.6)$$

Следует отметить, что при выборе показателя эффективности достаточно часто возникает неопределенная ситуация. В этом случае используется одна из «концепций рационального поведения системы (выработки решений): пригодности, оптимизации, адаптивизации»[45].

«В соответствии с концепцией пригодности любое решение будет рациональным, если значение выбранного показателя эффективности будет не ниже требуемого уровня W_{tr} , т.е.

$$W(u) \geq W_{tr}, \quad u \in U, \quad (1.7)$$

где U – множество возможных решений.

В соответствии с концепцией оптимизации рациональным решением будет такое, при котором обеспечивается максимальный эффект

$$W(u^*) = \max W(u), \quad u \in U. \quad (1.8)$$

По концепции адаптивизации имеется возможность оперативно реагировать на текущую или прогнозную информацию для достижения заданного результата при изменяющихся условиях рассматриваемой операции.

По концепции адаптивизации лучшим считается результат $u(t)$ из множества $U(t, \tau)$. При этом выполняется условие:

$$W(u^*(t), \tau) \geq W_{tr}(u(t), \tau), \quad u(t) \in U(t, \tau), \quad (1.9)$$

где t – время, τ – упреждение прогноза.»[100].

«В данной работе наиболее приемлема концепция пригодности, по которой «для каждого частного показателя определялось отношение фактического его значения W_{μ} к тому значению, который выбран лицом принимающим решение за требуемый W_{μ}^{mp} :

$$K_{\mu} = W_{\mu} / W_{\mu}^{mp} . \quad (1.10)$$

Для идеального случая все значения $W_{\mu} = W_{\mu}^{tp}$, т.е. $K_{\mu} = 1$.»[1].

Выбор максимально эффективного тракторного ТС, которое используется для транспортировки рулонов сена, можно выполнить с применением комплексного критерия эффективности. Математические зависимости комплексного критерия для оценки эффективности использования различных технических средств могут быть представлены в различном виде в связи с включением в него различных частных показателей. Так, например, в докторских диссертациях Ряднова А.И. (1995 г.) [63], Бердышева В.Е. (2014 г.) [5], Федоровой О.А. (2018 г.) [100] представленные комплексные критерии существенно отличаются.

Включение совокупности частных показателей в комплексный критерий эффективности использования транспортного средства с учетом важности каждого частного показателя осуществлено в работе [6]:

$$\varphi(W) = \frac{K_{\gamma}}{K_C K_{Tp} K_{Tr} K_M K_{\Pi}} , \quad (1.11)$$

где $K_{\gamma} = \alpha_{\gamma} \frac{\gamma}{\gamma_{TP}}$ - коэффициент, учитывающий степень использования грузоподъемности транспортного средства;

$K_C = \alpha_C \frac{C}{C_{TP}}$ - коэффициент, учитывающий себестоимость транспортных работ;

$K_{Tp} = \alpha_{Tp} \frac{T_{\Pi}}{T_{\Pi TP}}$ - коэффициент, учитывающий затраты труда при загрузке транспортного средства;

$K_{Tr} = \alpha_{Tr} \frac{T_r}{T_r TP}$ - коэффициент, учитывающий затраты труда при разгрузке транспортного средства;

$K_M = \alpha_M \frac{M}{M_{TP}}$ - коэффициент, учитывающий металлоемкость транспортного средства;

$K_{\Pi} = \alpha_{\Pi} \frac{\Pi}{\Pi_{TP}}$ - коэффициент, учитывающий потери транспортируемого груза.

Обзор научных исследований [27, 46, 57, 82, 111 и др.] показал, что важнейшими показателями использования грузового транспорта на перевозках рулонов сена, влияющими на значение его комплексного критерия эффективности, является их производительность, расход топлива, затраты труда и денежных средств. Важно, чтобы транспорт при уборке сельскохозяйственных культур не простаивал из-за отказов по техническим причинам, т.е. был надежен.

Таким образом, при выборе грузового транспорта применительно к перевозке рулонов сена из возможных вариантов необходимо использовать такой критерий эффективности, который учитывает важнейшие показатели использования транспортного средства, в частности, его производительность, расход топлива, затраты труда и денежных средств, а также уровень надежности.

1.3 Цель и задачи исследования

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.

2 ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАКТОРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА УБОРКЕ РУЛОНОВ СЕНА

2.1 Особенности конструкции разработанного погрузчика- транспортировщика рулонов сена

Анализу используемых в АПК технических средств по заготовке сена в рулонах, а также их совершенствованию и разработке новых, посвящены работы ученых Российской Федерации Афоничева Д.Н., Блынского Ю.Н., Бурьянова А.И., Бышова Н.В., Гуськова Ю.А., Колесникова Н.П., Кузнецова Е.Е., Кушнарева А.Н., Леонова В.В., Лимаренко Н.В., Маршанина Е.В., Орлянского А.В., Пасечного Н.И., Ряднова А.И., Самуйло В.В., Тихонкина И.В., Щитова С.В., Успенского И.А., Юхина И.А. [9, 10, 11, 15, 27, 34, 50, 51, 53, 56, 57, 68, 69, 84, 85, 88, 90, 92, 93, 109, 111, 112].

Велись и ведутся разработки технических средств для уборки рулонов сена в зарубежных фирмах VOLAG [123], PARMITER [120] ABT PRODUCTS [121], REKORD [124], GRAYS [122] и других.

Все новые разработки или усовершенствования технических средств для погрузки и транспортировки рулонов сена являются звеном в цепи конструктивных изменений, приводящих к улучшению технико-эксплуатационных показателей, повышению безопасности выполнения работ и других свойств.

В настоящей работе проведены исследования эффективности использования разработанного на базе серийного тракторного прицепа 2ПТС-4,5 [58] и погрузчика-транспортировщика рулонов сена-прототипа ПТРС-1 [89, 93] погрузчика-транспортировщика рулонов сена ПТРС-2 [90].

Разработанный погрузчик-транспортировщик рулонов сена ПТРС-2 позволяет осуществлять погрузку рулонов сена в два яруса с применением автоматической системы «включения грузоподъемного механизма для подь-

ема дополнительной платформы в верхний ярус при ее заполнении рулонами сена на нижнем ярусе»[97], а также их транспортировку и выгрузку.

«Основными конструктивными элементами рассматриваемого в настоящей работе технического средства (рис.2.1 - рис.2.5) являются: энергетическое средство 1, шасси 2, соединенное с энергетическим средством с помощью прицепа 3, основная 4 и дополнительная 5 платформы, погрузчик 6, прижим рулона 7, тросовый грузоподъемный механизм, гидросистема, система автоматического управления грузоподъемным механизмом подъема дополнительной платформы 5 из нижнего яруса в верхний.

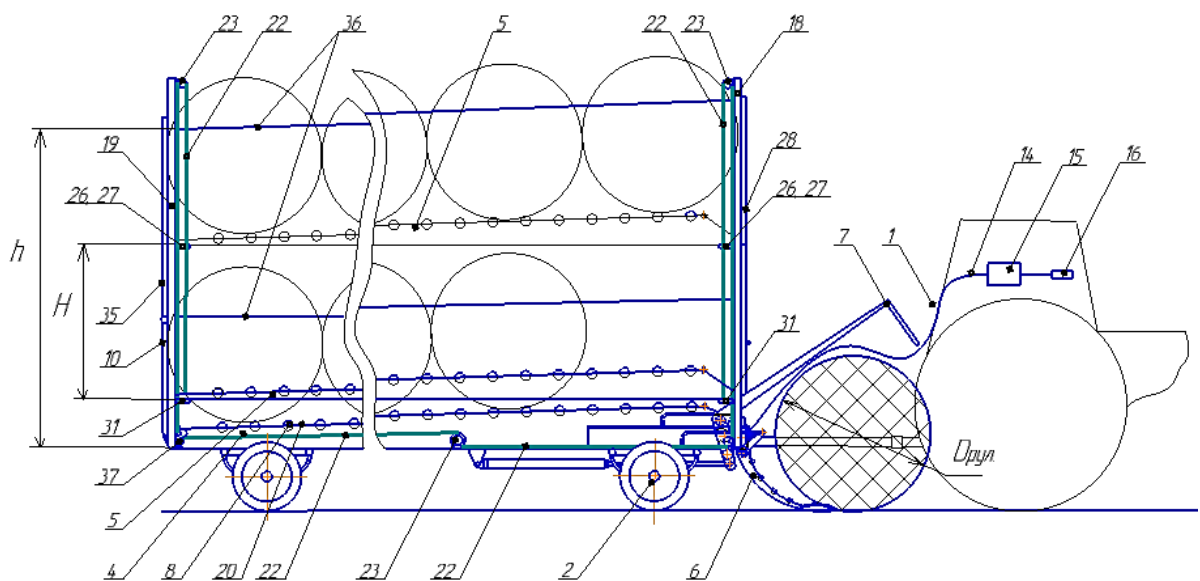


Рисунок 2.1 – Схема разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена ПТРС-2 (вид сбоку)

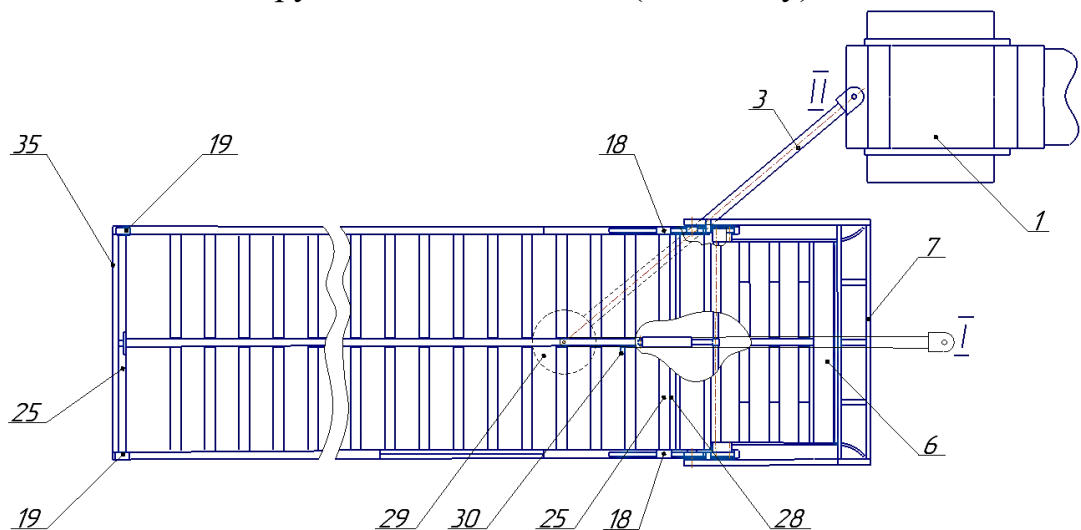


Рисунок 2.2 – Схема разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена ПТРС-2 (вид сверху)



Рисунок 2.3 – Фотография разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена ПТРС-2

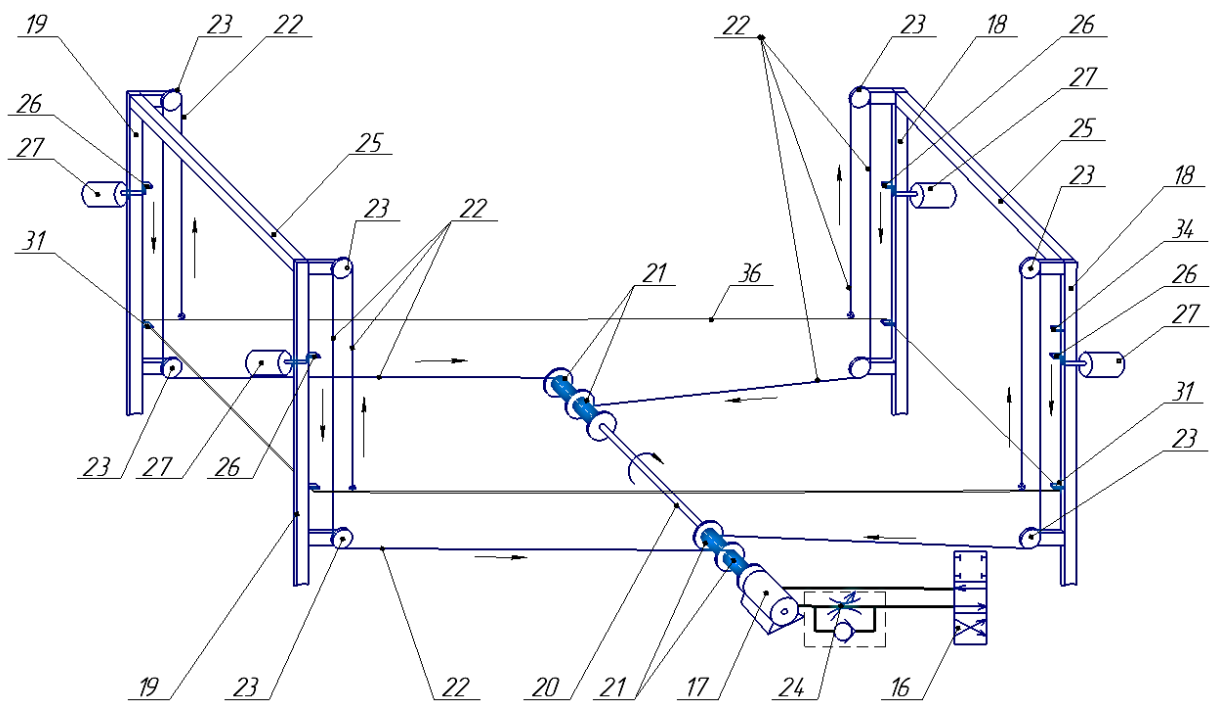


Рисунок 2.4 – Схема тросового грузоподъемного механизма

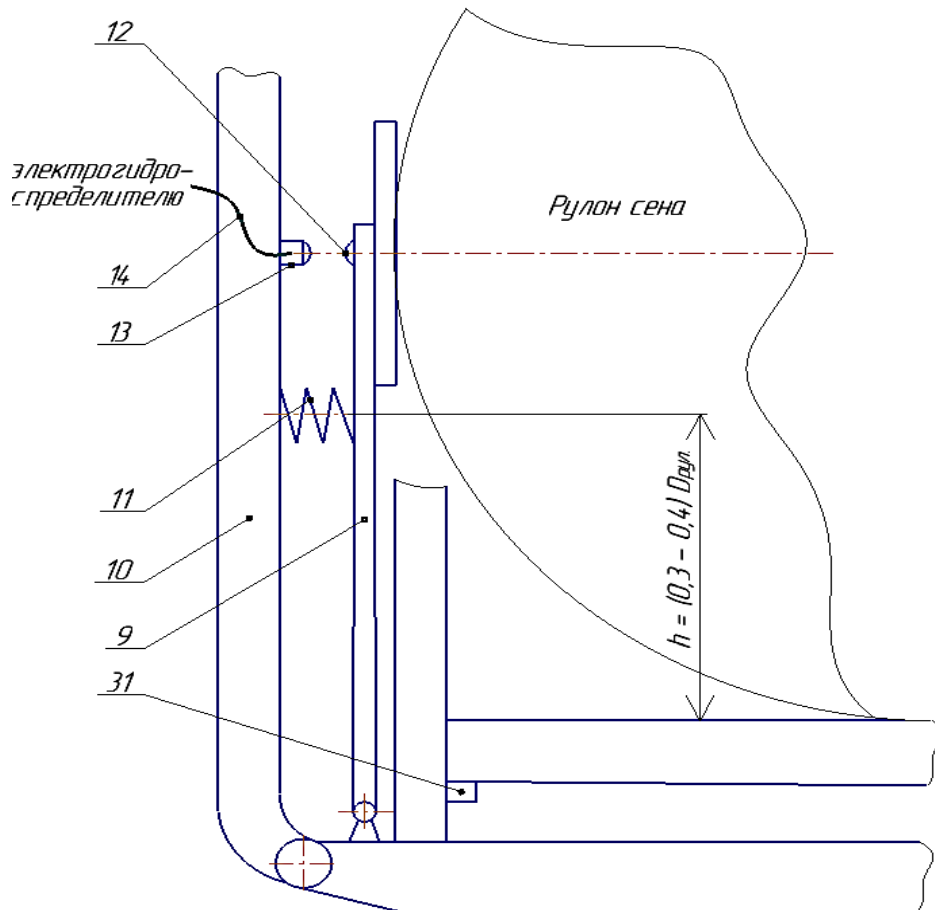


Рисунок 2.5 – Схема датчика заполнения платформы рулонами сена

В качестве энергетического средства 1 может быть использован, например, трактор класса 1,4, а в качестве шасси – переоборудованный тракторный самосвальный прицеп 2ПТС-4,5.

Обе платформы установлены с наклоном назад по роликам 8, которые размещены на платформах. Рулоны сена после их подачи погрузчиком 6 имеют возможность перекачивания по роликам 8 платформы до упора в пластину рычага 9, установленного вертикально у заднего борта 10. Между рычагом 9 и задним бортом 10 смонтирован упругий элемент 11, например, пневматическое устройство или набор пружин. При определенном сжатии упругого элемента 11 упор 12 воздействует на концевой датчик 13, связанный с помощью электрической цепи 14 с блоком управления 15 электрогидрораспределителя 16. Электрогидрораспределитель 16 управляет гидромотором 17 тросового грузоподъемного механизма.»[97]. Кон-

цевой датчик 13 срабатывает при воздействии на него упора 12 в течение не менее 5 с. Такая регулировка необходима для исключения ложного срабатывания механизма подъема дополнительной платформы при возможном ударе скатывающегося по роликам рулона по рычагу 9.

«Дополнительная платформа 5 имеет возможность перемещаться плоскопараллельно от основной платформы 4 вверх по передним 18 и задним 19 стойкам на высоту, определяемую диаметром рулонов сена $D_{рул.}$, с помощью тросового грузоподъемного механизма, в состав которого включены гидромотор 17, вал 20, барабаны 21, трос 22, ролики 23 и механизм торможения 24.

На передних 18 задних 19 стойках, соединенных между собой поперечными балками 25, смонтированы фиксаторы 26, управление которыми осуществляется электромагнитами 27. Над электромагнитами 27 установлен ограничительный щит 28.»[97].

Рассматриваемая в настоящей работе конструкция транспортного средства оборудована автоматической системой обнаружения рулонов сена на поле, а также тремя взаимосвязанными подсистемами: захвата рулонов сена с их погрузкой на транспортное средство, подъема и опускания дополнительной платформы (второго яруса) и выгрузки рулонов сена на площадку с основной и дополнительной платформ.

Кроме того, погрузчик-транспортировщик рулонов сена ПТРС-2 оснащен активной системой безопасности, которая, в случае обнаружения в рабочей зоне каких-либо помех, подает звуковой сигнал механизатору, после чего он принимает необходимые меры для предотвращения столкновения с помехой.

«Транспортное средство работает следующим образом.

До начала полевых работ проводятся подготовительные операции: прицеп 3 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.

Транспортное средство после заезда на поле готово к подбору рулонов сена.»[97]. При этом выбор необходимой траектории движения ТТС к рулону сена осуществляет оператор (механизатор), ориентируясь по изображению на мониторе, установленному в кабине трактора. Изображение рулонов сена на монитор передает видеокамера, смонтированная на погрузочном оборудовании. Видеокамера имеет разметку для упрощения корректировки траектории движения ТТС при захвате рулона сена погрузчиком.

Далее вступает в работу первая подсистема – подсистема захвата рулонов сена с их погрузкой на транспортное средство, алгоритм функционирования которой представлен на рис. 2.6 [78].

Когда агрегат приближается на заданном расстоянии к рулону сена, автоматическая система подает сигнал на «переключение гидрораспределителя 16 в положение, соответствующее опусканию погрузчика 6 до касания его с поверхностью поля, проводится корректировка направление 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.»[97].

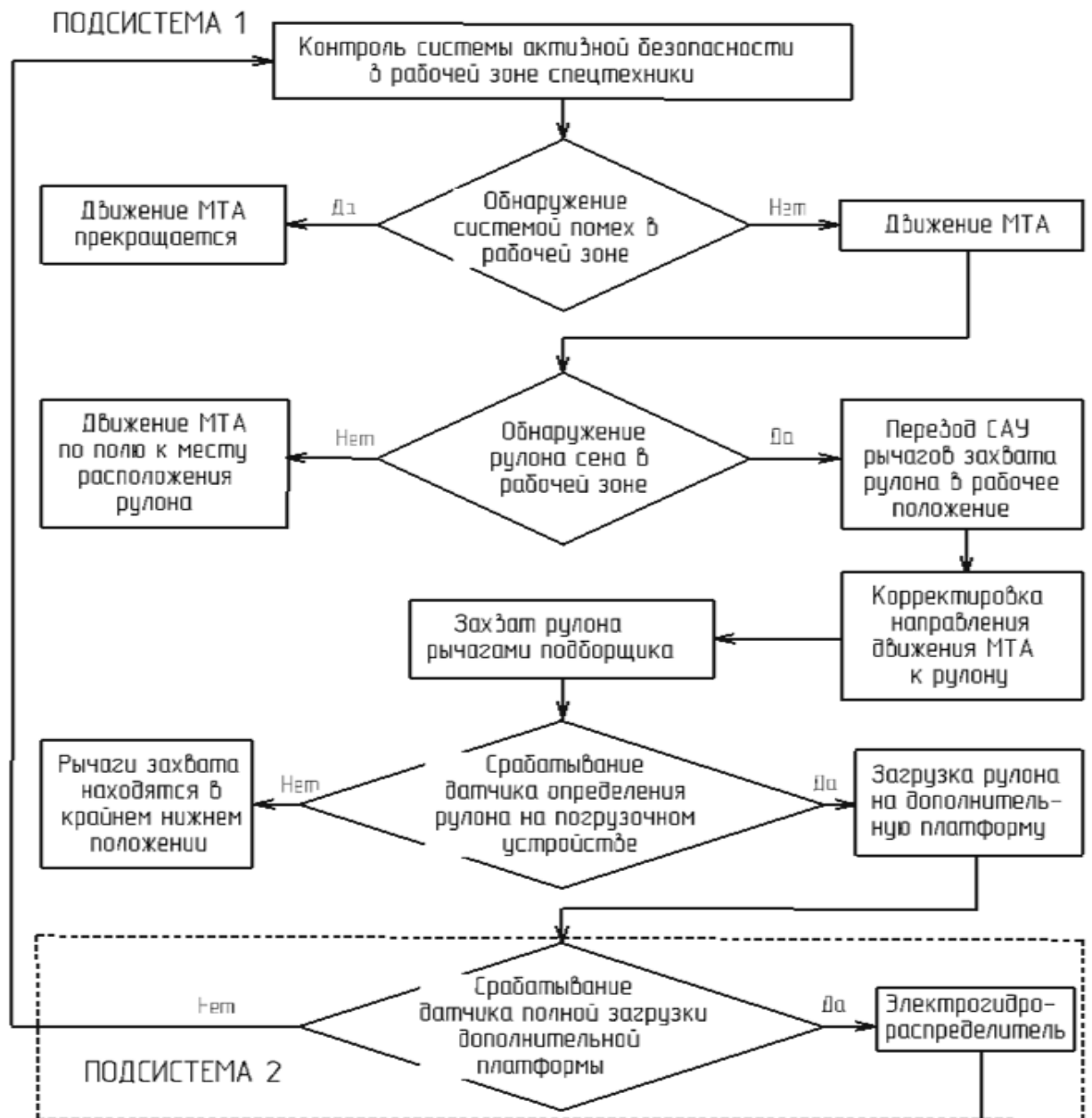


Рисунок 2.6 – Алгоритм функционирования подсистемы захвата рулонов сена с их погрузкой на транспортное средство

«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 первые загруженные на платформу рулоны не скатываются вперед при движении транспортного средства по полю.»[97].

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

Далее вступает в работу вторая подсистема, алгоритм функционирования которой представлен на рис. 2.7.

«При контакте упора 12 рычага 9 с концевым датчиком 13 подается электрический сигнал к электрогидрораспределителю 16, который включает гидромотор 17 тросового грузоподъемного механизма.

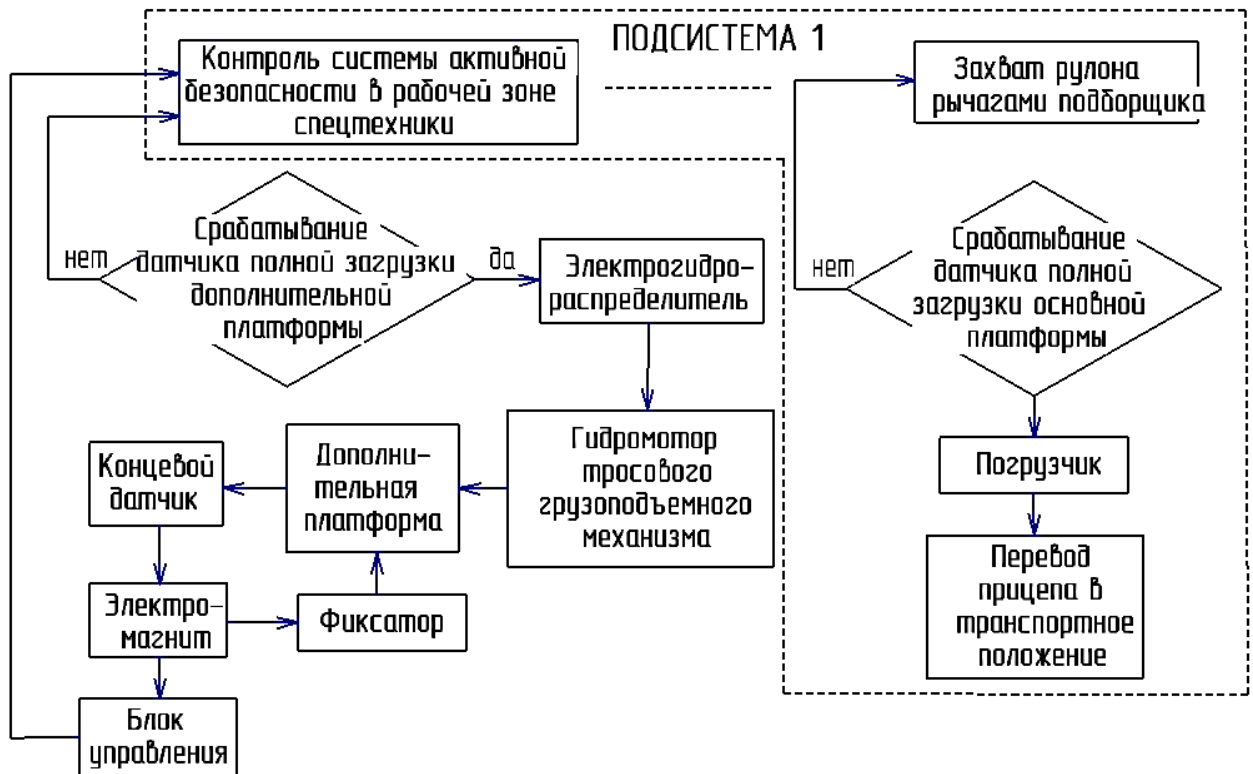


Рисунок 2.7 – Алгоритм функционирования подсистемы подъема и опускания дополнительной платформы

Полностью загруженная рулонами сена дополнительная платформа 5 поднимается на высоту расположения концевого выключателя 34. Высота установки концевого датчика 34 определяется по формуле:

$$H = (1,1 - 1,2) D_{рул}. \quad (2.1)$$

Превышение высоты установки концевого датчика среднего диаметра рулона сена на $(10 - 20)\% D_{рул}$ связано с возможными колебаниями $D_{рул}$.

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. Погрузчик-транспортировщик рулонов сена ПТРС-2 перемещается энергетическим средством к месту складирования рулонов.

На площадке складирования рулонов сена вступает в работу третья подсистема, алгоритм функционирования которой представлен на рис. 2.8.

При этом 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.

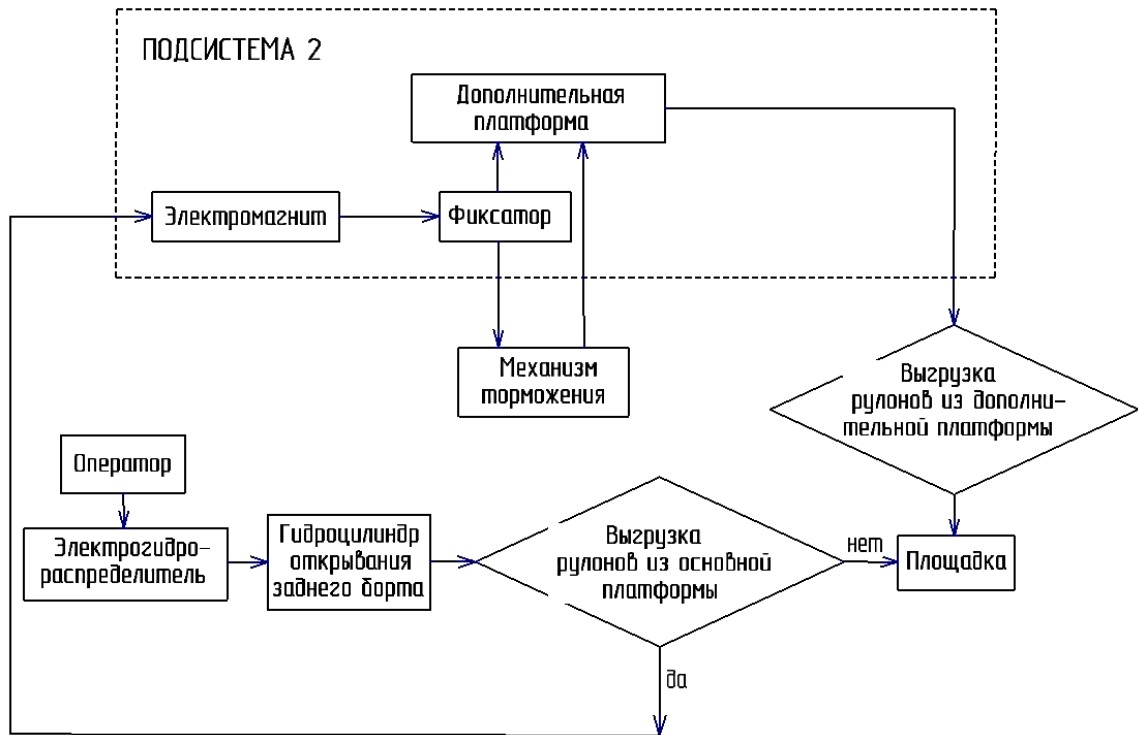


Рисунок 2.8 – Алгоритм функционирования подсистемы выгрузки рулонов сена на площадку с основной и дополнительной платформ

Внедрение систем автоматизации способствует не только снижению трудозатрат механизатора, но и повышению уровня комфорта условий труда.

Эффективная работа разработанного тракторного транспортного средства»[97] (ПТРС-2) возможна при обоснованных значениях его конструкторских параметров.

На первом этапе выберем некоторые параметры конструкции ПТРС-2, которые оказывают наибольшее влияние на его эксплуатационные показатели.

Платформы ПТРС-2 могут заполняться рулонами сена, сформированными разными марками пресс-подборщиков. При этом, рулоны от разных пресс-подборщиков отличаются как геометрическими размерами, так и массой, зависящей от ряда факторов, например, объема рулона, плотности его прессования, прессуемой культуры. В связи с этим, параметры конструкции ПТРС-2 должны удовлетворять характеристикам рулонов сена от наиболее

распространенных пресс-подборщиков в данном регионе или даже в конкретном сельскохозяйственном предприятии.

Разработанное ПТРС-2 оборудовано, в частности, автоматической системой заполнения обеих платформ рулонами сена, от функционирования которой зависят такие показатели, как продолжительность заполнения каждой платформы, скорость подъема и опускания дополнительной платформы, степень заполнения рулонами платформы и ряд других.

Выберем в настоящей работе те конструктивные показатели, от которых зависит степень заполнения рулонами платформ.

Поскольку как на основную, так и на дополнительную платформы укладываются рулоны сена, сформированные пресс-подборщиками, используемыми в сельскохозяйственных предприятиях, в которых проводились экспериментальные исследования, только в один ряд, то вероятность заполнения целым количеством рулонов сена платформ будем оценивать коэффициентом использования конструктивной длины платформы:

$$K_{и.д.} = \frac{N_p D_{рул}}{L_k}, \quad (2.2)$$

где N_p – количество рулонов сена на платформе в один ряд, шт;

$D_{рул}$ – среднестатистический диаметр рулона от заданного пресс-подборщика, м;

L_k – конструктивная длина платформы, м.

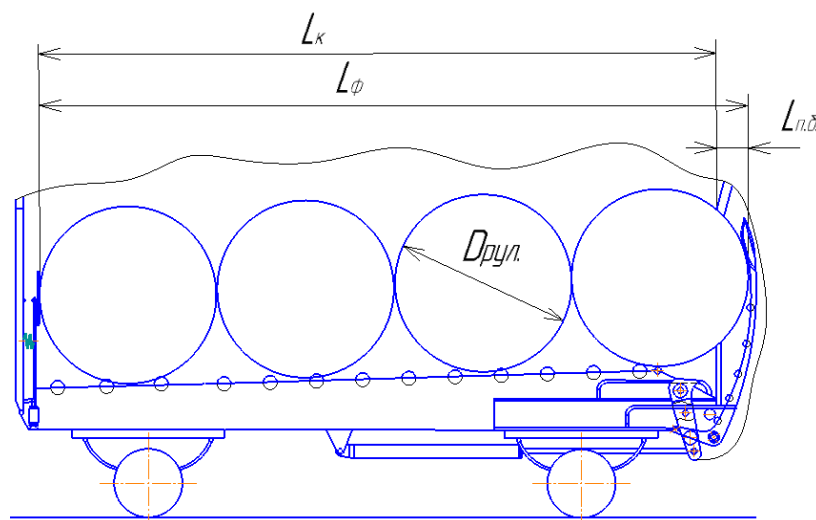


Рисунок 2.9 – Схема к определению фактической длины платформы

Конструктивная длина основной платформы тракторного прицепа 2ПТС-4,5 равна $L_{к1} = 4,08$ м [58]. Такая длина не позволяет загружать в один ряд 4 рулона сена.

В ПТРС-2, разработанном на базе тракторного прицепа 2ПТС-4,5, фактическая длина основной платформы может изменяться в зависимости от перевозимых рулонов сена:

$$L_{ф1} = L_{к1} + L_{н.б.}, \quad (2.3)$$

где $L_{н.б.}$ – расстояние по горизонтали от внутренней части переднего борта основной платформы до точки касания погрузочным устройством рулона сена, м.

Для разработанного ПТРС-2 с учетом возможного удержания последнего загружаемого в один ряд рулона погрузочным устройством $L_{н.б.}$ может изменяться от 0 до 1,1 м.

Так, при транспортировке рулонов сена от пресс-подборщика ПР-Ф-110 ($D_{max1} = 1,15$ м) $L_{ф} = 4,60$ м, а от ППР-120 ($D_{max2} = 1,25$ м) $L_{ф} = 5,00$ м. Данная фактическая длина основной платформы связана с возможностью загружать на платформу в один ряд 4 рулона сена с возможно максимальным их диаметром, что позволит в большей степени использовать номинальную грузоподъемность ТТС.

Конструктивная длина дополнительной платформы $L_{к2}$ для загрузки в один ряд 4 рулонов сена должна равняться фактической длине основной платформы $L_{ф1}$.

В этом случае, для транспортировки на одной платформе 4 рулонов сена от ПР-Ф-110 конструктивная длина дополнительной платформы должна быть $L_{к1} = 4,60$ м, а от ППР-120 – $L_{к2} = 5,00$ м.

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

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости введения в конструкции основной и дополнительной платформ устройства регулирования их конструктивной длины в зависимости от рулонов сена, убираемых с поля.

Конструкция ПТРС-2 должна быть изготовлена так, чтобы при погрузке рулонов сена на платформу они должны скатываться по роликам к заднему борту. Такое требование необходимо выполнять, иначе при опускании погрузчика за захватом следующего рулона, рулон, находящийся на платформе, может скатиться вперед и оказаться на поле. Для исключения такого случая наклон платформы должен быть выбран с учетом уклонов поля.

В связи с этим, следует выбрать необходимый угол наклона платформы α :

$$\alpha = \alpha_{\text{пл}} + \alpha_{\text{ук.п.}}, \quad (2.4)$$

где $\alpha_{\text{пл}}$ – уклон пола платформы, град.;

$\alpha_{\text{ук.п.}}$ – уклон поля, град.

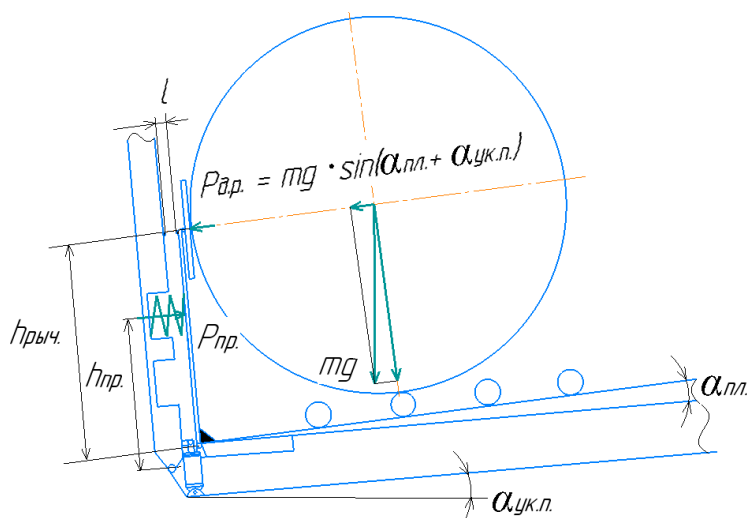


Рисунок 2.10 – Схема к выбору конструктивных параметров ПТРС-2

В научной работе [12] отмечается, что в условиях Центральной Черноземной зоны РФ имеются поля с особо опасными уклонами (до 10°). Однако ГОСТом [23] установлен допустимый уклон, при котором транспортное средство должно сохранять устойчивость в любом направлении на твердой

почве, равный $8,5^\circ$. Этот факт следует учитывать при усовершенствовании конструкции ПТРС-2. Кроме того, предварительные исследования показали, что рулоны сена с влажностью не более 25% и плотностью прессования (120 – 200) кг/м² хорошо скатываются по роликам платформы уже при ее уклоне 3° .

Максимальное значение угла наклона платформы α определяется при движении ПТРС-2 под уклон особо опасный для условий Центральной Черноземной зоны РФ, равный 10° с учетом возможного перемещения рулона сена по роликам платформы в направлении заднего борта.

Таким образом, 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 $\alpha_{\text{ук.п.}} = 10^\circ$. Данные о желательном поддержании угла наклона платформы в заданных пределах свидетельствует о необходимости в разработке автоматической системы регулирования наклона платформы в зависимости от изменения уклона поля.

Конструкция ПТРС-2 предусматривает также включение концевого датчика управления электрогидрораспределителем подъема дополнительной платформы с рулонами сена после воздействия на последний рулон сена, загружаемый на платформу, погрузчиком погрузочного устройства с определенным усилием $P_{\text{ног}}$. Но при этом следует отметить, что на рычаг 9 с упором 12 (рис. 2.5) действуют с одной стороны рычага сила давления рулонов при их скатывании в сторону заднего борта $P_{\text{д.р.}}$ и с другой – сила упругости пружины $P_{\text{пр}}$. Моменты от этих сил должны быть равными, что в процессе погрузки рулонов сена на платформу обеспечит положение рычага 9 с упором 12, перпендикулярное полу платформы.

Момент от силы давления рулонов сена на рычаг

$$M_{\text{д.р.}} = P_{\text{д.р.}} \cdot h_{\text{рыч.}}, \quad (2.5)$$

где $P_{\text{д.р.}}$ – сила от давления рулонов сена, находящихся на платформе на рычаг, Н;

$h_{\text{рыч.}}$ – высота рычага, м.

$P_{\partial.p}$ определяется массой всех рулонов сена m , находящихся на платформе, и угла, равного сумме углов уклона поля $\alpha_{ук.п.}$ и уклона пола платформы $\alpha_{пл}$ (рис. 2.10):

$$P_{\partial.p.} = mgsin(\alpha_{пл} + \alpha_{ук.п.}). \quad (2.6)$$

Момент от силы упругости пружины $P_{np.}$ определяется коэффициентом жесткости пружины k_n , ее деформации Δl и расстояния, на котором находится продольная ось пружины от оси поворота заднего борта $h_{np.}$:

$$M_{уп.п.} = k_n \Delta l h_{np.} \quad (2.7)$$

Из условия равенства моментов $M_{\partial.p.}$ и $M_{уп.п.}$ получим:

$$h_{пр.} = \frac{mgsin(\alpha_{пл} + \alpha_{ук.п.})h_{рыч.}}{k_n \Delta l}. \quad (2.8)$$

При изготовлении ПТРС-2 выбрана пружина 1086-1041 [19], наружный диаметр которой $D_0 = 45$ мм, высота в свободном состоянии $H_0 = 271,7$ мм, коэффициент жесткости $k_n = 21,88$ Н/мм.

По зависимости (2.8) рассчитано максимальное значения h_{np} при условии выполнения равенства (2.7) и выбранных значениях угла наклона платформы α .

При $\alpha_{\max} = 13^\circ$ и $h_{рыч} = 0,6$ м $h_{np} = 0,49$ м.

Следует также учитывать, что высота подъема дополнительной платформы H должна рассчитываться с учетом габаритных размеров транспортируемых рулонов сена, сформированных пресс-подборщиками, которые используются в данном сельскохозяйственном предприятии. Кроме того, скорость подъема дополнительной платформы $V_{под.}$ после загрузки ее рулонами сена следует определять в зависимости от максимально используемой скорости движения по полю ПТРС-2 при подборе рулонов $V_{ТТС}$ и минимально возможного расстояния между рулонами на поле $L_{p.н.}$, т.е. должно выполняться следующее условие:

$$\frac{L_{р.п.}}{V_{ТТС}} > \frac{H}{V_{под.}}. \quad (2.9)$$

Таким образом, обоснованы некоторые конструктивные параметры разработанного ПТРС-2 и рекомендации по дальнейшему усовершенствованию ее конструкции.

Важным показателем разработанного ПТРС-2 является его устойчивость на косогорах.

Определим предельный угол уклона поля или дороги при перемещении ПТРС-2 до момента начала его опрокидывания.

Рассмотрим два направления движения ПТРС-2: первое – поперек склона поля или дороги (рис.2.11) и второе – вверх по склону (рис. 2.14).

Определим допустимый угол уклона поля или дороги, при котором в первом случае не начнется опрокидывание ПТРС-2 в поперечном к склону направлении, а во втором случае – не будет отрыв передних колес ПТРС-2 от опорной поверхности поля или дороги. В обоих случаях допустимый угол уклона поля или дороги определялся для наиболее критических вариантов.

Критическим вариантом начала опрокидывания ПТРС-2 в поперечном к склону поля направлении является случай, при котором «дополнительная платформа (верхний ярус) ПТРС-2 загружена полностью четырьмя рулонами сена, сформированными пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», агрегат движется по уклону поля с определенной скоростью V и при этом в связи со сжатием шин колес и рессор ПТРС-2, расположенных ниже по уклону поля (дороги), ПТРС-2 будет наклоняться в сторону уклона на угол χ , который больше, чем угол уклона поля (дороги) β , на величину γ . Кроме того, трактор, являющийся энергетическим средством ПТРС-2, перемещается параллельно транспортировщику, ниже по уклону. В этом случае одна из составляющих тягового усилия трактора – $P_{\text{тяг}}$, направленная вниз по уклону, увеличивает угол γ , снижая тем самым устойчивость ПТРС-2. Этот случай можно назвать наиболее вероятным для опрокидывания ПТРС-2 при определенном критическом угле β .»[73].

Составляющая тягового усилия трактора, направленная вниз по уклону:

$$P_{\text{тяг}} = P_{\text{тяг1}} \operatorname{tg} \varepsilon = f \cdot G_{\text{ТС}} \operatorname{tg} \varepsilon, \quad (2.10)$$

где ε – угол между направлением движения ПТРС-2 и тягой, соединяющей трактор с ПТРС-2; $f = 0,1$ – коэффициент сопротивления перекатывания ПТРС-2 по стерне поля.

По формуле (2.10) определим: $P_{\text{тяг}} = 0,1 \cdot 24727 \cdot 0,577 = 1426,7 \text{ Н}$.

С учетом данного значения $P_{\text{тяг}}$ определялся угол уклона платформы относительно основания поля (дороги) – γ .

На рис.2.11 представлена схема сил, действующих на ПТРС-2 при его движении поперек склона.

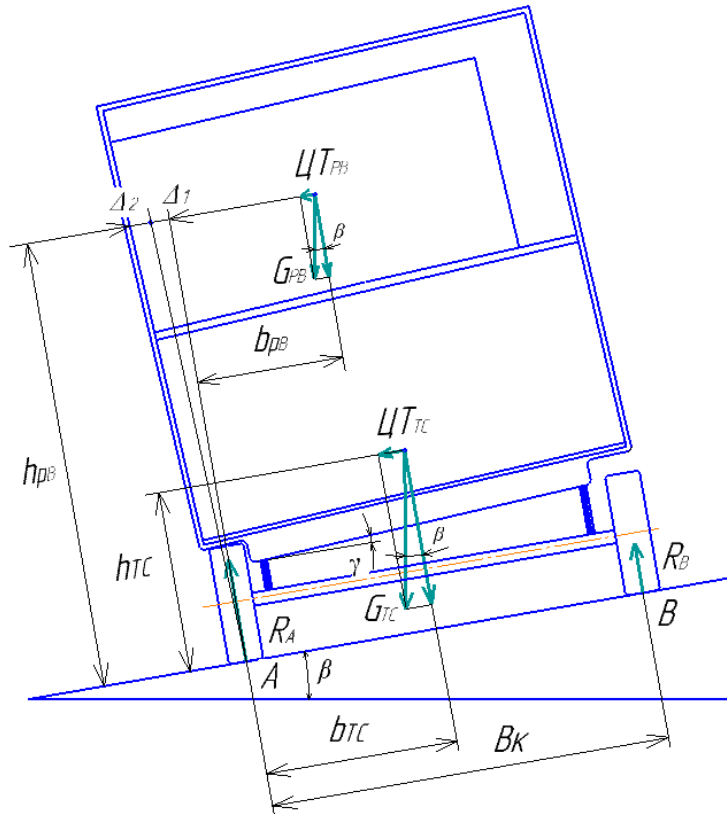


Рисунок 2.11 – Схема сил, действующих на ПТРС-2 при его движении в поперечном к склону направлении

В соответствии с рисунком 2.11 начало опрокидывания ПТРС-2 наступит в том случае, если верхние, по отношению к основанию уклона, колёса начнут отрываться от основания, т.е. когда $R_B = 0$.

«Определим зависимость реакции R_B от конструктивных параметров ПТРС-2:

$$R_B = [(G_{TC} h_{TC} + G_{PB} h_{PB}) \sin \beta - (G_{TC} b_{TC} + G_{PB} b_{PB}) \cos \beta] / B_K. \quad (2.11)$$

где G_{PB} – сила тяжести рулонов сена, загруженных на дополнительную платформу, кН; h_{PB} – высота расположения центров тяжести рулонов сена на дополнительной платформе, м; b_{PB} – расстояния в горизонтальном направлении от центра тяжести рулонов сена до точки касания центра опоры нижних колес 2ПТС-4 площадки, м; $P_{тяг}$ – составляющая тягового усилия трактора, направленная вниз по уклону, Н; $h_{тяг}$ – высота точки крепления прицепа на ПТРС-2; γ – угол наклона ПТРС-2 относительно поверхности поля или дороги, град.

Учтем условие начала отрыва верхних, по отношению к основанию уклона, колёс ПТРС-2 от поверхности поля (дороги): $R_B = 0$. В этом случае из зависимости (2.11) получим:

$$(G_{TC} h_{TC} + G_{PB} h_{PB}) \sin \beta - (G_{TC} b_{TC} + G_{PB} b_{PB}) \cos \beta = 0. \quad (2.12)$$

Из выражения (2.12) определим предельный угол уклона поля для перемещения ПТРС-2 с полной загрузкой дополнительной платформы рулонами сена:

$$\beta = \arctg \frac{(G_{TC} b_{TC} + G_{PB} b_{PB})}{(G_{TC} h_{TC} + G_{PB} h_{PB})}. \quad (2.13)$$

Для расчета угла β необходимо знать значения показателей, входящих в зависимость (2.13). Значения ряда показателей даны выше. Сила тяжести от 4 рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», загруженных на верхний ярус, равна $G_{PB} = 9732$ Н (масса одного рулона сена $m_p = 248$ кг). Высота расположения центра тяжести рулонов сена верхнего яруса $h_{PB} = 3,03$ м.

Расстояние в направлении, параллельном основанию поверхности площадки, от центра тяжести рулонов сена верхнего яруса до точки касания центра опоры нижних колес 2ПТС-4 площадки определим по зависимости:

$$b_{PB} = \frac{L_P}{2} - \Delta_1 - \Delta_2 = \frac{L_P}{2} - h_{PB} \operatorname{tg} \gamma - \left(\frac{B_{\text{куз.}}}{2} - \frac{B_K}{2} \right), \quad (2.14)$$

где $L_P = 1,20$ м – длина рулона сена, $B_{\text{куз.}} = 2,22$ м – внутренняя ширина платформы ПТРС-2; $B_K = 1,8$ м – поперечная база 2ПТС-4,5.

Угол наклона ПТРС-2 относительно поверхности поля или дороги – γ выберем по экспериментальным данным.

Экспериментальные исследования проводились на участках дороги с уклоном 0° , 3° , 6° и 12° . Угол наклона кузова ПТРС-2 определялся специально подготовленным угломером, рис. 2.12, , который представлял собой отвес длиной 1 м, конец А шнура которого закреплялся на задний борт ПТРС-2 при его движении поперек уклона и на боковую стенку кузова – при движении в продольном направлении. На свободный конец В шнура закреплялся груз массой 0,15 кг. На задний борт и боковую стенку кузова ПТРС-2, под шнуром отвеса закреплялась шкала угломера таким образом, чтобы при уклоне участка, равным 0° , шнур отвеса совпадал бы с нулевым делением шкалы.

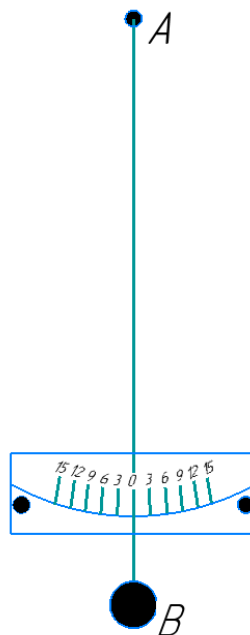


Рисунок 2.12 – Схема угломера

При движении ПТРС-2 по участку с уклоном шкала угломера поворачивалась в соответствующую сторону. При этом производилось фотографиро-

вание шкалы минимум 3 раза. Угол, зафиксированный угломером, равен углу наклона кузова ПТРС-2, т.е. сумме углов уклона участка и угла наклона кузова за счет сжатия шин колес и рессор, расположенных ближе к основанию уклона участка поля или дороги.

Таким образом, полученные результаты замеров углов наклона кузова ПТРС-2 на различных уклонах участков и скорости движения агрегата, учтены на рис. 2.13.

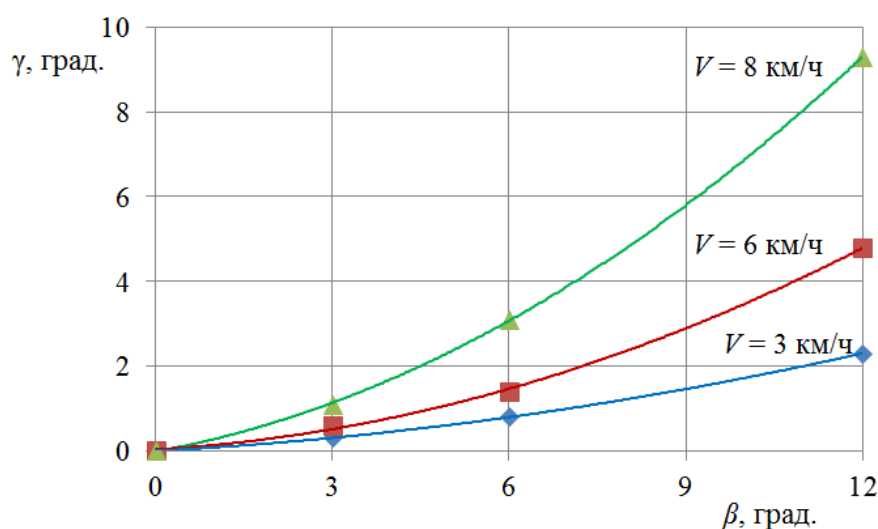


Рисунок 2.13 – Зависимость угла наклона кузова ПТРС-2 от угла уклона поля и скорости движения ПТРС-2

Исследования использования ПТРС-2 в реальных условиях показали, что среднестатистическая рабочая скорость на подборе рулонов сена $V = 6$ км/ч. Кроме того, в ГОСТ (ГОСТ Р ИСО 4254-1-2011 «Машины сельскохозяйственные. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования». М.: Стандартиформ. 2012. 32 с.) зафиксировано, что машины должны быть сконструированы таким образом, чтобы их устойчивость сохранялась при расположении на твердой почве с уклоном до $8,5^\circ$ в любом направлении. Исходя из отмеченного и экспериментальным данным, принимаем, что $\gamma = 3^\circ$.

$$\text{Тогда, } b_{\text{РВ}} = 0,6 - 3,03 \cdot \text{tg}3^\circ - (1,11 - 0,9) = 0,23 \text{ м.}$$

По зависимости (2.13) рассчитан допустимый для безопасного движения (с точки зрения опрокидывания ПТРС-2) угол уклона поверхности поля,

который равен $\beta = 22^\circ$, что соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 4254-1-2011.»[73].

«Рассмотрим второе направление движения ПТРС-2 – вверх по склону (рис. 2.14).

В этом направлении движения агрегата рассмотрим наиболее опасный случай, при котором дополнительная платформа ПТРС-2 загружена полностью четырьмя рулонами сена, сформированными пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», на основной платформе, у заднего борта размещен один рулон сена и связь трактора в шарнире крепления прицепа в какое-то мгновение потеряна.

На рис.2.14 представлена схема, действующих на ПТРС-2, при его движении вверх по склону.

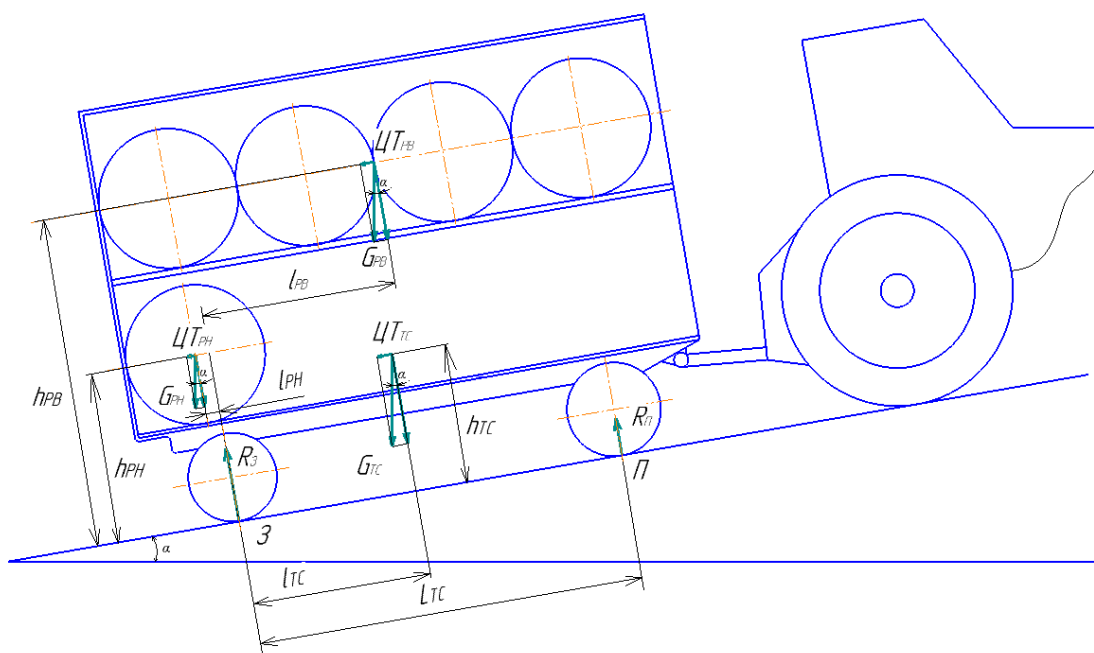


Рисунок 2.14 – Схема сил, действующих на ПТРС-2 при его движении в продольном к склону направлении

Начало отрыва передних колес (передние колеса обозначены буквой Π , а задние – $\mathcal{Z}$) ПТРС-2 сена наступит в том случае, если $R_{\Pi} = 0$.

В соответствии с рис.2.14 получим:

$$(G_{TC} h_{TC} + G_{PB} h_{PB} + G_{PH} h_{PH}) \sin \beta - (G_{TC} l_{TC} + G_{PB} l_{PB} - G_{PH} l_{PH}) \cos \beta = 0. \quad (2.15)$$

Из зависимости (2.15) получим:

$$\beta = \arctg \frac{G_{TC} l_{TC} + G_{PB} l_{PB} - G_{PH} l_{PH}}{G_{TC} h_{TC} + G_{PB} h_{PB} + G_{PH} h_{PH}}. \quad (2.16)$$

При $h_{TC} = 1,25$ м, $l_{TC} = 1,35$ м, $h_{PB} = 3,03$ м, $l_{PB} = 1,65$ м, $h_{PH} = 1,59$ м, $l_{PH} = 0,15$ м получим, что $\alpha = 37^\circ$.

Таким образом, предельный угол уклона поля или дороги при движении ПТРС-2 до момента начала его опрокидывания выше допустимого, установленного ГОСТом.» [73].

«Заготовка кормов в прессованном виде, тюках или рулонах, с применением высокопроизводительных, автоматизированных, комбинированных технических средств, созданных на основе современных технологий автоматизации, цифровизации и роботизации способствуют повышению экономической эффективности, ресурсосбережению и повышению производительности в агропромышленном комплексе»[97].

2.2 Выбор показателей использования транспортных средств, существенно влияющих на эффективность погрузочно-транспортных операций уборки сена в рулонах

Обзор научных публикаций по оценке результатов использования грузового транспорта, а также других машин и агрегатов, участвующих в уборке сена, спрессованного в рулоны, в хозяйствах различных регионов Российской Федерации, в том числе и Волгоградской области, показывает, что повышение эффективности транспортировки рулонов сена неразрывно связано с внедрением в производство:

- новых технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур и техники для реализации внедряемых технологий;
- новых материалов и комплектующих изделий при изготовлении узлов, механизмов и систем транспортных средств;

- методов научной организации использования транспорта, учитывающих организацию работы обслуживаемых технических средств;
- материального и морального стимулирования труда [115].

Кроме того, для решения проблемы повышения эффективности использования транспорта сельскохозяйственного назначения необходимо:

- обеспечение сельскохозяйственного производства требуемым количеством транспортных средств необходимой грузоподъемности;
- обеспечение ритмичной работы транспортных средств;
- планировать движение транспортных средств с минимальным их выездом на рабочие участки полей для снижения влияния ходовых систем на уплотнение почвы;
- своевременное и качественное выполнение всех плановых видов технического обслуживания [3];
- проведение, в случае необходимости, оперативного и высокотехнологичного ремонта;
- своевременное обеспечение в необходимом объеме качественным топливом и ТСМ;
- «выполнение работ по улучшению дорожных покрытий как грунтовых дорог и подъездных путей, так и дорог с твердым покрытием;
- выполнять мероприятия по снижению затрат труда, расхода топливосмазочных материалов и технических жидкостей»[51], используемых в системах грузового транспорта, повышению производительности и коэффициентов использования автотранспорта в хозяйстве;
- использование навигационных систем ГЛОНАСС, GPS и т.п., а также искусственной нейронной сети [14].

Для определения важнейших показателей использования грузовых транспортных средств были учтены рассмотренные выше положения, а также материал, представленный в работе [74], в которой рассматриваются вопросы «эксплуатации технических средств по загрузке рулонов сена на транспортное средство, а также условий их эксплуатации, позволяет выявить факторы,

влияющие на эффективность работы технических средств, в том числе и погрузчиков-транспортировщиков рулонов сена, оборудованных системами автоматического управления механизмами и устройствами.»[70].

При выборе показателей использования грузового транспорта сельскохозяйственного назначения необходимо учитывать также положения теории эксплуатации машинно-тракторных агрегатов, в которой рассматриваются следующие четыре группы показателей, характеризующие агротехнологические и энергетические, технико-эксплуатационные и технико-экономические, а также эстетико-эргономические свойства агрегатов [79].

К важнейшим показателям, применительно к использованию грузового транспорта, можно отнести из группы агротехнологических свойств – скорость движения; из группы энергетических – мощность двигателя энергетического средства; из группы технико-эксплуатационных свойств – производительность основного, технологического или сменного времени, коэффициенты использования времени смены и рабочих ходов, уровень показателей надежности, универсальность; из группы технико-экономических – затраты труда, денежных средств и расход топлива; из группы эстетико-эргономических свойств – обзорность рабочей зоны, безопасность использования.

При выборе важнейших показателей использования транспортного «средства были учтены положения научных работ, основанных на результатах исследований производительности и надежности, технологичности и качества выполненных работ, технологий уборки и особенностей эксплуатации [5, 42, 67, 68, 100, 107], а также теорий эффективности технических систем»[1], логики науки и методологии исследований. Кроме того, выбор важнейших показателей использования транспортных средств необходим для оценки эффективности их использования по комплексному критерию и невозможен без анализа факторов, от которых зависят эти показатели.

Из анализа научных статей удалось «выделить следующие группы факторов, влияющих на результаты использования автоматизированных транс-

портных средств погрузки и транспортировки сеносоломистых материалов в рулонах: технологические, конструктивные и эксплуатационно-экономические»[70] (рис. 2.15).

«К технологическим факторам можно отнести показатели качества выполняемых работ (возможные потери одного или нескольких рулонов сена во время транспортировки, повреждаемость обвязочного шпагата или пленки), среднюю массу одного рулона сеносоломистых материалов, обеспеченность хозяйства погрузчиками-транспортировщиками для своевременного освобождения поля от рулонов сеносоломистых материалов для выполнения очередных работ на данном поле.

К конструктивным факторам отнесены: номинальная грузоподъемность, геометрические параметры рулонов сеносоломистых материалов (диаметр и высота), вместительность погрузчика-транспортировщика (количество рулонов сеносоломистых материалов, которые можно погрузить в погрузчик-транспортировщик без превышения номинальной грузоподъемности), способ выгрузки рулонов (с использованием или без использования дополнительных машин или механизмов), тяговый класс применяемого трактора в составе МТА, максимальная скорость движения МТА, уровень механизации и автоматизации механизмов погрузки рулонов сеносоломистых материалов в погрузчик-транспортировщик и их выгрузки (степень участия механизатора в управлении механизмами погрузки рулонов сена в погрузчик-транспортировщик и их выгрузки).

Эксплуатационно-экономические факторы – это уровень показателей надежности погрузчика-транспортировщика в целом и его механизмов и систем, экономичность (затраты труда и средств), производительность часовая и сменная, которая зависит от таких его показателей, как номинальная грузоподъемность, длина ездки с грузом, средняя техническая скорость, коэффициенты использования грузоподъемности, пробега и времени смены, а также затраты времени на погрузку рулонов сеносоломистых материалов и их выгрузку.»[70].



Рисунок 2.15 – Факторы, влияющие на показатели использования транспортных средств на уборке с поля рулонов сена

Учет совокупности представленных на рис.2.15 факторов будет оказывать влияние на повышение эффективности функционирования исследуемого транспортного средства. При этом эффективное функционирование транспорта на перевозках сельскохозяйственных грузов должно основываться на положениях транспортной стратегии РФ [88] и сводиться к выполнению ряда задач, связанных, в первую очередь, с энерго- и ресурсосбережением при одновременном повышении его производительности, снижении трудозатрат, расхода топлива, затрат денежных средств на их приобретение и амортизацию и улучшению других показателей. К другим показателям можно отнести, в частности, уровень надежности технического средства.

Таким образом, для оценки эффективности использования разработанного тракторного транспортного средства, «осуществляющего погрузку, транспортировку и выгрузку рулонов обоснованы следующие важнейшие показатели: производительность за один час сменного времени, расход топлива на один доставленный рулон сена, затраты труда на доставку одного рулона сена, уровень надежности, оцениваемый коэффициентом готовности тракторного транспортного средства и стоимость технических устройств и механизмов с учетом амортизационных отчислений»[93] всех машин, участвующих в уборке сена в рулонах.

2.3 Обоснование математической зависимости комплексного критерия оценки эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена

С целью обоснования математической зависимости «критерия эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке рулонов сена»[93], в том числе и разработанного в настоящей работе ПТРС-2, необходимо учесть минимальное, но достаточное количество частных показателей. При этом выбранные частные показатели должны быть важнейшими из совокупности всех возможных для включения в комплексный критерий. «Частные показатели, входящие в состав комплексного критерия эффектив-

ности, определяются с учетом одной из трех концепций рациональной выработки решений: пригодности, оптимизации, адаптивизации»[45].

На основе анализа факторов, влияющих на показатели использования транспортных средств «на уборке с поля рулонов сена, а также с учетом положения ГОСТ 24059-2017 [24] установлено, что одним из частных показателей использования разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена является его производительность.

Производительность погрузчика-транспортировщика рулонов сена за смену $W_{\text{см}}^{\text{ТС}}$ (т)»[72] определяется с учетом его «грузоподъемности Q (т), коэффициента использования грузоподъемности исследуемого транспортного средства γ , средней технической скорости движения транспортного средства $V_{\text{Г}}$ (км/ч), продолжительности смены $T_{\text{см}}$ (ч) и коэффициента ее использования τ , средней длины ездки с грузом $L_{\text{Г}}$ (км) и β – коэффициента использования пробега»[93], а также $t_{\text{п}}$ (ч):

$$W_{\text{см}}^{\text{ТС}} = \frac{Q\gamma V_{\text{Г}}\beta T_{\text{см}}\tau}{L_{\text{Г}} + V_{\text{Г}}\beta t_{\text{п}}}. \quad (2.17)$$

Производительность можно также рассчитывать в тоннах за 1 час основного, эксплуатационного, технологического или сменного времени [82]:

$$W_{\text{ч}}^{\text{ТС}} = \frac{\gamma Q}{\frac{L_{\text{Г}}}{V_{\text{Г}}\beta} + t_{\text{п}}}, \quad (2.18)$$

а также с учетом массы рулона от определенной марки пресс-подборщика:

$$W_{\text{ч}} = \sum_{i=1}^{i=n} (m_i N_{pi} / T_{\text{см}}), \quad (2.19)$$

где « m_i – масса одного рулона, сформированного i -й маркой рулонного пресс-подборщика, т; N_{pi} – количество рулонов, доставленных в течение смены от i -й марки рулонного пресс-подборщика, 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)»[99].

За все смены периода уборки $N_{\text{см}}$ (смен) определяется суммарная масса перевезенных рулонов $M_{\text{зрс}}$ (т):

$$M_{зрс} = \sum_{i=1}^{i=n} (m_i N_{pi}) N_{см} , \quad (2.20)$$

а с «учетом расстояния перевозки рулонов L_r (км) рассчитывается выработка тракторного транспортного средства за уборочный сезон (ткм)»[67]:

$$W_{см} = \sum_{i=1}^{i=n} (m_i N_{pi}) N_{см} L_r . \quad (2.21)$$

Если учесть продолжительность времени смены $T_{см}$, то можно определить производительность погрузчика-транспортировщика рулонов сена за 1 час сменного времени (ткм/ч):

$$W_{ч.см} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (m_i N_{pi}) L_r}{T_{см}} . \quad (2.22)$$

«Рассматривая зависимость (2.22) можно отметить, что с увеличением расстояния транспортировки рулонов сена производительность транспортного средства растет, но это утверждение правомерно в тех случаях, когда транспортное средство в сравниваемых случаях выполняет за смену равное количество рейсов с транспортировкой одинаковой массы груза.

Сравнение производительности транспортных средств за один час сменного времени по экспериментальным данным на внутриусадебных и внутрихозяйственных перевозках рулонов сена следует выполнять в одинаковых условиях, в частности, при равном количестве рейсов за смену с транспортировкой одинаковой массы рулонов сена.»[72].

Следующий исследуемый показатель – расход топлива техническими средствами на уборке, приходящийся на один рулон сена.

Данный показатель рассчитывается с учетом выполняемой технологической операции.

При выполнении транспортных работ расход топлива $G_{Трi}$ рассчитывается с учетом пробега ТТС в течение смены с загрузкой рулонами сена с поля до их выгрузки на месте складирования, т.е. с грузом, и обратный холостой пробег, т.е без груза, и расход топлива на 100 км пробега по формуле:

$$G_{Трi} = \sum_i^n g_i L_i , \quad (2.23)$$

где g_i – расход топлива ТТС на 100 км пробега на i -м виде движения, л/100 км;

L_i – пробег ТТС на i -м виде движения, км.

При погрузке рулонов сена на платформу ТТС и на ряде других технологических операциях расход топлива $G_{Пj}$ рассчитывается с учетом продолжительности работы ТТС на j -той операции t_j (ч) и часового расхода топлива на рассматриваемой операции g_j (л/ч) по следующей зависимости:

$$G_{Пj} = \sum_j^m g_j t_j. \quad (2.24)$$

Тогда, расход топлива ТТС за смену определяется по формуле:

$$G_{см} = G_{ТРi} + G_{Пj}. \quad (2.25)$$

Так как сравниваемые ТТС за один рейс транспортируют различное количество рулонов сена и число рейсов за смену также отличаются, то можно использовать показатель – расход топлива ТТС, приходящийся на один рулон сена G_p (л/шт.), который перевезен с поля на место складирования:

$$G_p = \frac{G_{см}}{N_p}, \quad (2.26)$$

где N_p – количество рулонов сена, перевезенных ТТС за смену с поля к месту складирования, шт.

Из зависимостей (2.17) и (2.18) следует, что производительность транспортных средств зависит, в частности, и от продолжительности погрузочно-разгрузочных работ. В выполнении этих работ участвуют некоторое количество машин, как правило, одна или две, которые обслуживают операторы. В настоящее время для погрузки рулонов сена в транспортное средство используется погрузчик рулонов. В этом случае тратится труд двух операторов. При использовании разработанного тракторного транспортного средства погрузчик рулонов сена не применяется. Таким образом, в реальных условиях уборки рулонов сена с поля на каждой технологической операции участвует один оператор. Но различные ТТС транспортируют за смену различное количество рулонов сена N_p . Поэтому, второй частный показатель эффективности уборки рулонов сена с поля – суммарные затраты труда, которые зависят от

количества технических средств, обслуживаемых N_{on} операторами, числа технологических операций ($j = 1 \dots d$, шт.), их продолжительности t_j (ч) [99], а также количества доставленных .

$$Z_T = \frac{1}{N_P} \sum_{j=1}^{j=d} t_j N_{опj} . \quad (2.27)$$

Затраты труда – важнейший частный показатель эффективности уборки с поля рулонов сена [77]. Снижение затрат труда при выполнении погрузочно-разгрузочных и транспортных работ на уборки сена в рулонах может обеспечить робототехника, интеллектуальные системы и автоматизация.

При рассмотрении факторов, которые влияют на эффективность ТТС, нами выделена группа эксплуатационно-экономических факторов, к которой отнесена, в частности, надежность ТТС.

Высокая надежность технических систем обеспечивается минимальным количеством или отсутствием их отказов по техническим причинам при выполнении работы. Поэтому важнейшим требованием к эффективному использованию разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена – отсутствие отказов его систем по техническим причинам в период уборки рулонов сена с поля.

В соответствии с ГОСТ 24055-88 [22] эксплуатационное время определяется по зависимости:

$$T_{эсп.} = T_{см} + T_{отк.} , \quad (2.28)$$

где $T_{отк.}$ – время на устранение отказов по техническим причинам.

Из зависимости (2.28) следует, что при равных фактических затратах времени участия сравниваемых технических средств на уборке с поля рулонов сена, $T_{см}$ будет больше у того ТТС при прочих равных условиях, который более надежен. Следовательно, при повышении $T_{см}$ количество рулонов сена транспортируемых с поля будет увеличиваться.

Таким образом, повышение уровня надежности погрузчика-транспортировщика рулонов сена позволит увеличить его сменную произво-

дительность, что повлияет на сроки уборки с поля рулонов сена. При этом снизятся затраты денежных средств и труда при выполнении работ, связанных с устранением отказов по техническим причинам и другие негативные последствия. В связи с этим необходимо иметь высоконадежную технику.

Для разработки технических решений по повышению уровня безотказности погрузчика-транспортировщика рулонов сена следует определить наработку на отказ как трех систем тракторного транспортного средства, так и его в целом.

Средняя наработка на отказ j -ой системы рассчитывается по формуле:

$$\bar{t}_{0j} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} t_j, \quad (2.29)$$

где t_j – наработка на i -тый отказ j -ой системы, ч, N – количество отказов j -ой системы.

По зависимости, аналогичной (2.29), определяется наработка на отказ погрузчика-транспортировщика рулонов сена:

$$\bar{t}_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j=K} \bar{t}_{0j}, \quad (2.30)$$

где K – количество систем погрузчика-транспортировщика рулонов сена. В данном случае $K = 3$.

При использовании ТТС важным показателем является продолжительность потери их работоспособности по техническим причинам, что скажется в конечном итоге на эффективности уборки. В связи с этим, следует также учитывать время устранения отказов ТТС по техническим причинам.

Среднее время восстановления работоспособности ТТС:

$$\bar{t}_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} t_{Bi}, \quad (2.31)$$

где t_{Bi} – время устранения i -го отказа, ч.

Зная среднюю наработку на отказ и среднее время восстановления работоспособности ТТС, можно определить комплексный показатель надеж-

ности – коэффициент готовности, который в случае обслуживания ТТС, предусматривающем немедленное восстановление его работоспособного состояния рассчитывается по формуле [49]:

$$K_{\Gamma} = \frac{\bar{t}_0}{\bar{t}_0 + \bar{t}_B}. \quad (2.32)$$

В методике исследования принято, что наработка на отказ погрузчика-транспортировщика рулонов сена оценивается количеством рулонов сена, загруженных и перевезенных транспортным средством. В связи с этим, в зависимостях (2.31), (2.32) и др., а также в материалах, представленных в виде таблиц и рисунков, вместо значений t_j , $\bar{t}_{0j}$ и $\bar{t}_0$ подставляли значения наработки в штуках рулонов, соответственно N_j , $\bar{N}_{0j}$ и $\bar{N}_0$.

В группе эксплуатационно-экономических факторов, влияющих на показатели использования ТТС на уборке с поля рулонов сена (рис. 2.15), отнесена экономичность использования ТТС. Экономические показатели использования погрузчика-транспортировщика рулонов сена, безусловно, окажут влияние на себестоимость корма, заготавливаемого в хозяйстве в виде спрессованного в рулоны сена, прибыль сельхозпредприятия [39]. В связи с этим, выбираем следующий частный показатель оценки эффективности уборки рулонов сена – стоимость технических устройств, используемых на уборке рулонов сена.

Стоимость технических устройств и механизмов $C_{ТС}$, используемых на уборке «рулонов сена, складывается из суммарной цены технических средств, участвующих на погрузке, транспортировке и выгрузке рулонов сена – $C_{ТС}$, руб. и амортизационных отчислений – $A_{ТС}$, руб.»[93].

Из представленного выше материала можно отметить, что для комплексной оценки эффективности «использования разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена необходимо учесть: его производительность за один час»[94] времени смены ($W_{ЧСМ}$), «расход топлива, приходящийся на один рулон сена, доставленный техническим средством с поля к месту складирования, реализации или переработки. (G_P), затраты труда, при-

ходящиеся на один рулон сена ($З_T$),»[1] коэффициент готовности погрузчика-транспортировщика рулонов (K_Γ) и его стоимость (C_{TC}).

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

Методика определения относительной значимости выбранных показателей представлена в разделе 3.

«Критерий эффективности K_Θ можно рассчитать, как математическое ожидание функции агрегирования $\varphi(W)$ »[100]:

$$K_\Theta = m\{\varphi(W)\}. \quad (2.33)$$

Функцию (2.33) представим в виде отношения показателей, повышение которых ведет к росту критерия эффективности, к показателям, рост значений которых ведет к снижению рассматриваемого критерия. При этом, для обеспечения безразмерности и скалярности данных показателей использован метод учета отношения их фактических значений W_i к требуемым (желаемым) W_i^{TP} . Кроме того, учтена и относительная важность каждого i -го показателя коэффициентом ε_i .

Тогда, функция агрегирования (2.33) примет вид:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} \varepsilon_i \frac{W_i}{W_i^{TP}}}{\prod_{i=m_1+1}^m \varepsilon_i \frac{W_i}{W_i^{TP}}}. \quad (2.34)$$

Используя зависимость (2.34) и выбранные частные показатели, K_Θ можно представить в виде следующего математического выражения:

$$K_\Theta = \frac{\varepsilon_W \frac{W_{ЧСМ}}{W_{ЧСМ}^{TP}} \varepsilon_H \frac{K_\Gamma}{K_\Gamma^{TP}}}{\varepsilon_G \frac{G_P}{G_P^{TP}} \varepsilon_T \frac{З_T}{З_T^{TP}} \varepsilon_C \frac{C_{TC}}{C_{TC}^{TP}}}, \quad (2.35)$$

где ε_W , ε_H , ε_G , ε_T и ε_C – соответственно коэффициенты относительной значимости производительности погрузчика-транспортировщика рулонов сена за один час сменного времени, надежности ТТС, расхода топлива, затрат труда при обслуживании ТТС, стоимости технических устройств и механизмов;

$W_{ЧСМ}$ и $W_{ЧСМ}^{TP}$ – соответственно значения производительности погрузчика-транспортировщика рулонов сена за один час сменного времени, которые достигнуты и требуемые (желаемые);

K_Γ и K_Γ^{TP} – соответственно значения коэффициентов готовности погрузчика-транспортировщика рулонов сена достигнутые и требуемые;

G_P и G_P^{TP} – соответственно достигнутый и требуемый расход топлива техническими средствами, приходящийся на один рулон;

$З_T$ и $З_T^{TP}$ – соответственно достигнутые и требуемые трудовые затраты при выполнении работ, относящиеся к уборке одного рулона сена с поля;

$C_{ТС}$ и $C_{ТС}^{TP}$ – соответственно достигнутая и требуемая стоимость технических устройств и механизмов, участвующих в уборке рулонов сена.

$$\begin{aligned} \text{Обозначив } K_W = \varepsilon_W \frac{W_{ЧСМ}}{W_{ЧСМ}^{TP}}, \quad K_H = \varepsilon_H \frac{K_\Gamma}{K_\Gamma^{TP}}, \quad K_G = \varepsilon_G \frac{G_P}{G_P^{TP}}, \\ K_T = \varepsilon_T \frac{З_T}{З_T^{TP}}, \quad K_C = \varepsilon_C \frac{C_{ТС}}{C_{ТС}^{TP}}, \end{aligned} \quad (2.36)$$

получим упрощенную зависимость комплексного критерия эффективности:

$$K_\Theta = \frac{K_W K_H}{K_G K_T K_C}. \quad (2.37)$$

Таким образом, получена математическая зависимость комплексного критерия оценки эффективности использования исследуемых тракторных транспортных средств на уборке с поля сена в рулонах, которая учитывает совокупность выбранных частных показателей и их относительную важность.

2.4 Выводы по разделу 2

1. Предложена конструкция погрузчика-транспортировщика рулонов сена, позволяющего осуществлять погрузку рулонов сена на основную и дополнительную платформы без использования дополнительных погрузочных агрегатов, оборудованного автоматической системой управления механизмом подъема дополнительной платформы в верхний ярус после ее загрузки на нижнем ярусе, транспортировку и выгрузку рулонов сена в местах складирования, реализации или переработки.

2. Обоснован ряд конструктивных показателей разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена, от которых зависит степень заполнения основной и дополнительной платформ рулонами сена: конструктивная длина дополнительной платформы $L_{к2}$ и угол наклона платформ к горизонту α , высота рычага включения концевого датчика управления электрогидро-распределителем подъема дополнительной платформы $h_{рыч}$ и высота подъема дополнительной платформы H .

3. Определен допустимый угол уклона поля или дороги при перемещении разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена до моментов начала его опрокидывания в поперечном направлении ($\alpha = 24^0$) и отрыва передних колес от поля (дороги) при въезде на подъем ($\alpha = 37^0$). В обоих случаях погрузчик-транспортировщик рулонов сена сконструирован таким образом, что он сохраняет устойчивость в любом направлении на твердой почве с уклоном более $8,5^\circ$, установленного ГОСТом.

4. Определены основные группы факторов, которые необходимо учитывать при комплексной оценке эффективности использования тракторных транспортных средств: технологические, конструктивно-технологические и технико-экономические.

5. Установлено, что для комплексной оценки эффективности использования разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена необходимо использовать следующие частные показатели: его производительность за один час времени смены ($W_{чсм}$), расход топлива, приходящийся на один

рулон сена, доставленный техническим средством с поля к месту складирования, реализации или переработки. (G_p), затраты труда, приходящиеся на один рулон сена (Z_T), коэффициент готовности погрузчика-транспортировщика рулонов сена (K_T) и стоимость технического средства, участвующего на уборке рулонов сена ($C_{ТС}$).

6. Предложена математическая зависимость комплексного критерия оценки эффективности использования тракторных транспортных средств на уборке сена в рулонах.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Для подтверждения эффективности использования разработанного тракторного транспортного средства (ПТРС-2) на подборе рулонов сена с поля, их транспортировке от поля к месту складирования и выгрузке и подтверждения адекватности выбора важнейших частных показателей использования ПТРС-2 были проведены экспериментальные исследования в условиях лаборатории и в поле.

Проводились исследования оценки частных показателей использования как разработанного тракторного транспортного средства (МТЗ-82.1+ ПТРС-2), так и широко используемого в сельскохозяйственных предприятиях Волгоградской области агрегат «МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 при загрузке в прицеп 4 и 7 рулонов сена погрузчиком ПКУ-0,8» [76] и разработанный ранее в Волгоградском ГАУ МТЗ-82.1+ ПТРС-1 [89].

Сравнительные эксперименты рассматриваемых транспортных средств проводились в ряде хозяйств Волгоградской области: ИП Алмазовой П.К. и КХ Березина Ю.И., расположенные соответственно в Кумылженском и Михайловском районах.

Программа экспериментальных исследований включала следующие этапы:

- разработка и изготовление опытных образцов тракторного транспортного средства ПТРС-2 (патент РФ №2833277 [90]) и расходомера топлива поршневого типа (патент РФ №2639732 [59]);
- подготовка и проверка на точность измерения приборов и оборудования;
- проведение исследований габаритных размеров и массы рулонов сена, сформированных двумя марками пресс-подборщиков: ПР-Ф-110 и ППР-120 «Pelikan»;

- подготовка хронометражистов;
- подготовка расходомера топлива;
- комплектование и подготовка тракторных транспортных агрегатов «к выполнению технологических операций»;
- проведение сравнительных испытаний исследуемых транспортных средств по оценке на основе сплошного хронометража работы их производительности, расхода топлива, надежности, затрат труда, качества работ;
- выбор экспертов из числа ученых и производителей, связанных с уборкой сельскохозяйственных культур;
- анализ результатов экспериментальных исследований.»[93].

3.2 Методика оценки габаритных размеров и массы рулонов сена

Известно, что машины для погрузки и транспортировки рулонов сена имеют определенную их техническими характеристиками грузоподъемность и габариты грузовой площадки. В связи с этим, при имеющихся в наличии в сельскохозяйственном предприятии грузоподъемных и транспортных машин, необходимо знать габаритные размеры и массу имеют рулоны сена, которые формируются используемыми в хозяйстве пресс-подборщиками. Эти знания потребуются при определении количества рулонов сена, загружаемых в исследуемые тракторные транспортные средства (ТТС), которые характеризуются параметрами, важными для настоящей работы, такими как внутренние размеры платформы и грузоподъемность.

Следует отметить, что габаритные и массовые характеристики рулонов сена зависят от культуры, которая прессуется, ее влажности, марки пресс-подборщика, плотности прессования и ряда других. В связи с этим, возникает необходимость оценки данных показателей рулонов сена в конкретных условиях, а не использовать данные, полученных другими авторами.

Рулоны сена, габаритные и массовые характеристики которых оценивали, были сформированы двумя марками пресс-подборщиков ПР-Ф-110 и

ППР-120 "Pelikan" при уборке суданской травы в указанных выше хозяйствах Волгоградской области.

Влажность прессуемой культуры – суданской травы оценивалась анализатором влажности «Эвлас-2М» (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Фотография анализатора влажности «Эвлас-2М»

Точность измерения равнялась $\pm 1\%$, повторность - четырехкратная в соответствии с ГОСТ 27548-97 [25].

Для определения влажности срезанные растения массой 3 – 5 г. «Сено измельчалось и высушивалось при температуре 105 °С до сухого состояния. Данное состояние сена определялось самим анализатором. Анализатором при этом фиксировались начальная и конечная массы навески и вычислялась влажность сена. В программе определения влажности использовалась формула:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100\%, \quad (3.1)$$

где m_1 – начальная масса навески, г;

m_2 – конечная масса навески, г.»[1].

Загрузка рулонов сена и их транспортировка к местам складирования осуществлялась следующими ТТС: серийным МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, МТЗ-82.1 + ПТРС-1, которое является прототипом разработанного ПТРС-2, и разработанным в настоящей работе двухярусным МТЗ-82.1 + ПТРС-2. При этом, основой ТТС-прототипа и разработанного являлся тракторный прицеп 2ПТС-4,5.

С учетом внутренних размеров платформы 2ПТС-4,5 и особенностей конструкций ПТРС-1 и ПТРС-2 было принято решение укладывать рулоны сена на пол платформы в один ряд так, чтобы их продольная ось была перпендикулярно продольной оси платформы. В связи с этим, замерялся только диаметр рулонов. Но, поскольку, как отмечалось в работах [1, 93], сечение рулона не соответствует точно окружности, а близко к эллипсу, то «замерялись его размеры в горизонтальной L_H и вертикальной L_B плоскостях (рис.3.2) с точностью до 10 мм.

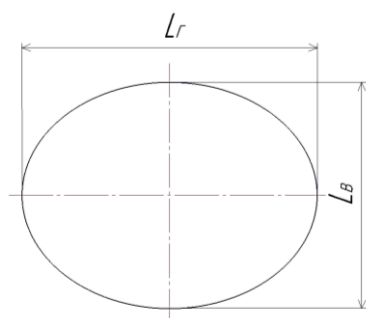


Рисунок 3.2 – Измеряемые размеры рулонов сена

Массу рулона определяли взвешиванием на электронных весах СКЕЙЛ СKE-1500-1215-3-4 с точностью до 1,0 кг.»[93].

Используя положения теории математической обработки данных, полученных в результате экспериментов, определены доверительные интервалы «среднего значения по зависимости:

$$\bar{x} \pm \frac{tS}{\sqrt{n}}, \quad (3.2)$$

где $\bar{x}$ - среднее показание в выборке; t – критерий Стьюдента относительно выбранного уровня вероятности; S – стандартное отклонение; n – объем выборки»[7].

«Размер выборки определяется по зависимости [7]:

$$n = \frac{t^2 S^2}{S_{\bar{x}}^2}, \quad (3.3)$$

где $S_{\bar{x}}$ – предельная ошибка выборки при расчете среднего значе-

ния»[1]

$$S_{\bar{x}} = \frac{HCP}{2...3}, \quad (3.4)$$

«здесь HCP - наименьшая существенная разность между средними значениями сравниваемых показателей.

HCP для сельскохозяйственных культур рекомендуют выбирать для 5% уровня значимости.»[1].

«При стандартном отклонении $S = 0,2\%$, ошибке $S_{\bar{x}} = 0,02\%$ и уровне значимости 5% необходимо исследовать $n_{0,5} = 4 \cdot 0,02^2 / 0,004^2 = 100$ рулонов.»[1].

При 100 измерениях каждого исследуемого параметра рулонов сена интервал статистического ряда определим по формуле:

$$N_u = \sqrt{N}, \quad (3.5)$$

а величину интервала, например, при оценке массы рулонов сена:

$$\Delta W = \frac{(m_{p.\max} - m_{p.\min})}{N_u}, \quad (3.6)$$

«Где $m_{p.\max}$ и $m_{p.\min}$ - соответственно максимальная и минимальная массы рулона.»[1].

«Расчет среднего квадратического отклонения массы рулона выполняли по формуле [37]:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum (m_i - m_{cp})^2}{N - 1}}, \quad (3.7)$$

где m_i и m_{cp} - соответственно текущее и среднее значения массы рулона сена.»[1].

3.3 Методика оценки показателей использования агрегатов на уборке сена в рулонах для определения их производительности

При определении производительности грузового транспорта на перевозках рулонов сена необходимо оценить показатели, входящие в зависимости (2.17), (2.18) и (2.19). При этом, некоторые показатели, например, коэффициенты использования времени смены τ и пробега β , количество рулонов, доставленных в течение смены с поля к месту складирования от j -го пресс-подборщика N_{pi} , можно оценить на основе данных, полученных по результатам сплошного хронометража работы транспортного средства.

На начальном этапе проведения хронометража осуществлялся подбор хронометражистов, число которых определялось количеством участвующих в исследованиях тракторных транспортных средств, а также количеством рабочих смен в течение суток. В данном случае, для сравнения производительности разработанного тракторного транспортного средства в составе трактора МТЗ-82.1 и ПТРС-2 (рис.2.3) был проведен хронометраж работы также серийного ТТС МТЗ-82.1 с тракторным прицепом 2ПТС-4,5 (рис. 3.3а) с загрузкой в него рулонов сена агрегатом МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8 (рис. 3.3б) и ТТС в составе МТЗ-82.1 и погрузчика-транспортировщика ПТРС-1 (рис.3.4). Для исследований было поставлено по одному транспортному средству каждой модификации при их работе в одну смену, т.е. ежедневно работало 3 тракторных транспортных средства.



а)



б)

Рисунок 3.3 – «Тракторное транспортное средство МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 (а) и погрузочный агрегат МТЗ-82.1+ПКУ-0,8 (б)»[76]



Рисунок 3.4 – Погрузчик-транспортёр рулонов сена ПТРС-1

Все тракторные транспортные средства, поставленные под наблюдение, использовались одинаковое количество рабочих смен в течение данного уборочного сезона.

При этом исследуемые тракторные транспортные средства использовались параллельно на одних и тех же полях.

Все хронометражисты знали особенности технологических операций уборки рулонов сена с поля и фиксировали продолжительность всех операций.

В процессе проведения хронометражных работ учитывались требования ГОСТ 24055-2016 [21] и ГОСТ 24059-2017 [24].

Ежедневно в конце смены данные хронометража, представленные в наблюдательных листах, обрабатывались, и формировался общий отчет в специальном журнале [113].

В процессе проведения хронометража фиксировалось количество рейсов, выполненных транспортным средством, число перевезенных рулонов сена и каким пресс-подборщиком они формировались, отказы и неисправности как по техническим, так и по технологическим причинам, затраты времени на переезды от бригады до поля и назад, с одного участка (или поля) на другой, на ежесменное техническое обслуживание и другие возможные остановки.

При обработке хронокарт особое внимание уделялось оценке времени на захват рулона и его подъем, на возврат подъемника для захвата следующего рулона как погрузчиком-транспортировщиком ПТРС-1, так и разработанным тракторным транспортным средством (ПТРС-2), а также на продолжительность погрузки одного рулона. При этом, в продолжительность погрузки одного рулона включалось время перевода ПТРС-1 и ПТРС-2 из транспортного положения в рабочее перед подбором первого рулона сена и из рабочего положения в транспортное после загрузки в ТТС последнего рулона в текущем цикле.

Кроме того, в процессе обработки хронокарт распределялись затраты по составляющим времени смены $T_{см}$: производительная работа – T_p , холостой ход – T_x , технологическое обслуживание – $T_{тех}$, ежесменное ТО – $T_{ЕТО}$, подготовительно-заключительные работы, в т.ч по приемке и сдаче агрегата в конце смены, переезды от места стоянки до поля и обратно – $T_{пз}$, возможные простои (по физиологическим потребностям механизатора – $T_{физ.}$, организационным причинам – $T_{орг.}$ и по метеоусловиям – $T_{мет.}$) – $T_{пр}$.

Рассчитывалось «нормируемое время смены:

$$T_{см} = T_p + T_x + T_{тех} + T_{ЕТО} + T_{физ.} \quad (3.8)$$

Первые три составляющие представляют собой цикличное (цикловое) время $T_{ц}$, которое зависит от способа движения и организации работы.»[79].

При этом, в данном случае: T_p – это затраты времени «на доставку рулонов сена к месту хранения, их выгрузку и возвращение агрегата в поле за смену; T_x – затраты времени на переезды, связанные со сменой поля,»[93] рабочего участка и повороты в конце гона в течение смены; $T_{тех}$ – затраты времени на загрузку транспортного средства рулонами сена в течение смены с учетом перевода ПТРС-1 и ПТРС-2 из транспортного положения в рабочее. $T_{физ.}$ принималось в соответствии с ГОСТ 24055-2016 [21] равным 0,5 ч для механизаторов, работающих на всех сравниваемых тракторных транспортных средствах.

3.4 Методика определения расхода топлива тракторными транспортными средствами на уборке сена в рулонах

В настоящих исследованиях расход топлива оценивался двумя методами: с помощью разработанного нами расходомера [59] и статистическим.

Разработанный расходомер (рис. 3.5) относится к поршневому типу.

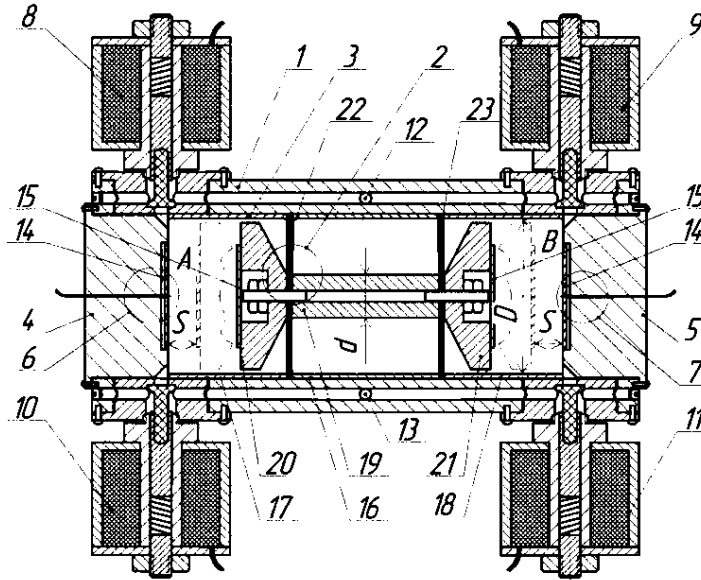


Рисунок 3.5 – Схема расходомера топлива

Расходомер состоит из корпуса 1, в котором размещен поршень 2, перемещающийся в измерительном цилиндре 3. Корпус 1 с двух сторон закрыт крышками 4 и 5. В крышках 4 и 5 установлены емкостные датчики, соответственно 6 и 7, которые фиксируют положение поршня 1. Суммарная емкость датчиков 6 и 7 достаточна для выработки сигнала для срабатывания электромагнитных клапанов 8, 9, 10 и 11, которые функционируют по «диагональной» схеме и распределяют потоки жидкости между измерительными камерами А и В при приближении металлических обкладок 14 и 15 датчиков 6 и 7 на расстояние S. Подвод и отвод жидкости осуществляется через подводящий 12 и отводящий 13 штуцеры.

Измерительный цилиндр 3 изготовлен в виде центрального 16 и крайних 17 и 18 элементов равной длины. Поршень 2 также, как и измерительный цилиндр 3 представляет собой три соединенных между собой элемента – центрального 19 и крайних 20 и 21 равной длины. При этом длина централь-

ного элемента 16 измерительного цилиндра 3 равна длине центрального элемента 19 поршня 2.

Поршень 2 закреплен в измерительном цилиндре 3 с помощью мембран 22 и 23, изготовленных из эластичного материала.

Разработанный расходомер прошел исследования на точность измерения расхода топлива [75].

На тракторе МТЗ-82.1, входящего в состав тракторного транспортного средства была проведена модернизация топливной системы двигателя.

Первый расходомер монтировался между топливоподкачивающим насосом и фильтром грубой очистки топлива.

Методика измерения расхода топлива разработанным расходомером заключалась в следующем.

К топливной системе параллельно основному топливному баку трактора подключался с помощью трехходового крана дополнительный топливный бак объемом 60 л. К дополнительному топливному баку подсоединялась дренажная магистраль, через которую осуществляется возврат топлива от форсунок и топливного насоса высокого давления двигателя Д-243 (в серийном варианте возврат топлива осуществляется в топливный бак трактора). В данной дренажной магистрали устанавливался второй расходомер. По разности показаний первого и второго расходомеров определялся расход топлива двигателем трактора.

«Расходомер оборудовали велокомпьютером AS-200, который подключали параллельно к счетчику импульсов расходомера.

До экспериментальных исследований заправляли топливные баки трактора и заливали в дополнительный топливный бак 50 л дизельного топлива с точностью до 25 мл. В начале выполнения сельскохозяйственной работы двигатель работал на дизельном топливе из штатного топливного бака. Затем с помощью трехходового крана перекрывалась подача топлива из штатного топливного бака с одновременным запуском топлива в топливную систему

двигателя из дополнительного бака. Фиксировалось секундомером время начала работы двигателя на дизельном топливе из дополнительного топливного бака. После расхода топлива из дополнительного топливного бака на 50 – 75% глушили двигатель, фиксировали время окончания работы, замеряли остаток топлива в дополнительном топливном баке с точностью до 25 мл, рассчитывали фактический часовой расход топлива (условно-истинное значение объема израсходованного топлива), сравнивали с показаниями расходомера и оценивали погрешности измерения ε в процентах (как относительные погрешности).

Погрешности измерения ε вычисляли в соответствии с ГОСТ Р 50193.3-92 [20] по формуле:

$$\varepsilon = \frac{V_{дб} - V_p}{V_p}, \quad (3.9)$$

где $V_{дб}$ – условно-истинное значение объема расхода топлива, замеренного по расходу из дополнительного топливного бака, л;

V_p – расход топлива по показаниям расходомера, л.»[75].

Расход топлива двигателем трактора фиксировался расходомером после завершения каждого рейса тракторного транспортного средства.

Расход топлива тракторами статистическим методом оценивался следующим образом. В начале смены из топливного бака сливались остатки дизельного топлива. Затем в топливный бак заливали определенный объем дизельного топлива, достаточный для работы трактора в течение смены. После смены сливали остатки дизельного топлива и определяли его расход за смену.

Сравнительные экспериментальные исследования расхода топлива на внутриусадебных перевозках рулонов сена проводились на примере следующих «тракторных транспортных средств: МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 с загрузкой в тракторный прицеп 7 рулонов сена агрегатом МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8, МТЗ-82.1 + ПТРС-1 (загрузка 4 рулонов сена в один ярус»[76];

патент РФ №2728961 [89]), МТЗ-82.1 + ПТРС-2 (разработанное тракторное транспортное средство при загрузке 8 рулонов сена в два яруса; патент РФ №2833277 [90]), в течение четырех уборочных сезонов в ИП Алмазова П.К. Кумылженского района Волгоградской области.

При оценке расхода топлива учитывались результаты одновременно проводимого сплошного хронометража исследуемых транспортных средств при уборке с поля рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ПР-Ф-110, а также пробег транспортного средства, суммарный расход топлива и количество перевезенных рулонов сена.

Полученные результаты позволяют определить расход топлива исследуемыми ТТС, относительно транспортировки одного рулона сена.

3.5 Методика определения затрат труда при использовании тракторного транспорта

Объектами исследования при определении затрат труда на уборке с поля рулонов сена являлись три модели ТТС: используемое в настоящее время в большинстве сельскохозяйственных предприятий РФ – МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с загрузкой в тракторный прицеп агрегатом МТЗ-82.1+ ПКУ-0,8, разработанный ранее в Волгоградском ГАУ МТЗ-82.1+ ПТРС-1 [89] и разработанный в настоящей работе МТЗ-82.1+ ПТРС-2, оборудованный автоматической системой обнаружения рулонов сена на поле, захвата их с погрузкой на транспортное средство, подъема и опускания дополнительной платформы и выгрузки рулонов сена на площадку с основной и дополнительной платформ. На погрузке рулонов сена на ПТРС-1 и ПТРС-2 другие технические средства не использовались.

«При ежесменном сплошном хронометраже использования тракторных транспортных агрегатов определялись затраты времени на операции погрузки рулонов сена (захват рулона, его подъем с погрузкой на транспортное средство и возврат подъемного устройства в исходное положение), на полный цикл погрузки одного рулона (затраты времени от начала погрузки од-

ного рулона до начала погрузки последующего) и загрузки транспортного агрегата, затраты времени на переезды агрегата в течение смены, остановки по различным причинам и ежесменное техническое обслуживание (ЕТО), на доставку одной партии рулонов сена к месту хранения (время в пути тракторного транспортного средства с момента окончания погрузки рулонов сена до начала их выгрузки), выгрузку рулонов из транспортного средства и возвращение агрегата в поле. Также велся учет количества перевезенных рулонов сена.»[76].

Трудоемкость погрузки, транспортировки и разгрузки рулонов сена, а также других операций, связанных с уборкой с поля рулонов сена, определялась как произведение продолжительности выполнения исследуемых операций на число работающих на агрегате, участвующих на выполнении данных операций.

Для исключения влияния на продолжительность исследуемых технологических операций от различных факторов, например, квалификация работающего на агрегате, метеорологические условия и некоторых других, учитывалось только основное время операций. Исключение из рассмотрения данных факторов связано с тем, что сравниваемые агрегаты использовались в одно и то же время, в одних и те же условиях.

«На первом этапе исследования сравнивалась трудоемкость работ на технологических операциях с использованием агрегата МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 при загрузке на тракторный прицеп 7 рулонов сена погрузчиком ПКУ-0,8, а на втором этапе оценивалась трудоемкость технологических операций с использованием агрегата МТЗ-82.1+ ПТРС-1 и МТЗ-82.1+ с загрузкой соответственно 4 и 8 рулонов.»[76].

3.6 Методика оценки показателей надежности разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена

Оценить уровень надежности и, в частности, безотказности разработанного тракторного транспортного средства и при необходимости повысить

показатели данного свойства надежности невозможно без проведения лабораторных и полевых исследований. До начала таких исследований требуется определить необходимый и в то же время достаточный объем испытаний [13] с получением достоверных результатов [40].

При оценке показателей безотказности разработанного транспортного средства использовались нормативные документы [17], положения надежности технических систем [36, 40, 74, 102, 103], а также теории вероятностей [8].

Исследуемое транспортное средство условно было разделено на «три системы: шасси, оборудование захвата и подъема рулонов и гидросистему с приводами захвата и подъема рулонов, каждая из которых состоит из узлов, собранных из деталей и стандартных изделий»[67], рис. 3.6.

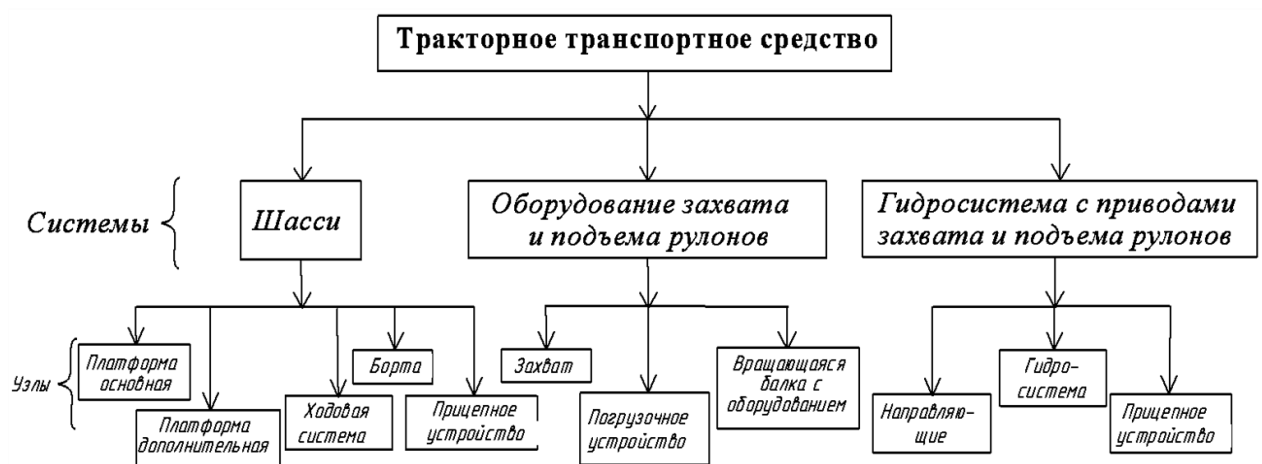


Рисунок 3.6 – Схема транспортного средства

Для сокращения материальных и трудовых затрат в процессе получения статистической информации о показателях безотказности транспортного средства, а также получения достоверности информации, рассчитывается минимальное количество наблюдаемых агрегатов по следующей формуле:

$$N = \chi \cdot \bar{t}_O / t, \quad (3.10)$$

где χ – коэффициент, определяемый в зависимости от относительной ошибки δ и доверительной вероятности β ;

t – суммарная наработка;

$\bar{t}_0$ – средняя наработка на отказ.

В данном случае принято, что наработка на отказ, также как и суммарная наработка транспортного средства определялись количеством рулонов сена, загруженных и перевезенных транспортным средством.

Предварительные лабораторные исследования показали, что при суммарной наработке $N = 1800$ рулонов наработка на отказ $\bar{N}_0 = 320$ шт. В этом случае при $\delta = 0,2$ и $\beta = 0,8$ достаточно поставить под наблюдение одно транспортное средство.

Для определения фактических значений показателей безотказности с определенной точностью и достоверностью по ограниченному объему статистических данных используют интервальную оценку показателей надежности. При этом следует знать закон распределения статистических оценок применительно к неизвестному значению оцениваемого параметра. Оцениваемый параметр в настоящей работе – наработка на отказ тракторного транспортного средства.

Оценка наработки на отказ осуществлялась по данным, полученным «по результатам сплошного хронометража подготовки агрегатов к использованию, погрузки рулонов сена на транспортное средство, доставки их к месту хранения, выгрузки и возвращения агрегата в поле»[76]. Методика проведения сплошного хронометража представлена в настоящей работе ранее.

Чтобы определить закон распределения наработки на отказ тракторного транспортного средства следует определить вид распределения и параметры закона распределения, когда вид его известен.

Вид закона распределения случайных значений наработки на отказ тракторного транспортного средства N_0 определяется функцией плотности распределения $f(N_0)$.

Закон распределения случайной величины по данным, полученным по результатам исследований в условиях рядовой эксплуатации тракторного транспортного средства, представляющим собой статистический ряд некото-

рого числа наработок между отказами, определяется в следующей последовательности.

Сначала по статистическому ряду наработок между отказами определяется величина интервала группирования:

$$A_j = \frac{N_{MAX\ j} - N_{MIN\ j}}{n_j}, \quad (3.11)$$

где $N_{MAX\ j}$, $N_{MIN\ j}$ – «соответственно наибольшее и наименьшее значения наработки до отказа в статистическом ряде информации» [65] j -го ТТС.

Затем рассчитывается количество интервалов статистического ряда n_j [40]:

$$n_j = \sqrt{N_{отк}}, \quad (3.12)$$

где $N_{отк}$ – количество зафиксированных отказов ТТС за период исследования.

Строится полигон случайных чисел и гистограмма, а затем по экспериментальным данным – «зависимости фактической и теоретической плотности распределения. Проверку гипотезы о теоретическом законе распределения проводили по критерию χ^2 » [67].

3.7 Методика экспертной оценки частных показателей комплексного критерия эффективности

В процессе выполнения данной работы эксперты располагали рассматриваемые показатели в порядке их значимости (с точки зрения эксперта).

Выбранным показателям «упорядочного множества присваивают числа (обратные ранги), указывающие число элементов, доминируемым данным. Таким образом, наилучший элемент будет иметь ранг $m - 1$ (он лучше всех, кроме самого себя), а наихудший – ранг 0. Коэффициент важности

$$\varepsilon_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_i^l}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_i^l} \quad (3.13)$$

где r_i^l – ранг, присвоенный j -му элементу l -м экспертом»[45].

«При строгом ранжировании используется коэффициент ранговой корреляции ρ Спирмена:

$$\rho = 1 - \frac{6}{m(m^2 - 1)} \sum_{i=1}^m (r_{1i} - r_{2i})^2, \quad (3.14)$$

где r_{1i} (r_{2i}) – ранг i -й характеристики в ранжировке первого (второго) элемента, выставленный группой экспертов»[45].

«Групповое мнение можно формировать только тогда, когда индивидуальные предпочтения экспертов хорошо согласуются. Для согласованности мнений в группе применяют два способа. Первый способ основан на вычислении средних значений коэффициентов парной корреляции:

$$\rho = \frac{2 \sum_{l < i} \rho_{il}}{n(n-1)}, \quad (3.15)$$

где l, i – номера экспертов ($l, i = 1, n$); ρ_{il} – парный коэффициент корреляции по Спирмену»[45].

3.8 Выводы по разделу 3

1. С целью качественного проведения запланированных экспериментальных исследований разработана программа их выполнения.
2. Даны уточнения известных методик определения размеров сечения и массы рулонов сена.
3. Разработана методика оценки эксплуатационных показателей агрегатов на уборке сена в рулона с целью определения их производительности.
4. Разработаны методы учета расхода топлива двигателями транспортных средств в процессе уборки сена в рулонах.

5. Разработана методика определения затрат труда при использовании тракторного транспорта.

6. Разработана методика оценки показателей безотказности разработанного тракторного транспортного средства.

7. Разработана методика проведения экспертного оценивания показателей использования тракторных транспортных средств на перевозках рулонов сена.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты оценки габаритных размеров и массы рулонов сена

Оценку габаритных и массовых характеристик рулонов сена, сформированных двумя моделями пресс-подборщиков ПР-Ф-110 и ППР-120 "Pelikan", выполняли в соответствии с разработанной методикой исследований. При этом проводились исследования 200 рулонов сена, по 100 рулонов от каждой марки пресс-подборщика.

В процессе исследований влажность сена при прессовании соответствовала 20 – 22 %.

Статистические значения массы и размеров рулонов сена представлены Приложениях В и Г.

Экспериментальные данные позволили получить распределение геометрических размеров рулонов L_{Γ} и L_B , сформированных пресс-подборщиками ПР-Ф-110 (рис.4.1) и ППР-120 "Pelikan" (рис.4.2).

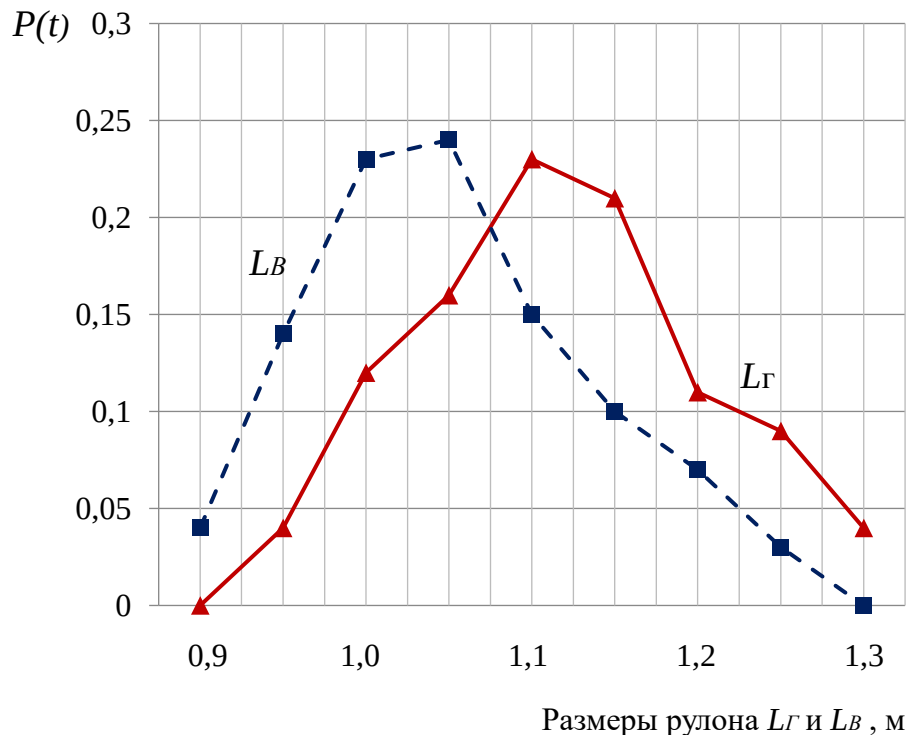


Рисунок 4.1 – Распределение геометрических размеров рулонов сена L_{Γ} и L_B , сформированных ПР-Ф-110

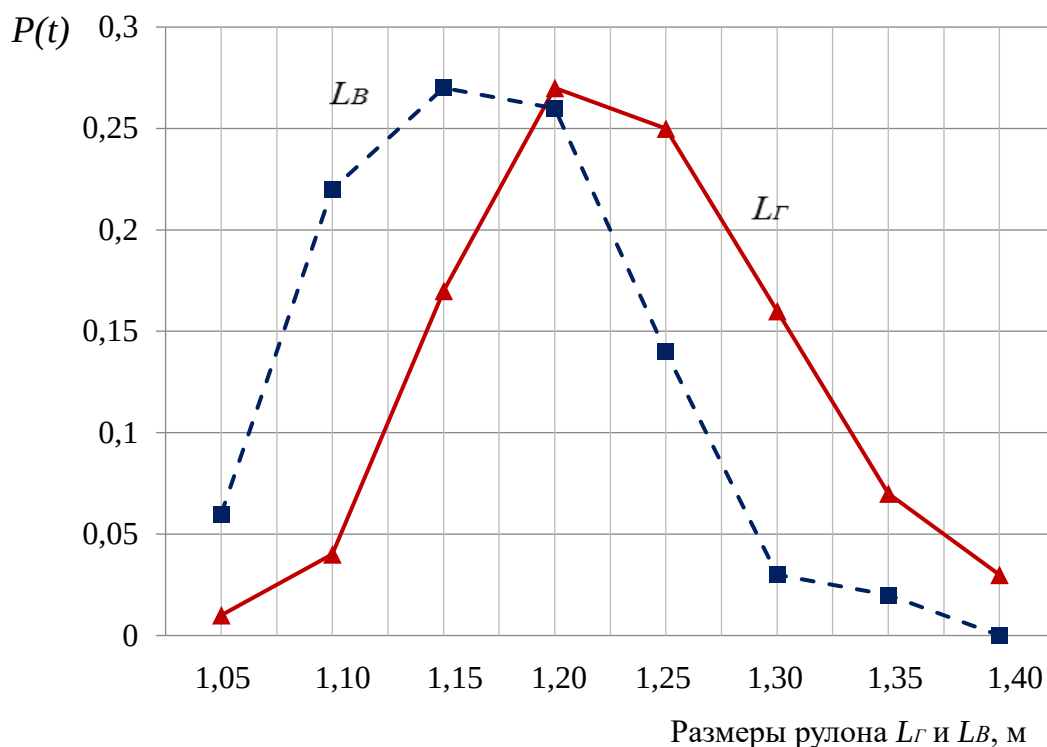


Рисунок 4.2 – Распределение геометрических размеров рулонов сена L_Γ и L_B , сформированных ППР-120 "Pelikan"

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 $\sigma_{L_\Gamma} = 0,1$ м и $\sigma_{L_B} = 0,08$ м, а для ППР-120 «Pelikan» $\sigma_{L_\Gamma} = 0,07$ м и $\sigma_{L_B} = 0,06$ м. Полученные результаты по оценке исследуемых размеров рулонов сена свидетельствуют о незначительной эллипсности исследованных рулонов.

Результаты оценки исследуемых размеров рулонов сена показывают, что возможное количество рулонов сена от пресс-подборщиков ПР-Ф-110, которые могут быть размещены в один ряд по длине платформы, равно 4, а от ПР-Ф-110 – 3.

Дана оценка также и массы рулонов сена, сформированных двумя марками пресс-подборщиков.

Установлено, что масса рулона сена от ПР-Ф-110 и ППР-120 «Pelikan» в среднем соответственно равна 147 кг и 248 кг.

Определено, что среднеквадратические отклонения масс рулонов сена равны $\sigma_{\text{ПРФ}} = 14$ кг (ПР-Ф-110) и $\sigma_{\text{ППР}} = 12$ кг (ППР-120)

Полученные средние значения массы рулонов близки к представленным в технических характеристиках рассматриваемых пресс-подборщиков.

4.2 Оценка показателей использования агрегатов на уборке сена в рулонах и их производительности

Для оценки производительности исследуемых тракторных транспортных средств использовались данные сплошного хронометража работы следующих агрегатов: МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, МТЗ-82.1 + ПТРС-1 и МТЗ-82.1 + ПТРС-2, а также агрегата, который применялся для загрузки рулонов сена на тракторный прицеп 2ПТС-4,5 – МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8.

Как отмечалось выше, сплошной хронометраж проводился 6 агрегатов (по 2 агрегата каждого состава) в двух хозяйствах Волгоградской области. При этом отметим, что ЕТО тракторов, входящих в составе агрегатов МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 и МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8, проводилось не одновременно.

Основываясь на представленных в разделе 3 материалах методики исследований, выполнили распределение времени смены по ее составляющим (табл. 4.1 и рис. 4.3).

Таблица 4.1 – Результаты оценки затрат времени смены тракторных транспортных средств

Исследуемый показатель	Тракторное транспортное средство		
	МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	МТЗ-82.1 + ПТРС-2
Затраты времени на ЕТО (с учетом агрегата для погрузки рулонов сена МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8 в транспортное средство 1), ч	0,73	0,31	0,33
Затраты времени на переезды, ч	0,473	0,310	0,280
Затраты времени на загрузку одного рулона в ТТС с учетом затрат времени на перевод ТТС из транспортного положения в рабочее до загрузки первого рулона и из рабочего положения в транспортное после загрузки последнего рулона каждого цикла погрузки, ч	0,032	0,023	0,017
Затраты времени на загрузку тракторного транспортного средства рулонами в течение смены, ч	1,344	0,828	0,952
Затраты «времени на доставку рулонов сена к месту хранения, их выгрузку и возвращение агрегата в поле за один рейс, ч»[76]	0,738	0,634	0,640
Затраты «времени на доставку рулонов сена к месту хранения, их выгрузку и возвращение агрегата в поле за смену, ч»[76]	4,428	5,714	4,480

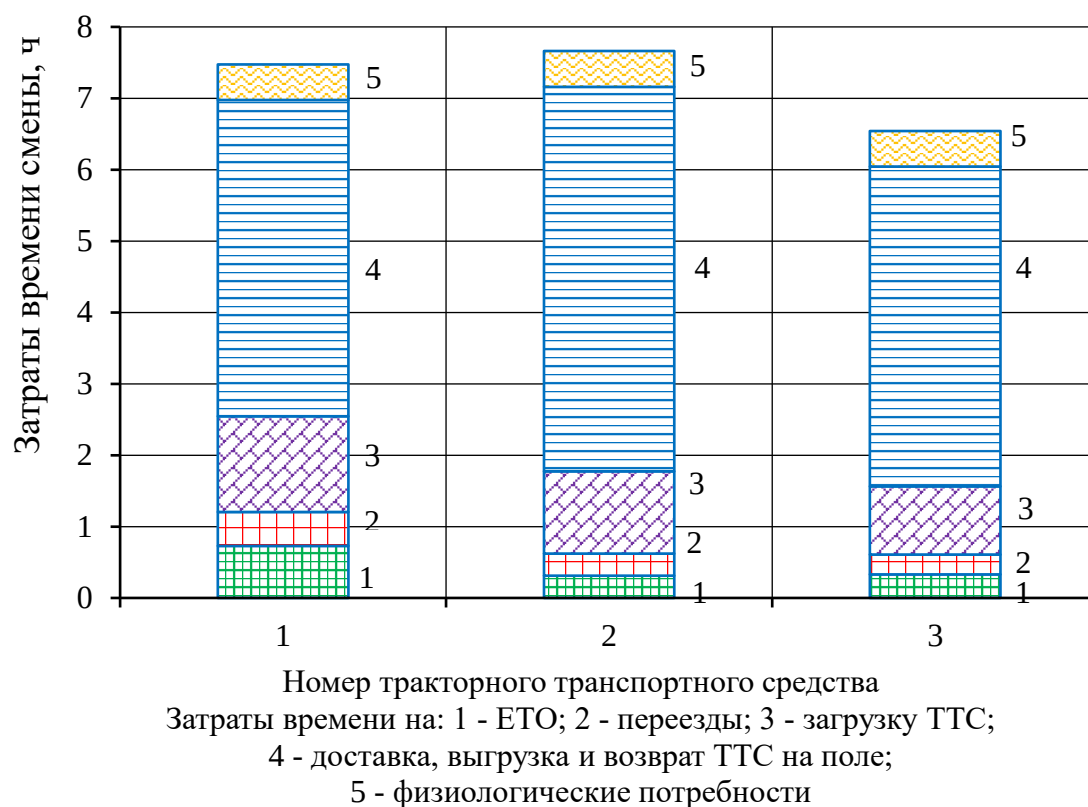


Рисунок 4.3 – Затраты времени на составляющие баланса времени смены использования тракторных транспортных средств

Анализ результатов хронометража работы исследуемых ТТС по составляющим элементам времени смены показал, что фактическая продолжительность времени смены МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 составляет $T_{см} = 7,475$ ч, МТЗ-82.1+ПТРС-1 – $T_{см} = 7,662$ ч и МТЗ-82.1 + ПТРС-2 – $T_{см} = 6,542$ ч. Следует отметить, что продолжительности простоев ТТС в течение смены, связанных с физиологическими потребностями механизаторов и получение наряда и сдачу работы, приняты равными для рассматриваемых ТТС (0,5 ч).

Результаты хронометража также показали, что наибольшая доля времени смены приходится на доставку рулонов сена к местам складирования и возврат ТТС на поле. Это связано, безусловно, с расстоянием перевозки, низкой скоростью движения по грунтовым дорогам и количеством рейсов за смену.

Кроме того, существенны затраты времени смены и на загрузку ТТС рулонами сена. Особенно они значительны на загрузке серийного ТТС

МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, которые в среднем составили 1,344 ч, что на 16,7 % больше, чем при загрузке ТТС-прототипа МТЗ-82.1+ПТРС-1 и на 41,2 %, чем разработанного ТТС МТЗ-82.1 + ПТРС-2.

С учетом полученных значений $T_{см}$ рассчитана производительность ТТС за 1 час сменного времени (табл. 4.2, рис. 4.4).

Таблица 4.2 – Показатели использования ТТС за смену

Исследуемый показатель	Тракторное транспортное средство	Год исследований				Среднее значение
		2021	2023	2024	2025	
Количество рейсов за смену	МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	6	5	7	6	6
	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	9	10	10	9	9
	МТЗ-82.1 + ПТРС-2	7	7	7	7	7
Количество рулонов, доставленных к месту хранения, шт.	МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	42	35	49	42	42
	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	36	40	40	36	36
	МТЗ-82.1 + ПТРС-2	56	56	56	56	56
Масса рулонов, перевезенных одним ТТС за смену, т	МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	6,174	5,145	7,203	6,174	6,174
	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	5,292	5,880	5,880	5,292	5,292
	МТЗ-82.1 + ПТРС-2	8,232	8,232	8,232	8,232	8,232
Длина ездки ТТС, км	МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	2,6	2,8	2,7	2,7	2,7
	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	2,9	2,8	2,9	2,8	2,9
	МТЗ-82.1 + ПТРС-2	2,8	2,8	2,9	2,7	2,8
Производительность ТТС за смену, т·км.	МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	16,05	14,51	19,45	16,67	16,67
	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	15,35	16,46	17,05	14,82	15,35
	МТЗ-82.1 + ПТРС-2	23,05	23,05	23,87	22,23	23,05
Производительность ТТС за 1 час сменного времени, т·км/ч.	МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	2,29	2,07	2,78	2,38	2,38
	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	2,19	2,05	2,43	2,12	2,19
	МТЗ-82.1 + ПТРС-2	3,29	3,29	3,41	3,18	3,29

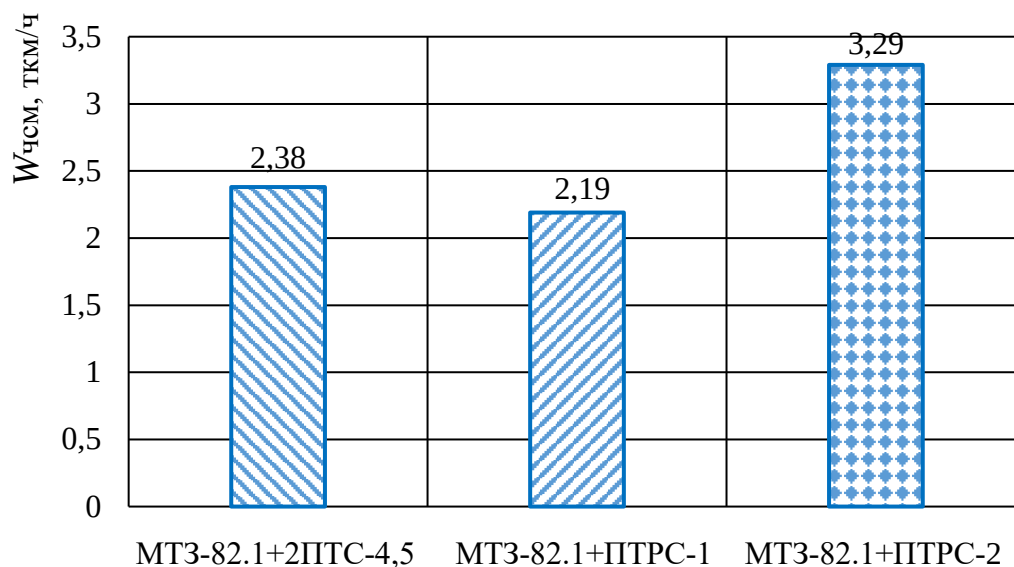


Рисунок 4.4 – Производительность тракторных транспортных средств за 1 ч сменного времени

Таблица 4.3 – Показатели использования тракторных транспортных средств за уборочный сезон

Исследуемый показатель	Тракторное транспортное средство	Год исследований				Среднее значение
		2021	2023	2024	2025	
Продолжительность уборки, смен	MT3-82.1+2ПТС-4,5	11	13	12	10	11,5
	MT3-82.1+ПТРС-1	11	13	12	10	11,5
	MT3-82.1+ПТРС-2	11	13	12	10	11,5
Количество рулонов, доставленных за сезон к месту хранения, шт.	MT3-82.1+2ПТС-4,5	462	455	588	420	481
	MT3-82.1+ПТРС-1	396	520	480	360	439
	MT3-82.1+ПТРС-2	616	728	672	560	644
Масса сена, заготовленного одним ТТС за сезон, т	MT3-82.1+2ПТС-4,5	67,914	66,885	86,436	61,740	70,744
	MT3-82.1+ПТРС-1	58,212	76,444	70,560	52,920	64,535
	MT3-82.1+ПТРС-2	90,552	107,016	98,784	82,320	94,668

Результаты исследований ТТС на уборке с поля рулонов сена, представленные в табл. 4.2 и табл. 4.3, показывают:

- за смену серийное ТТС МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 выполняет 6 рейсов, ТТС-прототип МТЗ-82.1 + ПТРС-1 – 9 и разработанное ТТС МТЗ-82.1 + ПТРС-2 – 7 рейсов;
- разработанным ТТС МТЗ-82.1 + ПТРС-2 доставлено в среднем за сезон 644 рулона сена, серийным ТТС МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 – 481 рулон сена, а ТТС-прототипом МТЗ-82.1 + ПТРС-1 – 439 рулонов сена;
- за 4 сезона исследований перевезено с поля к месту складирования ТТС МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 – 1925 рулонов сена, МТЗ-82.1 + ПТРС-1 – 1756 и МТЗ-82.1 + ПТРС-2 – 2576 рулонов;
- производительность ТТС МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 за 1 ч сменного времени составила в среднем 2,38 т·км/ч, МТЗ-82.1 + ПТРС-1 – 2,19 т·км/ч и МТЗ-82.1 + ПТРС-2 – 3,29 т·км/ч. Применение разработанного ТТС МТЗ-82.1 + ПТРС-2 позволяет повысить производительность за 1 ч сменного времени на 38,24% по сравнению с серийным ТТС и на 50,23 % по сравнению с ТТС-прототипом.

4.3 Оценка расхода топлива транспортными тракторными средствами

Одним из важнейших частных показателей использования грузового автомобильного и тракторного транспорта на перевозках полученной сельскохозяйственной продукции, как показано в разделе 2 настоящей работы, является расход топлива. От уровня расхода топлива техническими средствами существенно зависят их эксплуатационные затраты.

Расход топлива оценивался разработанным нами расходомером [59].

Сравнение полученных результатов осуществлялось с данными учетной документации хозяйств. Следует отметить, что расхождение расхода топлива, полученного указанными методами, не превышало 5 %.

Расход топлива при движении ТТС с поля до места складирования и выгрузки рулонов, а также при движении без рулонов назад до поля, оцененный с помощью расходомера, приводился к 100 км пробега ТТС.

Пробег ТТС определялся с учетом среднего расстояние транспортировки рулонов сена до места их выгрузки, которое равнялось 2,8 км, и количества рейсов за смену.

Кроме того, учитывался расход топлива трактором МТЗ-82.1 на погрузке рулонов сена погрузчиком ПКУ-0,8 в ТТС МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, а также расход топлива на холостые переезды ТТС в течение смены, с учетом данных, представленных в табл.4.1 и среднего расхода топлива, равного 5,1 л/ч при движении без груза.

Результаты статистических данных и расчета расхода топлива суммарного за смену и приходящегося на один рулон сена, перевезенный ТТС, представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – К оценке расхода топлива тракторными транспортными средствами

Показатель		Тракторное транспортное средство		
		МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	МТЗ-82.1 + ПТРС-2
Количество рулонов сена, перевезенных ТТС за смену, шт.		42	36	56
Пробег ТТС за смену, км	с грузом	16,8	25,2	19,6
	без груза	16,2	24,8	19,2
Расход топлива в расчете на 100 км, л	с грузом	24,7	23,8	25,6
	без груза	15,8	15,8	16,0
Расход топлива за смену, л	с грузом	4,15	6,00	5,02
	без груза	2,56	3,92	3,07
Расход топлива погрузчиком, л		2,28	-	-
Расход топлива на холостые переезды в течение смены, л		2,41	1,58	1,43
Суммарный расход топлива за смену, л		11,4	11,5	9,52
Расход топлива на один доставленный рулон сена, л/рул.		0,271	0,319	0,170

По полученным результатам расхода топлива на 1 рулон сена при доставке его ТТС к месту выгрузки построен график, рис. 4.5.

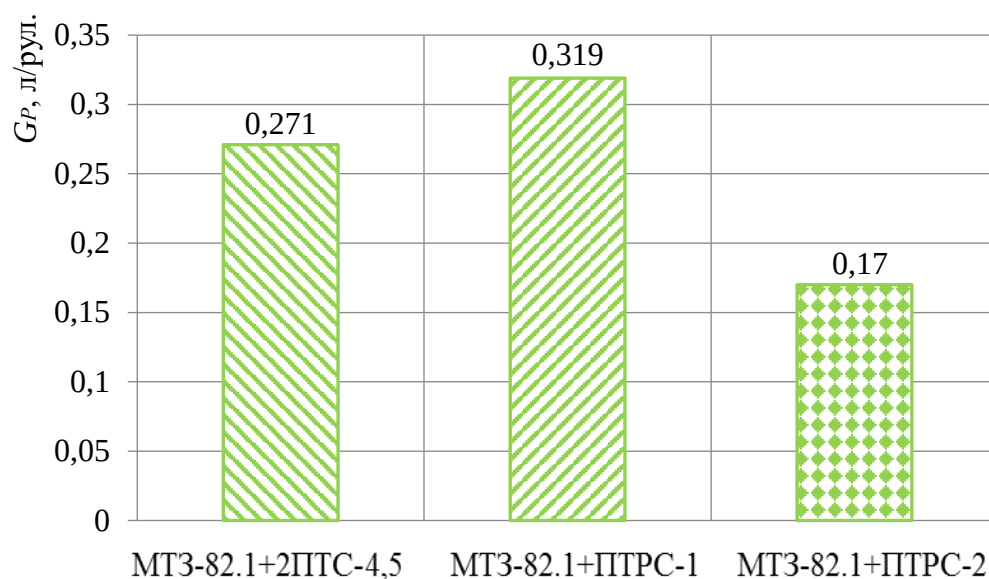


Рисунок 4.5 – Расход топлива сравниваемыми ТТС при перевозке 1 рулона сена с поля к месту выгрузки

Таким образом, наиболее выгодным с точки зрения расхода топлива на один перевезенный с поля к месту складирования рулон сена является разработанное тракторное транспортное средство.

4.4 Результаты оценки затрат труда при использовании исследуемых тракторных транспортных средств на уборке сена в рулонах

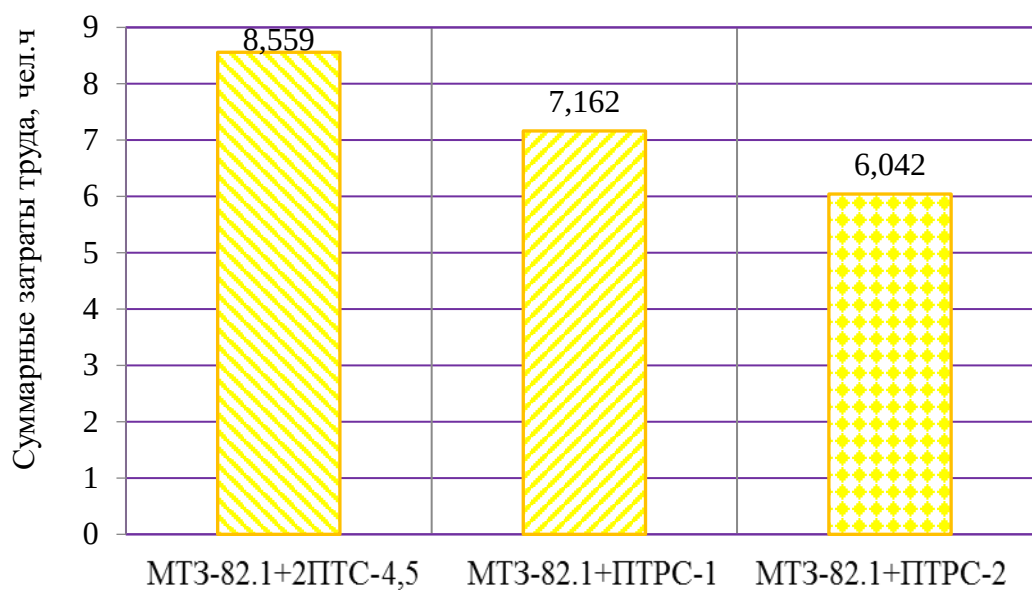
Из выбранных частных показателей использования ТТС на уборке с поля рулонов сена следующий показатель – затраты труда при выполнении операций уборки рулонов сена с поля. Определение данного показателя осуществлялось по зависимости (2.26) с использованием результатов сплошного хронометража работы трех составов ТТС (шести агрегатов, по два в каждом хозяйстве): «MT3-82.1+2ПТС-4,5 при загрузке на тракторный прицеп 7 рулонов сена погрузчиком ПКУ-0,8, MT3-82.1+ПТРС-1 с загрузкой 4 рулонов и MT3-82.1+ПТРС-2 с загрузкой 8 рулонов»[76] на 2 платформы.

Выполнялся расчет затрат труда следующих технологических операций: подготовка агрегатов к выполнению работ, в том числе и при ЕТО, погрузка рулонов в ТТС, транспортировка их от поля к месту выгрузки, разгрузка, возвращение на поле. Каждый агрегат обслуживался одним механизатором.

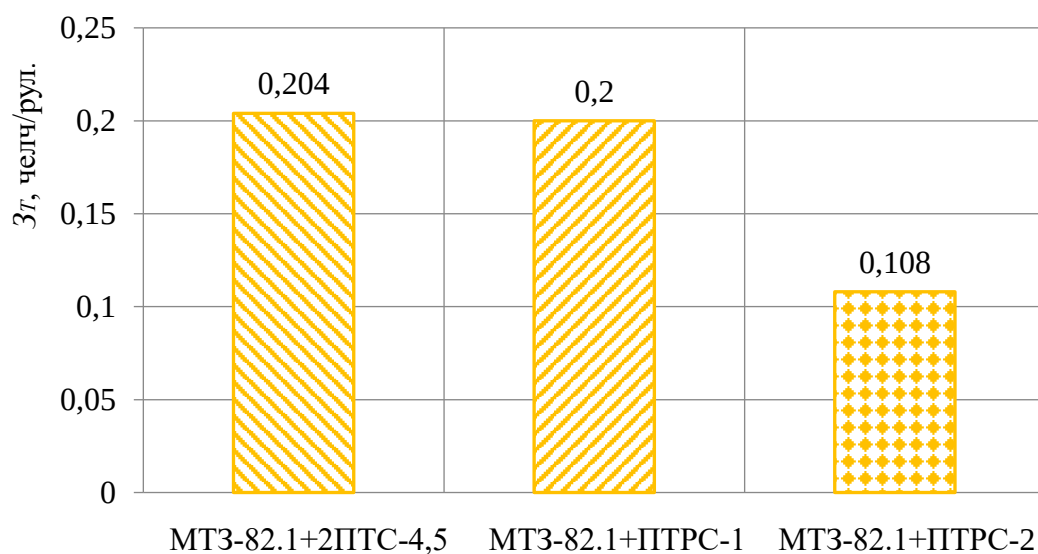
С использованием результатов хронометража работы исследуемых агрегатов для уборки рулонов сена с поля, представленных в табл. 4.1, и с учетом того, что при расчете затрат труда необходимо учитывать затраты времени смены, в течение которых работают 2 механизатора. Эти затраты времени смены равны: на ЕТО агрегата МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 – 0,42 ч, а погрузчика МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8 – 0,31 ч; на переезды МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 – 0,473 ч, а погрузчика МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8 – 0,24 ч; на загрузку одного рулона сена в транспортное средство для МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 и МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8 равны и составляют 0,032 ч, а всего ТТС – 1,344 ч.

С учетом отмеченного выше определены среднестатистические значения затрат времени смены, необходимых для расчета трудозатрат: ТТС МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 при выполнении за смену 6 рейсов затрачивает в среднем 6,975 ч, а агрегат МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8, обеспечивающий его функционирование, 1,894 ч; ТТС МТЗ-82.1+ПТС-1 при выполнении за смену 9 рейсов затрачивает 7,162 ч и разработанного ТТС в течение смены продолжительностью 6,042 ч за 7 выполненных рейсов.

По «зависимости (2.27) с использованием полученных данных по затратам времени на технологические операции и с учетом количества работающих на агрегате рассчитана суммарная трудоемкость по уборке с поля рулонов сена сравниваемыми транспортными тракторными агрегатами за смену (рис.4.6), а также трудоемкость работ, приходящаяся на один рулон (рис.4.7)»[76].



«Рисунок 4.6 – Суммарная трудоемкость работ
МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 / МТЗ-82.1+ПКУ-0,8;
МТЗ-82.1+ПТРС-1; МТЗ-82.1+ ПТРС-2»[76]



«Рисунок 4.7 – Трудоемкость работ на доставку 1 рулона
МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 / МТЗ-82.1+ПКУ-0,8;
МТЗ-82.1+ПТРС-1; МТЗ-82.1+ ПТРС-2»[76]

Результаты исследований показали, что уборка с поля рулонов сена разработанным ТТС МТЗ-82.1+ПТРС-2 позволяет снизить суммарные затраты труда уборки рулонов сена с поля по сравнению с использованием МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 / МТЗ-82.1+ПКУ-0,8 и МТЗ-82.1+ПТРС-1 соответственно на

29,41% и 15,64%, а на доставку с поля одного рулона сена – соответственно на 47,06% и 46,0%

Таким образом, использование разработанного ТТС, оборудованного автоматической системой обнаружения рулонов сена на поле, захвата их с погрузкой на транспортное средство, подъема и опускания дополнительной платформы и выгрузки рулонов сена на площадку с основной и дополнительной платформ, положительно отразится на уровне комплексного критерия эффективности его использования.

4.5 Оценка показателей надежности тракторных транспортных средств

Статистические данные по использованию ТТС в реальных условиях уборки рулонов сена с поля позволили получить наработки до отказов исследуемых ТТС (табл. 4.5).

Таблица 4.5 – Статистические данные по наработкам до отказов ТТС

MT3-82.1+2ПТС-4,5							
Наработка до отказов, шт.	92	206	324	486	525	628	710
	812	950	1074	1156	-	-	-
MT3-82.1+ПТРС-1							
Наработка до отказов, шт.	40	111	222	309	443	517	591
	715	804	908	1054	1133	1287	1370
MT3-82.1+ПТРС-2							
Наработка до отказа, шт.	112	124	182	298	370	412	554
	689	728	811	849	920	994	1092
	1164	1178	1262	1376	1411	1585	1678

Всего зафиксировано 11 отказов ТТС MT3-82.1+2ПТС-4,5; 14 отказов MT3-82.1+ПТРС-1 и 21 отказ разработанного ТТС MT3-82.1+ПТРС-2 при доставленных с поля к месту складирования за 4 года исследований каждым ТТС до 2000 шт. рулонов.

Таким образом, на одно ТТС MT3-82.1+2ПТС-4,5 за один год приходится в среднем 5,5 отказов, MT3-82.1+ПТРС-1 – 7 и на одно ТТС на одно ТТС MT3-82.1+ПТРС-2 – 10,5 отказов. При этом, как следует из результатов хронометража исследуемых ТТС, затраты времени на устранение техниче-

ских отказов МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 за год составляют 7,8 ч, ТТС-прототипа - 7,8 ч и разработанного ТТС МТЗ-82.1+ПТРС-2 - 2,71 ч.

На основе данных, представленных в табл.4.5, и записей в хронокартах получено распределение наработки до отказов 3-х систем каждого ТТС (табл. 4.6).

Таблица 4.6 – Нарботка до отказов систем тракторных транспортных средств

Система	Наработка до отказа, шт.						
МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 и МТЗ-82.1+ПКУ-0,8							
МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 (Шасси)	206	1074	-	-	-	-	-
МТЗ-82.1+ПКУ-0,8 (Оборудование захвата и подъема рулонов; Гидросистема с приводами захвата и подъема рулонов)	324	525	710	812	92	950	1156
	486	628	-	-	-	-	-
МТЗ-82.1+ПТПС-1							
Шасси	715	908	309	-	-	-	-
Оборудование захвата и подъема рулонов	40	804	443	1133	222	591	111
	517	-	-	-	-	-	-
Гидросистема с приводами захвата и подъема рулонов	1054	1287	1370	-	-	-	-
МТЗ-82.1+ПТПС-2							
Шасси	849	811	728	-	-	-	-
Оборудование захвата и подъема рулонов	689	124	554	112	182	412	370
Гидросистема с приводами захвата и подъема рулонов	1376	1262	298	1178	920	1411	1164
	994	1678	1092	1585	-	-	-

Установлено, что средняя наработка на отказ первой системы – шасси ТТС «МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 совместно с МТЗ-82.1+ПКУ-0,8, МТЗ-82.1+ПТРС-1 и МТЗ-82.1+ПТРС-2)»[76] соответственно составила 640, 644 и 796 шт. рулонов сена; для второй системы – оборудования захвата и подъема рулонов сена на платформы транспортного средства соответственно составила 585, 483 и 349 шт. рулонов сена и третьей – гидросистемы с приводами захвата и подъема рулонов сена соответственно составила 557, 1237 и 1337 шт. рулонов сена.

Полученные результаты показали, что вторая система тракторного транспортного средства – оборудование захвата и подъема рулонов сена на платформы требует разработки технических решений для повышения уровня безотказности.

Данные по наработкам до отказов, представленных в табл.4.5, позволили рассчитать наработку на отказ ТТС. При этом для серийного ТТС с погрузкой рулонов сена в прицеп определена наработка на отказ как в целом ТТС, так и отдельно агрегатов МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 и МТЗ-82.1+КПУ-0,8 (табл.4.7).

Таблица 4.7 – Нарботка на отказ тракторных транспортных систем

МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 совместно с МТЗ-82.1+КПУ-0,8							
Нарботка на отказ, ч	2,29	2,84	2,94	4,03	0,97	2,56	2,04
	2,54	3,44	3,09	2,04	-	-	-
Нарботка на отказ, шт.	92	114	118	162	39	103	82
	102	138	124	82	-	-	-
МТЗ-82.1+2ПТС-4,5							
Нарботка на отказ, ч	2,29	3,44	2,56	2,04	-	-	-
МТЗ-82.1+КПУ-0,8							
Нарботка на отказ, ч	2,84	2,94	4,03	0,97	2,54	3,09	2,04
МТЗ-82.1+ПТРС-1							
Нарботка на отказ, ч	0,54	0,96	1,50	1,17	1,81	1,00	1,00
	1,67	1,20	1,40	1,97	1,07	2,08	1,12
Нарботка на отказ, шт.	40	71	111	87	134	74	74
	124	89	104	146	79	154	83

Окончание табл. 4.7							
МТЗ-82.1+ПТРС-2							
Наработка на отказ, ч	1,71	0,18	0,89	1,77	1,10	0,64	2,17
	2,07	0,60	1,27	0,58	1,09	1,13	1,50
	1,10	0,21	1,29	1,74	0,54	2,66	1,42
Наработка на отказ, шт.	112	12	58	116	72	42	142
	135	39	83	38	71	74	98
	72	14	84	114	35	174	93

Среднюю наработку на отказ j -го ТТС в часах $\bar{t}_{oj}$ и штуках рулонов сена $\bar{N}_{oj}$ определяли по формуле :

$$\bar{t}_{oj} = \frac{1}{N_{отк}} \sum_1^{N_{отк}} t_j \quad \text{и} \quad \bar{N}_{oj} = \frac{1}{N_{отк}} \sum_1^{N_{отк}} N_j, \quad (4.1)$$

где t_j , N_j , $N_{отк}$ – соответственно наработка на отказ в часах и штуках рулонов, количество отказов j -го ТТС.

Расчеты по статистическим данным показали, что наработка на отказ МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 совместно с МТЗ-82.1+КПУ-0,8 равна 2,62 ч и 105 шт. рулонов сена, МТЗ-82.1+ПТРС-1 – 1,32 ч и 98 шт. и МТЗ-82.1+ПТРС-2 – 1,22 ч и 80 шт. Определено, что наработка на отказ для агрегата МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 в среднем составила 2,58 ч, а МТЗ-82.1+КПУ-0,8 – 2,63 ч.

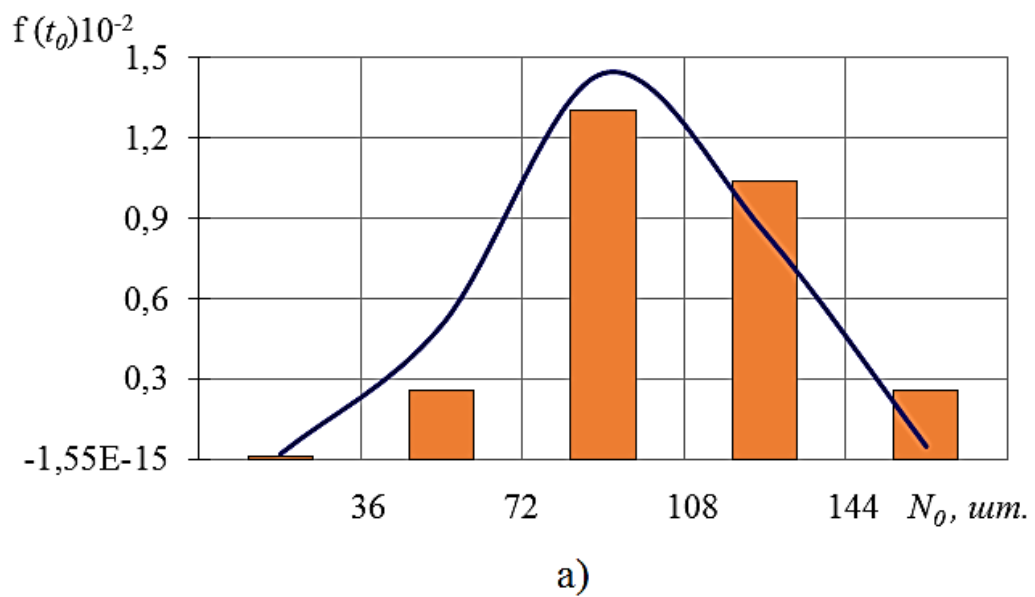
Для построения зависимости плотности распределения отказов по формуле (3.12) определили количество интервалов статистического ряда $n_j = 5$.

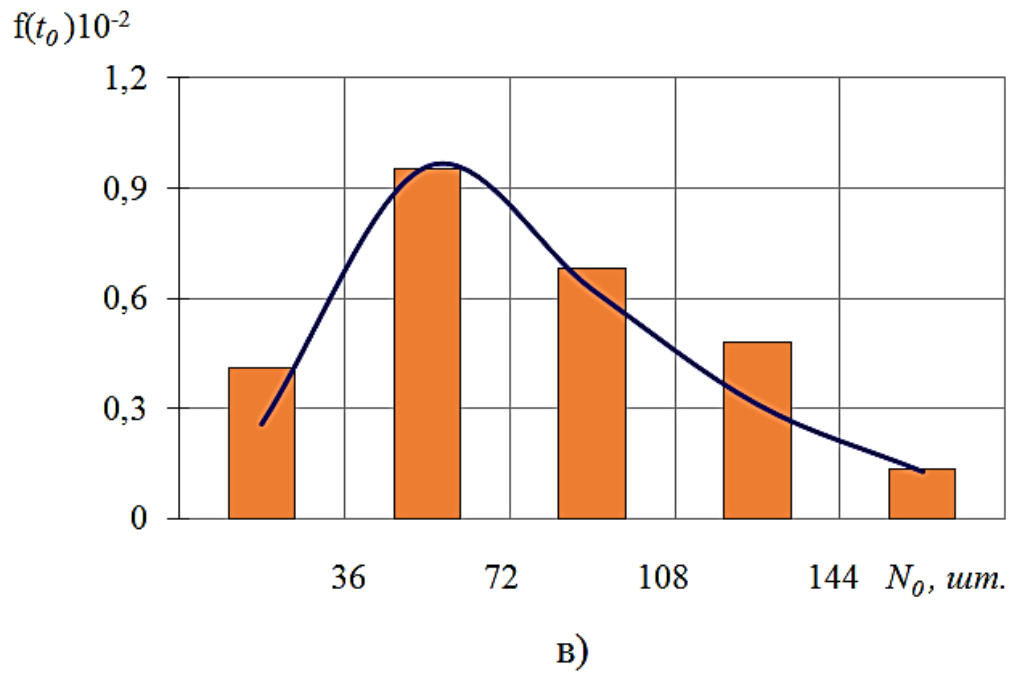
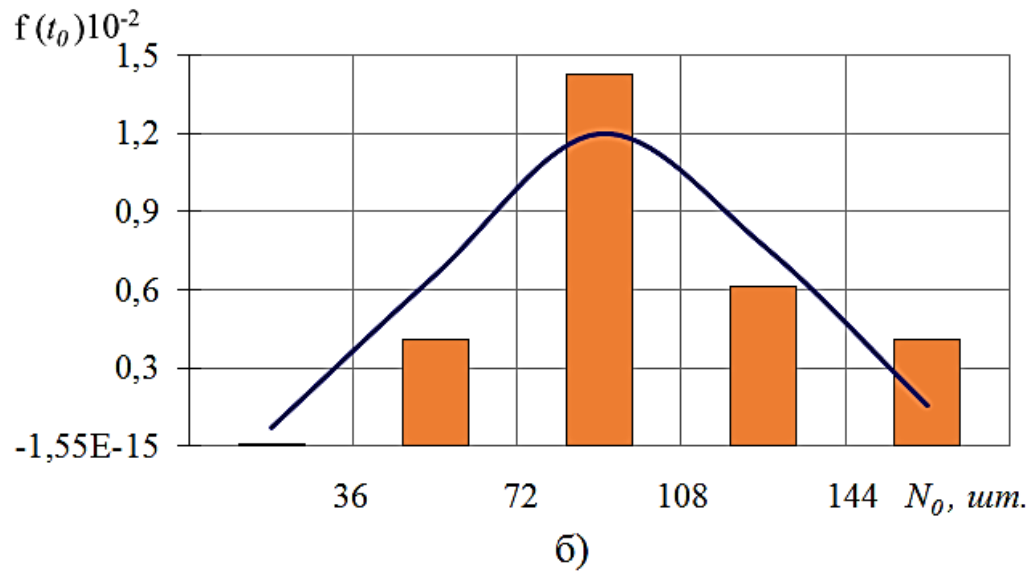
Получены «результаты расчета плотности распределения $f_{\phi}(N_{oi})$ и вероятности безотказной работы $P_{\phi}(N_{oi})$ по статистическим данным и теоретической плотности распределения $f_T(N_{oi})$ » [67] (табл. 4.8).

Таблица 4.8 – «Результаты расчета плотности распределения и вероятности безотказной работы»[67] ТТС

Наименование ТТС	Интервалы группировки, шт.	m_i	$f_{\Phi}(N_{oi})$ 10^{-2}	$P_{\Phi}(N_{oi})$	$P(N_{oi})$	$f_T(N_{oi})$ 10^{-2}
МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	0...36	0	0	1,0	0,999	0,020
	37...72	1	0,260	0,909	0,932	0,501
	73...108	5	1,300	0,454	0,582	1,441
	109...144	4	1,039	0,091	0,125	0,848
	145...180	1	0,260	-	0,034	0,049
МТЗ-82.1 + ПТПС-1	0...36	0	0	1,0	0,996	0,071
	37...72	2	0,408	0,857	0,883	0,658
	73...108	7	1,429	0,357	0,539	1,200
	109...144	3	0,612	0,143	0,169	0,771
	145...180	2	0,408	-	0,020	0,156
МТЗ-82.1 + ПТПС-2	0...36	3	0,408	0,857	0,897	0,857
	37...72	7	0,952	0,524	0,555	0,959
	73...108	5	0,680	0,286	0,274	0,624
	109...144	5	0,480	0,048	0,114	0,311
	145...180	1	0,136	-	0,041	0,128

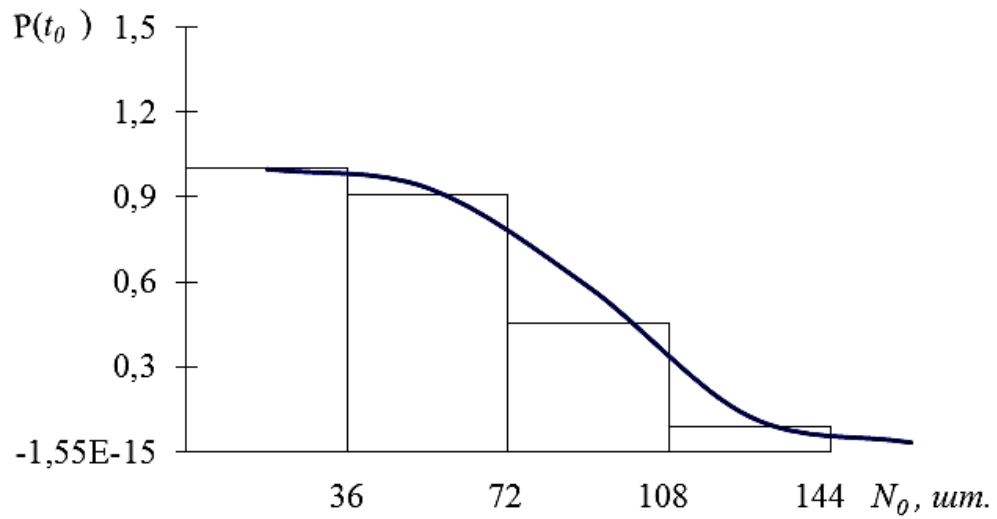
«По значениям $f_{\Phi}(N_{oi})$ каждой системы построены полигоны их распределения»[65] (рис.4.8), а по значениям $P_{\Phi}(N_{oi})$ – гистограммы распределения (рис.4.9).



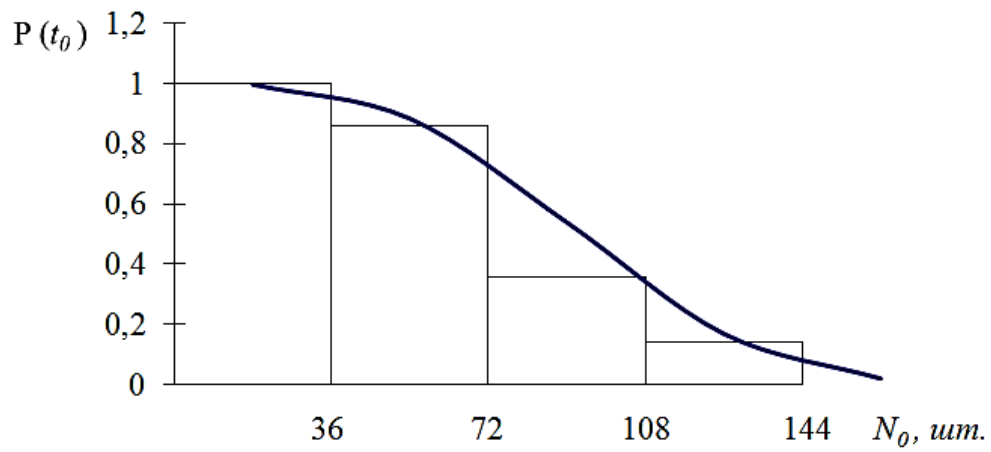


а) серийное ТТС; б) ТТС-прототип; в) разработанное ТТС

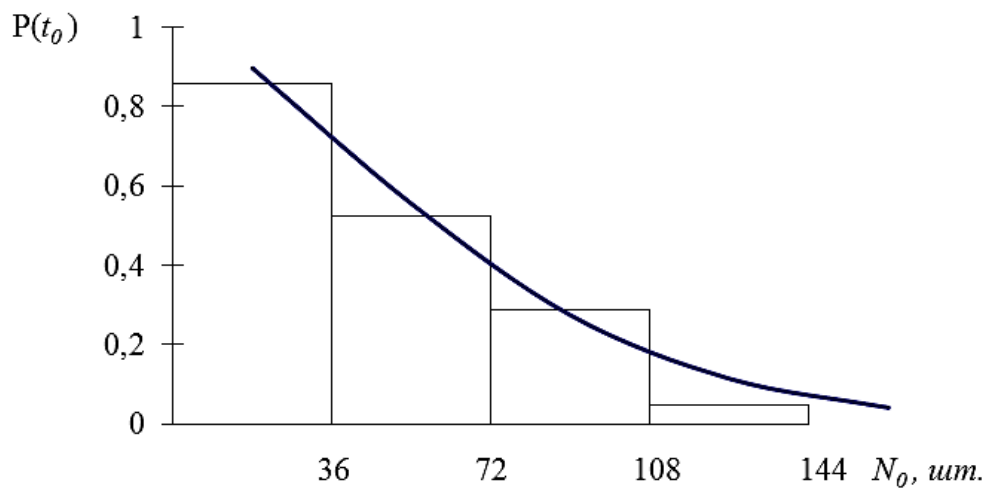
Рисунок 4.8 – Функции плотности распределения наработки на отказ тракторных транспортных систем



a)



б)



в)

а) серийное ТТС; б) ТТС-прототип; в) разработанное ТТС

Рисунок 4.9 – Функции вероятности безотказной работы тракторных транспортных систем

«По виду полигона функции плотности предположили, что $f(N_0)$ распределено по закон Вейбулла.»[65].

Определение параметров закона Вейбулла выполнялось графическим методом (рис. 4.10).

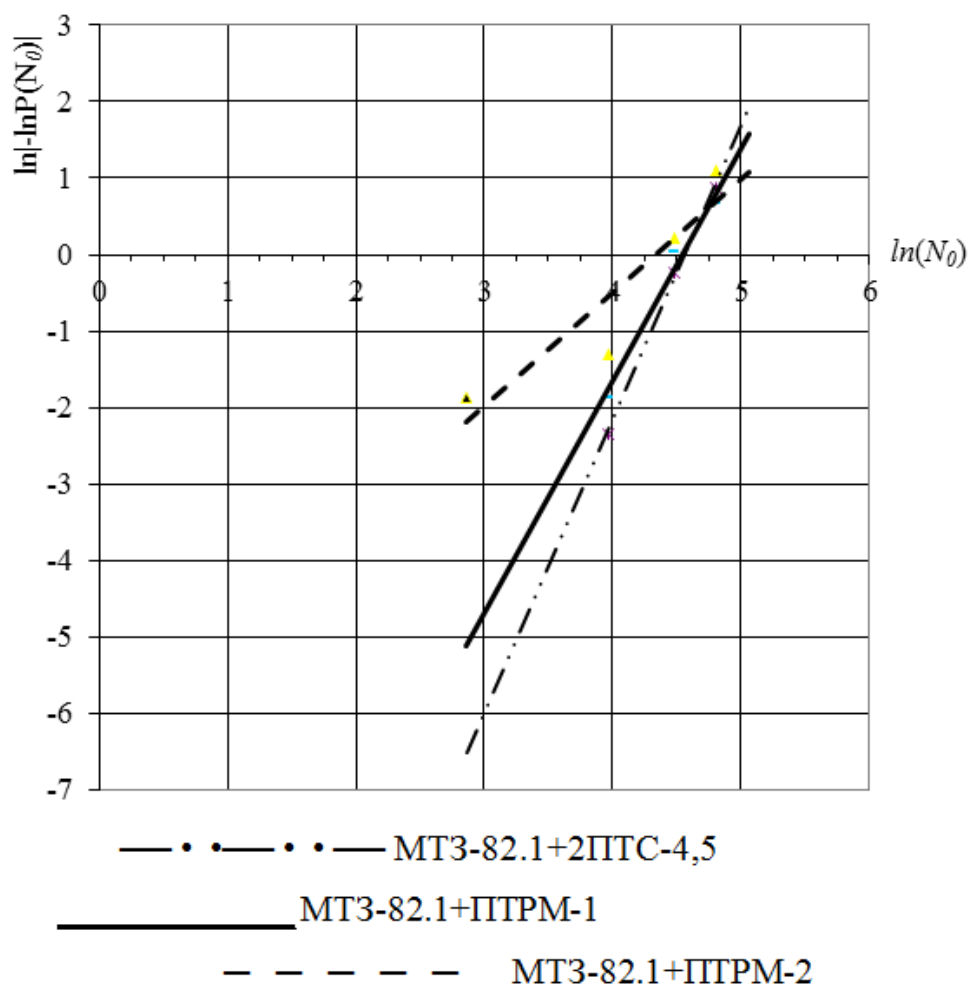


Рисунок 4.10– Графическое определение параметров закона распределения

Для тракторных транспортных систем «значения параметров распределения Вейбулла представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Значения параметров распределения Вейбулла»[100]

Наименование системы	a	b
MT3-82.1+2ПТС-4,5	102	4,00
MT3-82.1+ПТРС-1	102	3,14
MT3-82.1+ПТРС-2	74	1,54

«Согласование опытной информации с законом распределения Вейбулла выполнялось по критерию согласия χ^2 , т.к. этот критерий чаще всего используют к показателям надежности машин сельскохозяйственного назначения.

В таблице 4.10 представлен расчет критерия χ^2 [65].

Таблица 4.10 – Результаты расчета критерия χ^2

Наименование ТТС	Интервал группировки, шт.	m_i	$\frac{(t_{0ki} - c)}{a}$	$F(t_{0ki}) - F(t_{0ni})$	m_{ni}	$\frac{(m_i - m_{ni})^2}{m_{ni}}$
МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	0...36	0	0,172	0	0	0
	37...72	1	0,515	0,07	0,77	0,068
	73...108	5	0,858	0,34	3,74	0,424
	109...144	4	1,201	0,46	5,06	0,221
	145...180	1	1,544	0,13	1,43	0,129
МТЗ-82.1 + ПТРС-1	0...36	0	0,172	0	0	0
	37...72	2	0,515	0,07	0,98	1,062
	73...108	7	0,858	0,34	4,76	1,052
	109...144	3	1,201	0,46	6,44	1,837
	145...180	2	1,544	0,13	1,82	0,018
МТЗ-82.1 + ПТРС-2	0...36	3	0,236	0,12	2,52	0,092
	37...72	7	0,709	0,32	6,72	0,012
	73...108	5	1,182	0,29	6,09	0,196
	109...144	5	1,655	0,20	4,20	0,152
	145...180	1	2,128	0,07	1,47	0,150

Для каждой ТТС определили

$$\sum \chi^2 = \sum (n_i - n_{mi})^2 / n_{mi}, \quad (4.2)$$

где $n_{mi} = n \{F(t_{ki}) - F(t_{ni})\}$.

Так, для МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 $\sum \chi^2 = 0,842$, для МТЗ-82.1+ПТРС-1 $\sum \chi^2 = 3,969$ и для МТЗ-82.1+ПТРС-2 $\sum \chi^2 = 0,602$.

По $\sum \chi^2$ и по числу степеней свободы определили $P(\chi^2)$. В нашем случае $P(\chi^2) > 0,1$. «Это подтверждает, что выбранный теоретический закон распределения Вейбулла является пригодным для выравнивания экспериментальных данных.

Зная параметры закона Вейбулла, определены функция плотности вероятности отказа $f(N_0)$ и вероятность безотказной работы $P(N_0)$:

$$f(N_0) = \frac{b}{a} \left(\frac{N_0}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{N_0}{a}\right)^b\right], \quad (4.3)$$

$$P(t_0) = \exp\left[-\left(\frac{N_0}{a}\right)^b\right]. \quad (4.4)$$

Результаты расчетов [65] $f(N_0)$ и $P(N_0)$ представлены в табл. 4.11 и на рис.4.8 и рис.4.9 соответственно.

Таким образом, определено, что закон распределения наработки на отказ исследуемых ТТС соответствует закону Вейбулла.

Для оценки коэффициента готовности ТТС, принятого нами в качестве одного из частных показателей эффективности использования ТТС, используя статистические данные хронометража работы ТТС, определены затраты времени на устранение отказов по техническим причинам (табл. 4.11).

Таблица 4.11 – Затраты времени на устранение отказов тракторных транспортных систем

Тракторное транспортное средство	Затраты времени на устранение отказов, ч						
МТЗ-82.1 +2ПТС-4,5 совместно с МТЗ-82.1+КПУ-0,8	0,21	0,38	0,14	1,01	0,19	0,31	0,23
	0,35	0,41	0,24	0,14	-	-	-
МТЗ-82.1 +2ПТС-4,5	0,21	0,31	0,23	0,41	-	-	-
МТЗ-82.1+КПУ-0,8	0,38	0,14	1,01	0,19	0,35	0,24	0,14
МТЗ-82.1 +ПТРС-1	0,22	0,16	0,51	0,21	0,19	0,12	0,11
	0,26	0,22	0,16	0,19	0,25	0,24	0,16
МТЗ-82.1+ПТРС-2	0,17	0,18	0,21	0,71	0,12	0,14	0,11
	0,13	0,16	0,09	0,14	0,09	0,12	0,10
	0,14	0,22	0,21	0,17	0,16	0,33	0,14

Данные табл. 4.11 позволили определить:

– затраты времени на устранение технических отказов за уборочный сезон составили: для МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с МТЗ-82.1+КПУ-0,8 $\Sigma \bar{t}_{B1} = 3,61$ ч; для МТЗ-82.1+ПТРС-1 $\Sigma \bar{t}_{B2} = 3,0$ ч и для МТЗ-82.1+ПТРС-2 $\Sigma \bar{t}_{B3} = 3,84$ ч;

– среднее время восстановления работоспособности ТТС: для МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 с МТЗ-82.1 + КПУ-0,8 $\bar{t}_{B1} = 0,33$ ч; для МТЗ-82.1 + ПТРС-1 $\bar{t}_{B2} = 0,21$ ч и для МТЗ-82.1+ПТРС-2 $\bar{t}_{B3} = 0,18$ ч;

– среднее время устранения отказов по техническим причинам агрегатов МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 равняется 0,29 ч, а МТЗ-82.1+КПУ-0,8 – 0,35 ч.

По значениям средних значений наработки на отказ исследуемых ТТС (табл. 4.7) и времени восстановления их работоспособности (табл. 4.11) определены по зависимости (2.31) значения коэффициентов готовности, которые равны: для МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с учетом МТЗ-82.1+ КПУ-0,8 $K_G = 0,89$; для МТЗ-82.1+ПТРС-1 $K_G = 0,86$ и для МТЗ-82.1+ПТРС-2 $K_G = 0,87$. Для серийного ТТС коэффициент готовности для агрегатов, входящих в состав данного ТТС, равен: для МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 $K_G = 0,90$ и МТЗ-82.1+КПУ-0,8 $K_G = 0,88$.

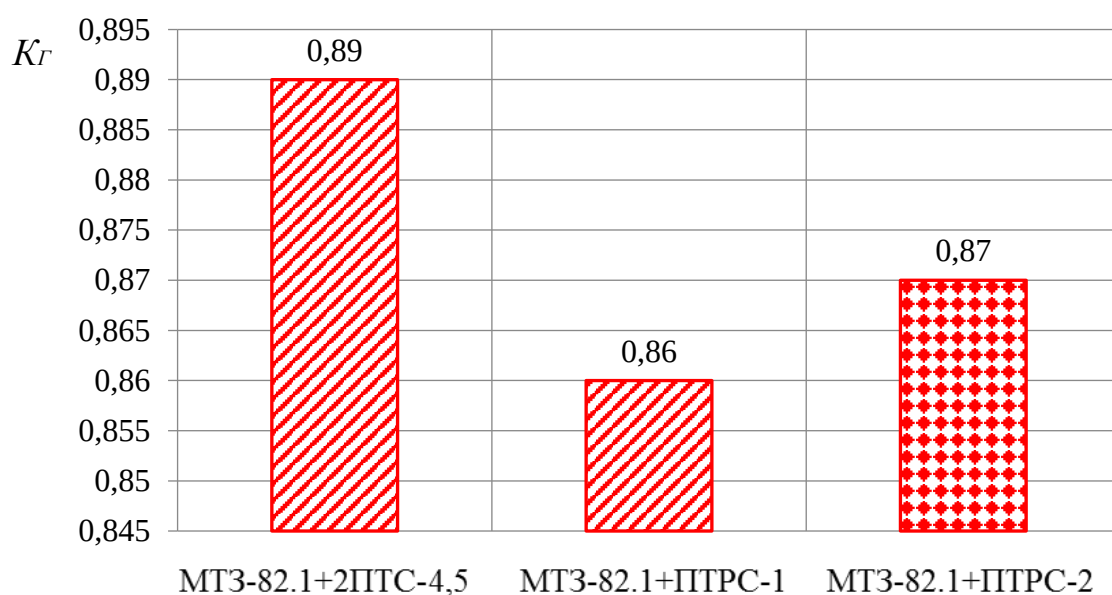


Рисунок 4.11 - Значения коэффициента готовности тракторных транспортных средств

Результаты показали, что более надежным ТТС является серийное. Однако следует отметить, что при числе отказов серийного ТТС меньше, чем у разработанного на 91%, затраты времени на их устранение всего на 6% больше.

4.6 Оценка стоимости технических устройств и механизмов, применяемых на уборке сена в рулонах

В настоящей работе сравниваются, как отмечалось выше, следующие тракторные транспортные средства: 1) серийное ТТС «МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с загрузкой рулонов сена в тракторный прицеп агрегатом МТЗ-82.1 + ПКУ-0,8; 2) прототип МТЗ-82.1+ПТРС-1 и 3) разработанный МТЗ-82.1+ПТРС-2.»[76].

На февраль 2026 г. цена трактора МТЗ-82.1 равнялась 2715000 руб., тракторного прицепа 2ПТС-4,5 – 630000 руб., погрузчика ПКУ-0,8 – 140 000 руб, ПТРС-1 – 690000 руб. и ПТРС-2 – 725000 руб.

Стоимость технических устройств и механизмов, принимающих участие на уборке с поля рулонов сена, рассчитывалась в соответствии с зависимостью (2.32) и учетом цены тракторов технических средств и амортизационных отчислений A как для тракторов, так и других технических средств, входящих в состав ТТС, по формуле:

$$A = HB/100, \quad (4.5)$$

H – годовая норма амортизационных отчислений (принята 10% при сроке службы всех используемых технических устройств и механизмов, равном 10 лет);

B – балансовая цена данного технического устройства или механизма, руб.

Результаты расчета стоимости технических средств, принимающих участие на уборке с поля рулонов сена, $C_{ТС}$ представлены в табл. 4.12 и на рис. 4.12.

Таблица 4.12 – К оценке стоимости технических устройств и механизмов

Показатель	Тракторное транспортное средство		
	МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	МТЗ-82.1 + ПТРС-2
Цена технических устройств и механизмов $C_{ТС}$, руб.	6200000	3405000	3440000
Амортизационные отчисления A , руб.	620000	340500	344000
Стоимость технических устройств и механизмов $C_{ТС}$, руб.	6820000	3745500	3784000

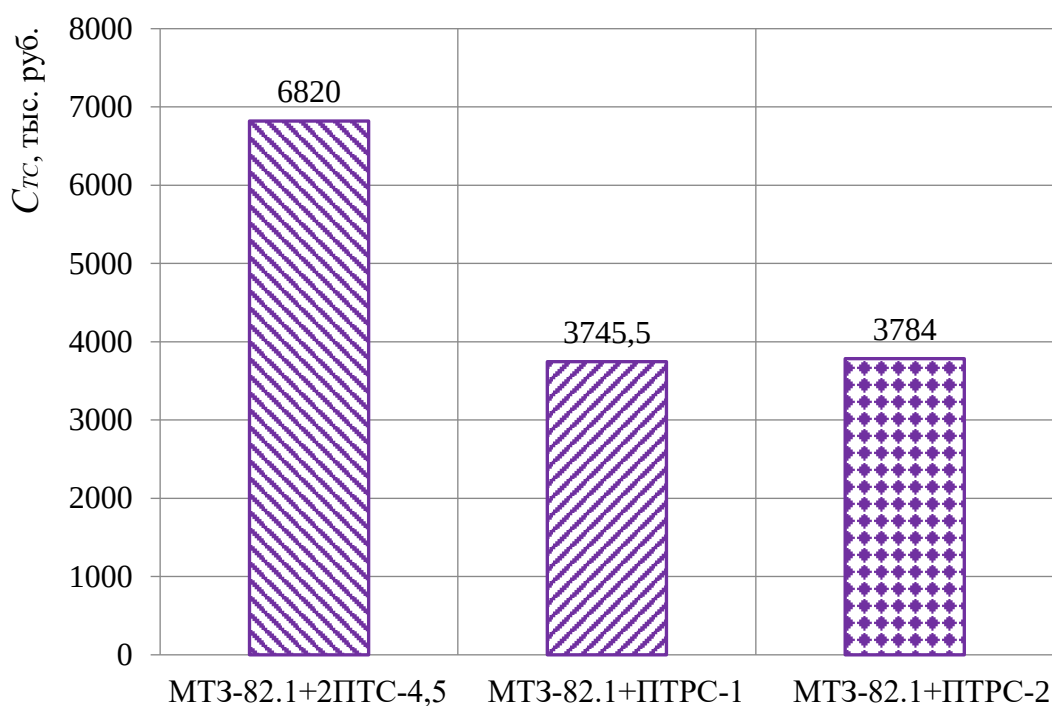


Рисунок 4.12 – Стоимость технических устройств и механизмов уборке рулонов сена

Таким образом, разработанное тракторное транспортное средство МТЗ-82.1+ПТРС-2 имеет стоимость меньше, чем серийное ТТС МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 совместно с МТЗ-82.1+ПКУ-0,8 на 80 % и больше, чем ТТС-прототип МТЗ-82.1+ПТРС-1– на 1 %.

4.7 Результаты оценки комплексного критерия эффективности использования исследуемых технических средств на уборке рулонов сена

Теоретические предпосылки показали, что выбор тракторного транспортного средства из используемых на уборке с поля рулонов сена следует выполнять на основе разработанного комплексного критерия эффективности (2.35).

Расчет данного критерия для трех сравниваемых тракторных транспортных средств осуществлялся с использованием экспериментальных данных по достигнутым значениям частных показателей эффективности, представленных в табл. 4.2 для $W_{чсм}$; в табл. 4.4 для G_P ; на рис. 4.7 для $З_T$; на рис. 4.11 для K_T и в табл. 4.12 для $C_{ТС}$.

Требуемое значение производительности ТТС за один час сменного времени определим с учетом того, что:

- 1) по экспериментальным данным максимальную производительность, равную 3,29 ткм/ч, имеет разработанное ТТС;
- 2) производительность разработанного ТТС может быть увеличена за счет исключения затрат времени на загрузку транспортного средства рулонами сена в течение смены, которые для разработанного ТТС равны $\Delta t = 0,952$ ч, путем автоматизации этой технологической операции.

Если за фактическое время смены разработанное ТТС выполняет 7 рейсов, то на один рейс тратится 0,935 ч ($T_{см} = 6,542$ ч), т.е. за высвободившееся время ТТС может выполнить дополнительно один рейс, транспортируя 8 рулонов сена с массой $\Delta m = 1,176$ т, на расстояние $\Delta L = 2,8$ км.

Увеличение производительности ТТС за один час сменного времени может быть определено по формуле:

$$\Delta W_{чсм} = \Delta m \cdot \Delta L / T_{см}. \quad (4.6)$$

По расчетам $\Delta W_{чсм} = 0,47$ ткм/ч.

Если фактическое значение $W_{чсм} = 3,29$ ткм/ч, то при увеличении производительности на $\Delta W_{чсм} = 0,47$ ткм/ч требуемое (желаемое) значение производительности $W_{чсм}^{TP} = 3,29 + 0,47 = 3,76$ ткм/ч.

Требуемые значения таких частных показателей, как расход топлива на один рулон сена, затраты труда, приходящиеся на один рулон сена и стоимость ТТС, участвующих на уборке рулонов сена приняты лучшие, достигнутые исследуемыми ТТС: $G_P^{TP} = 0,170$ л/рул., $З_T^{TP} = 0,108$ чел.ч/рул. и $С_{ТС}^{TP} = 3745,5$ тыс. руб., а уровень надежности ТТС, оцениваемый коэффициентом готовности, соответствующем коэффициенту готовности агрегата МТЗ-82.1+2ПТС-4,5, $K_T^{TP} = 0,9$.

Для расчета комплексного критерия эффективности применения исследуемых ТТС необходимо знать относительную важность рассматриваемых частных показателей. Данный показатель рассчитывался по методике, представленной в разделе 2. При этом, по данным опроса 12 экспертов составлена таблица результатов ранжирования (табл.4.13), используя данные которой определены ранги частных показателей эффективности использования ТТС на перевозке рулонов сена (табл.4.14).

Таблица 4.13 – Ранжировка частных показателей

Показатель \ № эксперта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Производительность ТТС за один час сменного времени, $W_{чсм}$	1	1	3	1	1	2	1	2	1	2	1	1
Расход топлива на один рулон сена, G_P	2	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Затраты труда, приходящиеся на один рулон сена, $З_T$	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5
Коэффициент готовности ТТС, K_T	4	2	4	4	4	5	4	5	4	5	4	4
Стоимость ТТС, участвующих на уборке рулонов сена, $С_{ТС}$	3	3	1	2	2	1	2	1	2	1	2	3

[illegible]

TS 4.15.2 1.1

N_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

Расчеты показали, что в среднем значение $\rho = 0,776$.

На основе полученных значений рангов частных показателей эффективности использования ТТС на перевозке рулонов сена определены по зависимости (3.13) коэффициенты ε_i (табл. 4.16).

Таблица 4.16 – Расчетные значения коэффициентов важности частных показателей

Частный показатель эффективности	$W_{чсм}$	G_p	$З_T$	K_G	C_{TC}
Значение ε_i	0,36	0,21	0,03	0,09	0,31

Таким образом, с точки зрения экспертов важнейшими частными показателями являются производительность ТТС ($W_{чсм}$) и стоимость ТТС, участвующих на уборке рулонов сена (C_{TC}), а наименее важными – надежность ТТС, оцениваемая коэффициентом готовности K_G и затраты труда, приходящиеся на один рулон сена ($З_T$).

Фактические и требуемые значения частных показателей для сравниваемых тракторных транспортных средств, а также значения K_{Σ} , рассчитанные по зависимости (2.37), представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Значения частных показателей, коэффициентов их относительной важности и комплексного критерия эффективности

Транспортное средство		
МТЗ-82.1+2ПТС-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/шт. и коэффициент относительной значимости $\varepsilon_T = 0,03$		
0,204	0,200	0,108
$З_T^{TP} = 0,108$ чел.ч/рул.		
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 – $C_{ТС}$, руб. и коэффициент относительной значимости $\varepsilon_C = 0,31$		
6820000	3745500	3784000
$C_{ТС}^{TP} = 3745500$ руб.		
K_C		
0,565	0,310	0,313
K_{Σ}		
1,88	2,64	13,89

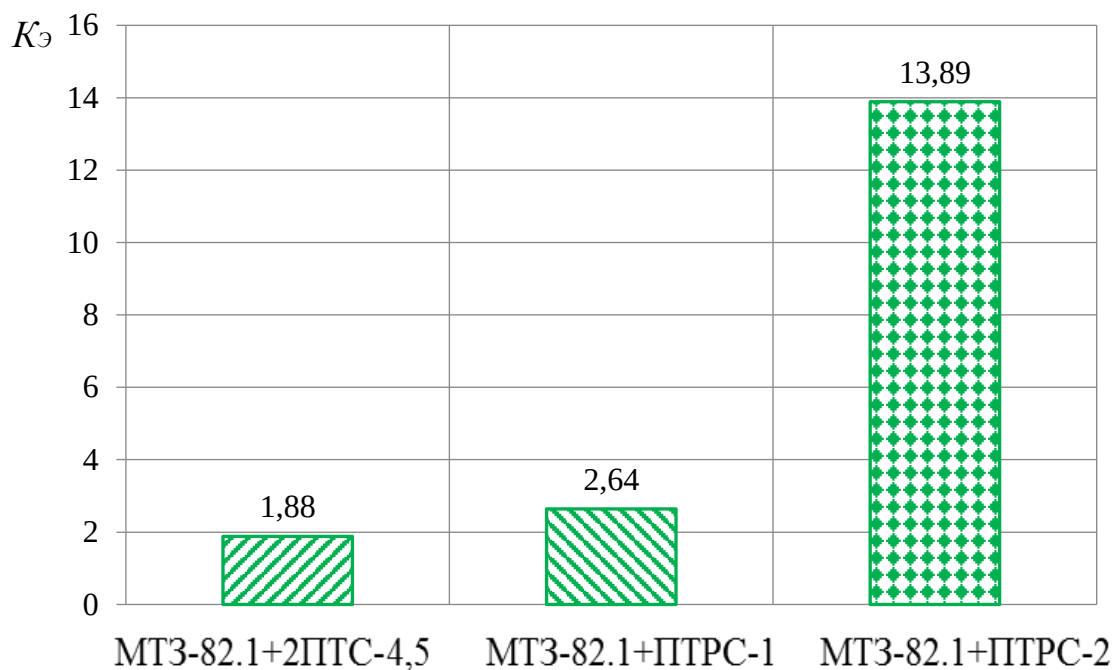


Рисунок 4.13 – Значения комплексного критерия эффективности

Таким образом, комплексный критерий эффективности использования тракторных транспортных средств следующий: $K_{\text{э}}^{\text{ПАЗР}} = 13,89$ 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 MT3-82.1+ПКУ-0,8.

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

4.8 Выводы по разделу 4

1. Дана оценка габаритных и массовых характеристик рулонов сена, которые убираются с поля и перевозятся к месту складирования исследуемыми тракторными транспортными средствами. Установлено, что размеры сечения рулонов сена, перпендикулярном их продольной оси, сформированных пресс-подборщиком ПР-Ф-110, по горизонтали $L_{\Gamma} = 1,11$ м и по вертикали $L_B = 1,08$ м, а для рулонов сена от ППР-120 "Pelikan" соответственно равны $L_{\Gamma} = 1,25$ м и $L_B = 1,19$ м. При этом, расчеты показали, что средне-

квадратическое отклонение исследуемых размеров рулонов сена от ПР-Ф-110 равны $\sigma_{LG} = 0,10$ м и $\sigma_{LB} = 0,08$ м, а от ППР-120 "Pelikan" $\sigma_{LG} = 0,07$ м и $\sigma_{LB} = 0,06$ м. Эллипсность исследуемых рулонов сена незначительна.

2. Анализ результатов хронометража работы исследуемых тракторных транспортных средств по составляющим элементам времени смены показал, что фактическая продолжительность времени смены серийного средства МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5 составляет $T_{см} = 7,475$ ч, прототипа МТЗ-82.1+ПТРС-1 – $T_{см} = 7,662$ ч и разработанного ТТС МТЗ-82.1 + ПТРС-2 – $T_{см} = 6,542$ ч. Наибольшая доля времени смены приходится на доставку рулонов сена к местам складирования и возврат транспортного средства на поле.

3. Результаты исследований показали, что за смену серийное транспортное средство выполняет 6 рейсов, прототип – 9 и разработанное – 7 рейсов; разработанным транспортным средством доставлено в среднем за сезон 644 рулона сена, серийным – 481, а прототипом – 439; производительность серийного транспортного средства за 1 ч сменного времени составила в среднем 2,38 т·км/ч, прототипа – 2,19 т·км/ч и разработанного – 3,29 т·км/ч. Применение разработанного тракторного транспортного средства позволяет повысить производительность за 1 ч сменного времени на 38,24% по сравнению с серийным и на 50,23 % по сравнению с прототипом.

4. Экспериментальные исследования показали, что расход топлива, приходящийся на один рулон сена, доставленный серийным транспортным средством с поля к месту складирования составляет 0,271 л/рул., прототипом – 0,319 л/рул. и разработанным транспортным средством – 0,17 л/рул.

5. Результаты исследований показали, что затраты труда на уборке с поля рулонов сена работающих на разработанном тракторном транспортном средстве МТЗ-82.1+ПТРС-2 составляют 0,108 чел.ч/шт., на транспортном средстве-прототипе МТЗ-82.1+ПТРС-1 – 0,2 чел.ч/шт. и на серийном МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 / МТЗ-82.1+ПКУ-0,8 – 0,204 чел.ч/шт. Использование разработанного тракторного транспортного средства позволяет снизить затраты

труда по сравнению с транспортными средствами серийным и прототипом соответственно на 47,06% и 46,0%.

6. По значениям средних значений наработки на отказ исследуемых тракторных транспортных средств и времени восстановления их работоспособности определены коэффициенты готовности: для МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с учетом МТЗ-82.1+ КПУ-0,8 $K_r = 0,89$; для МТЗ-82.1+ПТРС-1 $K_r = 0,86$ и для МТЗ-82.1+ПТРС-2 $K_r = 0,87$. Для серийного ТТС коэффициент готовности для агрегатов, входящих в состав данного ТТС, равен: для МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 $K_r = 0,90$ и МТЗ-82.1+КПУ-0,8 $K_r = 0,88$.

7. Установлено, что разработанное тракторное транспортное средство МТЗ-82.1+ПТРС-2 имеет стоимость 3784000 руб., что на 80% ниже стоимости серийного транспортного средства МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5 вместе с погрузочным агрегатом МТЗ-82.1+КПУ-0,8, составляющей 6820000 руб. и превышает всего на 1% стоимости транспортного средства-прототипа МТЗ-82.1+ПТРС-1, стоимость которого равна 3745500 руб.

8. Определены требуемые значения выбранных частных показателей эффективности использования тракторных транспортных средств: их производительность за 1 ч сменного времени – $W_{чсм}^{TP} = 3,76$ ткм/ч; расход топлива, приходящийся на один рулон сена, доставленный тракторным транспортным средством с поля к месту складирования – $G_p^{TP} = 0,170$ л/рул.; затраты труда на уборке с поля рулонов сена работающих на тракторном транспортном средстве – $З_T^{TP} = 0,108$ чел.ч/шт.; коэффициент готовности – $K_r^{TP} = 0,9$ и стоимость технических устройств и механизмов, участвующих на уборке рулонов сена, – $C_{ТС}^{TP} = 3745500$ руб.

9. Дана оценка относительной важности производительности тракторного транспортного средства за 1 ч сменного времени, расхода топлива, приходящегося на один рулон сена, доставленного тракторным транспортным средством с поля к месту складирования, затрат труда на уборке с поля рулонов сена работающих на тракторном транспортном средстве, коэффициента

готовности и стоимости технических средств, которые соответственно равны: $\varepsilon_W = 0,36$, $\varepsilon_G = 0,21$, $\varepsilon_T = 0,03$, $\varepsilon_H = 0,09$ и $\varepsilon_C = 0,31$.

10. Расчетные значения комплексного критерия эффективности использования тракторных транспортных средств следующие: $K\varepsilon^{PA3P} = 13,89$ – для разработанного ТТС МТЗ-82.1+ПТРС-2, $K\varepsilon^{ПП} = 2,64$ – для прототипа МТЗ-82.1+ПТРС-1 и $K\varepsilon^{CEP} = 1,88$ – для серийного МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 совместно с МТЗ-82.1+ПКУ-0,8.

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

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОГО ПОГРУЗЧИКА-ТРАНСПОРТИРОВЩИКА РУЛОНОВ СЕНА

Внедрение в производство разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена во многом зависит от экономической эффективности его применения. В связи с этим, сравним экономический эффект от использования исследуемых тракторных транспортных средств: 1 - серийного МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 совместно с МТЗ-82.1+ПКУ-0,8; 2 - ТТС-прототипа МТЗ-82.1+ПТРС-1 и 3 - разработанного ТТС МТЗ-82.1 + ПТРС-2 на погрузке и транспортировке рулонов сена от ПР-Ф-110.

По ГОСТ 34393-2018 [26] «прямые эксплуатационные затраты (С) определяются по формуле:

$$C = Z_{ЗП} + Z_{ГСМ} + Z_P + A + И_D, \quad (5.1)$$

где $Z_{ЗП}$ – затраты на заработную плату для рабочего персонала, руб./т; $Z_{ГСМ}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, руб./т; Z_P – затраты на ремонт и ТО эксплуатируемых машин, руб./т.; A – затраты на амортизационные отчисления, руб./т; $И_D$ – издержки на дополнительные материалы, руб./т.»[26].

При расчете данного экономического показателя следует учесть, что все его составляющие зависят от массы перевезенных рулонов сена в течение определенного периода времени, например, за одну смену. Используя ранее полученные результаты по исследованию использования ТТС, представленные в табл.4.3, определена масса рулонов сена, перевезенных ТТС за смену, табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Масса рулонов сена, перевезенных тракторными транспортными средствами с поля к месту складирования за смену

Показатель	Тракторное транспортное средство		
	МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	МТЗ-82.1 + ПТРС-2
Продолжительность уборки, смен	11,5		
Количество рулонов сена, доставленных за уборочный сезон к месту хранения, шт.	481	439	644
Масса рулонов сена, перевезенных одним ТТС за уборочный сезон, т	70,744	64,535	94,668
Масса рулонов сена, перевезенных ТТС с поля к месту складирования за смену, т	6,152	5,612	8,232

Средняя месячная заработная плата механизаторов, работающих на тракторах, входящих в состав исследуемых агрегатов, в период уборки рулонов сена в хозяйствах, в которых проводились исследования, равнялась 37620 руб. Исходя из того, что продолжительность уборки рулонов сена за сезон составляла 11,5 смен, то заработная плата за смену одного механизатора равнялась в среднем $Z_{пл.см} = 3271,30$ руб./см. Расчет заработной платы механизаторов при работе на рассматриваемых ТТС представлен в табл.5.2. При этом следует отметить, что заработная плата за смену у механизаторов не зависила от того, от каких пресс-подборщиков транспортировались рулоны сена.

Таблица 5.2 – Заработная плата механизаторов, работающих на исследуемых тракторных транспортных средствах с поля к месту складирования за смену

Показатель	Тракторное транспортное средство		
	МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	МТЗ-82.1 + ПТРС-2
Заработная плата за смену, руб./см	6542,60	3271,30	3271,30
Заработная плата за смену за 1 т перевезенных рулонов, руб./т	1063	583	397

Для расчета второго показателя – $Z_{ГСМ}$ отметим, что для трактора МТЗ-82.1 применяются: дизельное топливо Л-0,2-40 ГОСТ 305-82, масла моторное М-10ДМ, трансмиссионное ТАД-17 (SAE80W-90), гидравлическое МГЕ-46В, охлаждающая жидкость «Тосол А-40».

Цена данных технических жидкостей в январе 2026 г. на заправках «Лукойл» составляла соответственно 76, 402, 195, 216 и 172 руб./л.

«Так, средний расход моторного масла для дизельных двигателей установлен примерно 5 %, трансмиссионного масла в 1 % от расхода топлива»[79], а «пластических смазок и других используемых технических жидкостей – 0,3 %»[51].

Зная расход основного топлива ТТС за смену (табл. 4.4), определен расход топлива и других, используемых на исследуемых ТТС, масел и технических жидкостей. Результаты расчетов представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3 – К расчету затрат денежных средств на ТСМ

Показатель	Тракторное транспортное средство		
	МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТРС-1	МТЗ-82.1 + ПТРС-2
Суммарный расход дизельного топлива за сезон, л	131	132	109
Затраты денежных средств на приобретение топлива, руб.	9956	10032	8284
Суммарный расход моторного масла за смену, л	6,6	6,6	5,5
Затраты денежных средств на приобретение моторного масла, руб.	2653	2653	2211
Суммарный расход трансмиссионного масла за сезон, л	1,31	1,32	1,09
Затраты денежных средств на приобретение трансмиссионного масла, руб.	255	257	213
Суммарный расход гидравлического масла за сезон, л	0,4	0,4	0,3
Затраты денежных средств на приобретение гидравлического масла, руб.	86	86	65

Окончание табл. 5.3			
Суммарный расход охлаждающей жидкости за сезон, л	0,4	0,4	0,3
Затраты денежных средств на приобретение охлаждающей жидкости, руб.	69	69	52
Затраты денежных средств на топливо-смазочных материалов за уборочный сезон, руб. /сез.	13019	13097	10825
Затраты денежных средств на топливо-смазочных материалов за смену, руб./см.	1132,09	1138,87	941,30
Затраты денежных средств на топливо-смазочных материалов за смену, приходящиеся на 1 тонну перевезенных рулонов, руб./т	184	203	114

Для расчета затрат на ремонт и ТО $З_{pj}$ j -й машины учтем их балансовую цену $Б_{ТСj}$, отчисления на ТО и ремонт K_{pj} в % и массу рулонов сена, перевезенных j -м ТТС с поля к месту складирования за смену $M_{p.смj}$ по формуле [26]:

$$З_{pj} = Б_{ТСj} K_{pj} / M_{p.смj} . \quad (5.2)$$

Результаты расчета $З_{pj}$ для рассматриваемых ТТС с учетом их срока службы представлены в табл. 5.4.

Коэффициент годовых отчисления на ТО и ремонт K_{pj} для трактора МТЗ-82.1 равен 9,9 %, а для прицепов и погрузчиков – 6 % [85].

Затраты на амортизационные отчисления за срок службы – A определены ранее (см. табл.4.12), а на одну тонну перевезенных за смену рулонов сена – в табл.5.4.

Таблица 5.4 – К расчету затрат на ремонт и ТО и амортизационные отчисления ТТС

Показатель	Тракторное транспортное средство		
	МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТПС-1	МТЗ-82.1 + ПТПС-2
Балансовая цена трактора, руб.	2x2715000 =5430000	2715000	2715000
Отчисления на ТО и ремонт трактора, руб.	537570	268785	268785
Балансовая цена 2ПТС-4,5, ПТПС-1 и ПТПС-2, руб.	630000	690000	725000
Отчисления на ТО и ремонт 2ПТС-4,5, ПТПС-1 и ПТПС-2, руб.	37800	41400	43500
Балансовая цена ПКУ-0,8, руб.	140 000	-	-
Отчисления на ТО и ремонт ПКУ-0,8, руб.	8400	-	-
Суммарные затраты на ремонт и ТО ТТС за год службы, руб./год	58377	31018,5	31228,5
Затраты на ремонт и ТО ТТС за смену, руб./см.	5076	2697	2716
Затраты на ремонт и ТО ТТС $З_{Pj}$, руб./т	825	481	330
Амортизационные отчисления за срок службы, руб.	620000	340500	344000
Амортизационные отчисления за смену, руб./см.	5391	2961	2991
Амортизационные отчисления за смену в расчете на 1 т перевезенных рулонов сена $A_{см}$, руб./т	876	528	363

В процессе выполнения исследований определено, что издержки на дополнительные материалы незначительны. Поэтому данные затраты в прямых эксплуатационных затратах не были учтены.

По зависимости (5.1) рассчитаны прямые эксплуатационные затраты сравниваемых ТТС, результаты которых представлены в табл. 5.5 и на рис.5.1.

Таблица 5.5 – К расчету прямых эксплуатационных затрат сравниваемых ТТС

Показатель	Тракторное транспортное средство		
	МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5	МТЗ-82.1 + ПТПС-1	МТЗ-82.1 + ПТПС-2
Заработная плата за смену, приходящаяся на 1 тонну перевезенных рулонов $Z_{ЗП}$, руб./т	1063	583	397
Затраты денежных средств на топливо-смазочных материалов за смену, приходящаяся на 1 тонну перевезенных рулонов $Z_{ГСМ}$, руб./т	184	203	114
Затраты на ремонт и ТО ТТС $Z_{Рj}$, руб./т	825	481	330
Амортизационные отчисления за смену в расчете на 1 т перевезенных рулонов сена $A_{см}$, руб./т	876	528	363
Прямые эксплуатационные затраты C , руб./т	2948	1795	1204

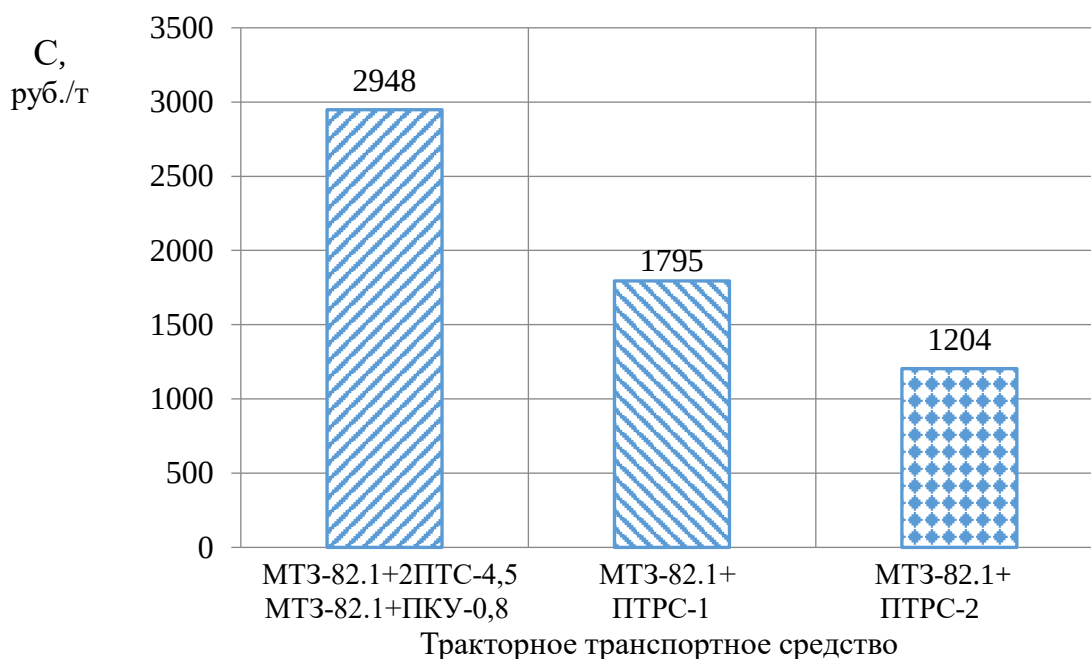


Рисунок 5.1 – Прямые эксплуатационные затраты денежных средств

Результаты расчетов показали, что минимальные эксплуатационные затраты относятся к разработанному погрузчику-транспортировщику рулонов сена МТЗ-82.1+ПТПС-2, которые ниже на 145 %, чем для серийного ТТС

МТЗ-82.1+2ПТС-4,5 с учетом агрегата для погрузки рулонов сена МТЗ-82.1+ПКУ-0,8 и на 49%, чем для погрузчика-транспортировщика рулонов сена - прототипа МТЗ-82.1+ПТРС-1.

Для определения годового экономического эффекта от применения разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена ПТРС-2 учтем реальные данные по использованию ТТС в хозяйствах Волгоградской области, в которых ведется заготовка сена на корм животным. Так, по результатам анализа ряда хозяйств установлено, что ТТС используются в течение $N_{CM} = 20$ смен. При этом, как показали исследования, ПТРС-2 за смену перевозит $n_P = 56$ рулонов от ПР-Ф-110 со средней массой $m_{P1} = 0,147$ т.

В этом случае масса рулонов сена, которые транспортировались за уборочный сезон, равна:

$$M_{PCГ} = N_{cm} \cdot n_P \cdot m_P = 20 \cdot 56 \cdot 0,147 = 165 \text{ т.} \quad (5.3)$$

С учетом полученных данных годовой экономический эффект при транспортировке рулонов сена от пресс-подборщика ПР-Ф-110 рассчитан по зависимости (5.4) и соответственно равен:

$$\mathcal{E}_Г = M_{PCГ} \cdot C = 165 \cdot 1204 = 198660 \text{ руб.} \quad (5.4)$$

Срок окупаемости разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена определим по «формуле:

$$T = \frac{C_K}{\mathcal{E}_Г}, \quad (5.5)$$

где C_K – стоимость разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена, руб.»[93].

При транспортировке рулонов сена от пресс-подборщиков ПР-Ф-110 срок окупаемости разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена равен $T = 1,9$ года.

Таким образом, использование в сельскохозяйственных предприятиях на заготовке сена в рулонах разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена МТЗ-82.1 + ПТРС-2 экономически выгодно.

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 транспор-

тировки 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, приходящийся 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 K_{Σ} , 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 $K_{\Sigma}^{PA3P.} = 13,89$, погрузчика-транспортировщика рулонов сена-прототипа $K_{\Sigma}^{ПП} = 2,64$ и серийного тракторного транспортного средства $K_{\Sigma}^{CEP.} = 1,88$.

Применение на уборке с поля рулонов сена разработанного тракторного транспортного средства эффективнее, чем использование транспортного средства-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 экономиче-

ский 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов И.В. Повышение эффективности использования машин при транспортировке сена в рулонах: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Алмазов Иван Владимирович. Волгоград, 2016. 20 с.
2. Асадуллин Н.М. Современные проблемы использования грузового транспорта в сельском хозяйстве / Вестник Казанского ГАУ 2019. № 4(56). С. 44 – 48.
3. Асадуллин Н.М. Современное состояние инженерно-технической сферы АПК // Материалы научно – практической конференции «Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков». Казань, 2016. С. 332 – 335.
4. Бердышев В.Е. Методология оценки качества функционирования зерноуборочных комбайнов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Т. 76. 2011. № 2. С. 85-89.
5. Бердышев В.Е. Обоснование параметров рабочих органов молотилки зерноуборочного комбайна с аксиально-роторной молотильно-сепарирующей системой: Автореф. дисс. ... доктора технических наук: 05.20.01 / Бердышев Виктор Егорович. Волгоград, 2014. 38 с.
6. Бышов Н. В., Ряднов А. И. Методика комплексной оценки эффективности использования транспорта в сельскохозяйственном производстве / Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 1 (41). С. 104-108.
7. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973. 199 с.
8. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерное приложение. М.: Наука, 1988. 480 с.
9. Влияние энергозатрат живого труда на энергоэффективность использования машинно-тракторного агрегата. Поликутина Е.С., Щитов С.В., Куз-

нецов Е.Е., Кривуца З.Ф. Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17. № 4. С. 218-224.

10. Волков В.С., Буторин Т.А., Филатов Г.М. Повышение эффективности грузовых автомобильных перевозок. Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 42.

11. Вопросы транспортировки сельскохозяйственной продукции на послеуборочном этапе / В.А. Волченкова, В.А. Шафоростов, И.А. Успенский, И.А. Юхин // Актуальные вопросы применения инженерной науки: материалы Международной студенческой научно-практической конференции. – Рязань, 2019. - С. 227-231.

12. Ворохобин А. В. Повышение устойчивости движения колёсного трактора корректированием вертикальных нагрузок на колёса / Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (67). С. 63 – 72.

13. Габаев А. Х. Надежность и безотказность работы модернизированного сошника зерновой сеялки с фторопластовыми бороздообразующими накладками. Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. 2019. № 4 (26). С. 54-58.

14. Гавриленко Н.Г. Использование искусственных нейронных сетей при планировании целевых индикаторов развития грузового автомобильного транспорта РФ / Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2021. Т.15, №2. С.213-218.

15. Голдина И.И., Побединский В.В. Технологический транспорт в сельском хозяйстве. Агропродовольственная политика России. 2022. № 1. С. 6-11.

16. Горяев Н.К., Хабибуллозода Х.Х. Влияние коэффициента использования грузо-подъёмности автотранспортных средств на затраты по ремонту // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2022. Т. 16, № 1. С. 172–177.

17. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 22 с.

18. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения – М.: Стандартиформ, 2017. – 16 с.
19. ГОСТ 18793—80. Пружины сжатия. Конструкция и размеры. [Электронный ресурс] StandartGOST.ru – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294834/4294834486.pdf>
20. ГОСТ Р 50193.3-92 (ИСО 4064/3-83) Измерение расхода воды в закрытых каналах. Счетчики холодной питьевой воды. Методы и средства испытаний. М.: Издательство стандартов, 1992 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200004393>.
21. ГОСТ 24055-2016 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки [Электронный ресурс] StandartGOST.ru – 2018. – Режим доступа: <http://standartgost.ru>.
22. ГОСТ 24055-88 Методы эксплуатационно-технологической оценки. М.: Изд-во стандартов, 1988. 15 с.
23. ГОСТ Р ИСО 4254-1—2011 «Машины сельскохозяйственные. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования». М.: Стандартиформ. 2012. 32 с.
24. ГОСТ 24059-2017 Техника сельскохозяйственная. Транспортные и погрузочные средства. Методы эксплуатационно-технологической оценки [Электронный ресурс] StandartGOST.ru – 2019. – Режим доступа: <http://standartgost.ru>.
25. ГОСТ 27548–97. Корма растительные. Методы определения содержания влаги. Межгосударственный стандарт. Минск.: Изд-во стандартов. Московский печатник, 1998. - 6 с.
26. ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [Электронный ресурс] StandartGOST.ru – 2019. – Режим доступа: <http://standartgost.ru>.
27. Гуськов Ю.А. Экономическая оценка эффективности перевозки рулонов сена // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. №11. С. 6-7.

28. Дегтярев Ю.П., Филатов А.И. Регрессионный анализ на ПЭВМ // Повышение надежности и эффективности использования сельскохозяйственной техники. Сборник научных трудов. Волгоград: Волгоградский СХИ, 1992. С. 128-131.

29. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Сазонов Н.В., Годяева М.М. Оценка эффективности технологического процесса машинно-тракторного агрегата для уборки овощных культур и картофеля. Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 112-116.

30. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля. Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 12-16.

31. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Петухов С.Н., Пономарев А.Г. Тракторный парк аграрного сектора российской федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025. Т. 26. № 5. С. 1176-1187.

32. Зернов В.Н., Петухов С.Н., Пономарев А.Г. Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю? / Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 1. С. 136-148.

33. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е. Автотранспорт для перевозки сельскохозяйственных грузов / Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. №2. С. 19-23.

34. Капов С. Н., Орлянский А. В., Лиханос В. А., Орлянская И. А. Анализ структуры технологического процесса заготовки сенажа в рулонах, упакованных в пленку. Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 1 (45). С. 11-17.

35. Карабцев В.С., Валеев Д.Х. О КПД и коэффициенте эффективности автотранспортного средства / Автомобильная промышленность. 2002. № 10. С. 16–19.

36. Картошкин А. П., Валге А. М., Соловьев Я. С. Влияние надежности машин на риски потерь кормов при заготовке силоса из трав. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022. №2

(67). С. 175-183.

37. Крупин В.Г., Павлов А.Л., Попов Л.Г. Высшая математика. Теория вероятностей, математическая статистика, случайные процессы. Сборник задач с решениями: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2013.– 368 с.

38. Кочетков П.А., Агарков Д.С. Заготовка и использование отходов и побочной продукции растениеводства и животноводства: Рекомендации. Под ред. В.Ф. Бирман; ВНИПТИМЭСХ, ДСХИ. зерноград, 1978. - 39 с.

39. Кушнарев Л.И. Техничко-экономическая оценка отечественной и зарубежной техники: монография // Scientific magazine "Kontsep, Москва. 2013. С. 24.

40. Лебедев А. Т., Серегин А. А., Арженовский А. Г. Повышение эффективности функционирования машин и оборудования АПК управлением надежностью их систем. Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2 (46). С. 4-11.

41. Лимаренко Н.В, Давыдова С.А., Алмазов И.В. Анализ использования грузоподъемности транспортных средств на перевозке рулонов сена. Известия НВ АУК. 2026. 2(86). 450-464.

42. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Иксанов Ш.С. Теоретический аспект технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей // Известия ОГАУ. Оренбург, 2015. №3 (53). С. 92-95.

43. 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.

44. Метод оценки эффективности использования автомобильного транспорта. Кучер А.В., Кривуца З.Ф., Кузнецов Е.Е., Михайлов А.В., Шуравин А.А. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 3 (113). С. 119-123.

45. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Абдуевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. т. 3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 328 с.

46. Николаев Н.Н. Анализ производительности комплекса машин на погрузочно-транспортных работах при заготовке сена // Проблемы эксплуатации транспортных и транспортно-технологических колесных гусеничных машин. зерноград, 2004. С. 86-93.

47. Огнев О.Г., Огнев И.Г., Строганов Ю.Н. Повышение качества функционирования технических средств в растениеводстве // Аграрный вестник Урала. 2012. № 7 (99). С. 53–57.

48. Особенности применения современного тракторного транспорта в технологических процессах по возделыванию сельскохозяйственных культур / Н. В. Бышов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 126. С. 180-198.

49. Основы надежности сельскохозяйственной техники / Л.С. Ермолов, В.М. Кряжков, В.Е. Черкун. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 271 с.

50. Охотников Б.Л., Беликова О.А., Тушнолобов Г.Ю. Повышение эффективности перевозки растениеводческой продукции с поля (на примере урожая картофеля). / Аграрный вестник Урала. 2015. № 8 (138). С. 49–51.

51. Павловский Д. С. Совершенствование технологии уборки зернового сорго на основе использования соргоуборочного комбайна со сменными зерновыми бункерами: Дисс. ... кандидата техн. наук: 4.3.1 /Павловский Дмитрий Сергеевич. Волгоград, 2025. 152 с.

52. Повышение эффективности использования грузовых транспортных средств при перевозке наливных грузов. Пономарев Н.В., Беляков Д.В., Кривуца З.Ф., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16. № 4. С. 108-113.

53. Повышение эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов в АПК. Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Поликутина Е.С., Ковшун А.А., Щитова В.А. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 5 (115). С. 106-110.

54. Повышение эффективности использования энергетических средств при транспортировке грузов полуприцепами. Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Поликутина Е.С., Ковшун А.А., Щитова В.А. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 4 (114). С. 106-110.

55. Повышение эффективности применения колесных энергетических средств на полевых работах в условиях Амурской области. Сурин Р.О., Степанов С.Г., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Бурмага А.В., Самуйло В.В. Аграрный научный журнал. 2025. № 8. С. 147-151.

56. Повышение эффективности уборочно-транспортных работ в агропромышленном комплексе на примере семечковых культур / И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, И.А. Юхин, В.А. Шафоростов // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. 2018. №4 (40). С. 148-154.

57. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта и мобильной сельскохозяйственной техники при внутрихозяйственных перевозках / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, И.А. Юхин, Н.В. Аникин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. №88, С. 519-529.

58. Прицеп тракторный 2ПТС-4,5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Саранск. ОАО «МордовАгроМаш». 2016. 35 с.

59. Расходомер. Ряднов А.И., Федоров А.В. Патент на изобретение RU 2639732 С, 22.12.2017. Заявка № 2017100285 от 09.01.2017.

60. Региональные особенности проведения транспортных работ в аграрном секторе Амурской области. Кучер А.В., Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф., Панова Е.В., Кислов А.А., Самуйло В.В. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 4 (108). С. 99-106.

61. Результаты исследований по использованию тракторных агрегатов на технологических работах. Кушнарев А.Н., Леонов В.В., Шуравин А.А., Панова Е.В., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Решетник Е.И. АгроЭкоИнфо. 2022. № 1 (49).

62. Результаты исследований по улучшению транспортно- технологического обеспечения уборочного процесса. Ус С.С., Гончарук А.И., Ковалевский В.Н., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 59. С. 62-65.

63. Ряднов А.И., Агротехнические решения проблемы уборки зерновых колосовых культур по комплексному критерию эффективности в условиях недостаточного увлажнения: Автореф. дис. ... д-ра с.- х. наук: 05.20.01. Волгоград. 1995. 46 с.

64. 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.

65. Ряднов А.И., Бондарев С.В. Оценка показателей безотказности навесного чизельного плуга ПЧН-4,0К. Научное обозрение. 2017. № 14. С. 63-67.

66. 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.

67. Ряднов А.И., Любимов Р.В., Федоров А.В., Воронин С.М. Оценка производительности и безотказности погрузчика-транспортровщика рулонов сена. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 427-440.

68. Ряднов А.И. Метод выбора транспортных средств при уборке сельскохозяйственных культур // Известия НВ АУК. 2020. №1 (57). С. 350-355.

69. Ряднов, А.И. Методы оценки эффективности уборки сельскохозяйственных культур. Монография. /А.И. Ряднов. – Волгогр. гос. с.-х. академ., Волгоград: ИПК «Нива», 2008. – 108 с.

70. 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.

71. 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.

72. 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.

73. Ряднов А. И., Тронев С. В., Федоров А. В. Оценка устойчивости подборщика-транспортировщика рулонов сена на склонах. Известия НВ АУК. 2026. 4(88). С. 536-545.

74. Ряднов А. И., Фандеев С. Ю. Выбор высокоэффективной технологии уборки рулонов сена из суданской травы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 370-380.

75. 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.

76. 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.

77. 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.

78. 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.

79. Ряднов А.И. Эксплуатация машинно-тракторного парка: курс лекций.– Издание второе, дополненное и переработанное. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2020. – 180 с.

80. Свиридова С.А. Обоснование и разработка рекомендаций по выбору наиболее конкурентоспособных машин для технологических процессов в растениеводстве Краснодарского края: отчет о выполнении научно-исследовательских работ по гос. контракту № 3.4/32-2009 от 15.06.2009. Краснодар: Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех», 2009. 75 с.

81. Синицин А.А. Технологический комплекс заготовки кормов в условиях ООО "Бармино" Лысковского района Нижегородской области // Вестник НГИЭИ. 2012. № 10 (17). С. 91-102.

82. Слесаренко А.А., Морозов И.В., Легощин И.С. Определение производительности транспортных машинно-тракторных агрегатов на перевозке сена // Материалы IX Международной молодежной научной конференции. Курск: Издательство: ЗАО "Университетская книга", 2019. С. 309-310.

83. Снижение повреждений сельхозпродукции при транспортировке / А.А. Усольцев, А.А. Панова, И.А. Юхин, А.А. Голиков // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. 2021. №3. С. 106-111.

84. Теоретические исследования взаимных простоев погрузочных, транспортно-перегрузочных и технологических машин при внесении твердых органических удобрений и дефеката по перегрузочной технологии. Барыкин К.В., Колесников Н.П., Дьячков А.П. Вестник НГИЭИ. 2025. № 6 (169). С. 7-18.

85. Техническое обеспечение производственных процессов в растениеводстве. Расчет технико-экономических и технологических показателей работы машинно-тракторных агрегатов. / О. В. Гордеенко [и др.]. – Горки: БГСХА, 2020. – 36 с.

86. Тихонкин И.В., Гуськов Ю.А., Блынский Ю.Н. Технологические схемы сбора и транспортировки рулонов растительной массы. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 22-23 апреля 2003 г.) / Новосиб. гос. аграр. ун-т., Новосибирск, 2003. - С. 97-103.

87. Тихонкин И.В., Гуськов Ю.А., Блынский Ю.Н. Возможности применения сенсорной техники при заготовке кормов в условиях Западной Сибири. Современные и перспективные технологии в АПК Сибири: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 8-9 июня 2006 г.) / Новосиб. гос. аграр. ун-т. - Новосибирск, 2006. - С. 44-47.

88. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [Электронный ресурс].
<http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения 02.03.2024).

89. Транспортное средство для погрузки, перевозки и разгрузки рулонов преимущественно из сеносоломистых материалов. Ряднов А.И., Федорова О.А., Шарипов Р.В., Фандеев С.Ю. Патент на изобретение RU 2728961 С1, 03.08.2020. Заявка № 2019133726 от 22.10.2019.

90. 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.

91. Унификация расчетов производительности транспортных и транспортно-технологических средств / Н. А. Майстренко, В. П. Уваров, А. Г. Левшин [и др.]. Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30, № 4. С. 637–658.

92. Устройства стабилизации процессов разгрузки и движения транспортных средств / И.А. Юхин, И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, А.С. Попов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф.Х. Бурумкулова. - Саранск, 2016. - С. 295-306.

93. Фандеев С.Ю. Совершенствование технологии и повышение эффективности использования технических средств на уборке рулонов сена: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Фандеев Сергей Юрьевич. Волгоград, 2022. 144 с.

94. Фандеев С.Ю., Ряднов А.И. Результаты использования погрузочно-транспортного средства на уборке рулонов сена. Сб. Международной научно-практической конференции. Том V. ВолГАУ. Волгоград, 2023.- С. 252-257.

95. 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.

96. 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.

97. Федоров А.В., Ряднов А.И. Система автоматизации загрузки транспортного средства рулонами сена. В сборнике: Научное обоснование страте-

гии цифрового развития АПК и сельских территорий. Материалы Национальной научно-практической конференции. Волгоград, 2025. С. 332-338.

98. 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.

99. Федорова О.А., Фандеев С.Ю. К обоснованию комплексного критерия эффективности использования технических средств для уборки суданской травы // Вестник НГИЭИ. 2021. № 6 (121). С. 5-14.

100. Федорова О.А. Эффективные технические решения повышения качества уборки зерновых культур: Дисс. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / Федорова Ольга Алексеевна. Рязань, 2018. 322 с.

101. Ходасевич Б.Г. Об экономике погрузочно-разгрузочных работ в сельском хозяйстве.- Л.: Знание, 1987.- 36 с.

102. Царев Ю. А., Царев О. Ю. Метод повышения эксплуатационной надежности сложных сельскохозяйственных машин. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 189. С. 153-163.

103. Царев Ю. А., Царев О. Ю. О нормировании показателей надежности деталей и сборочных единиц сложных сельскохозяйственных машин. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 184. С. 260-266.

104. Чаплыгин М.Е., Чулков А.С., Степанов К.А. Способы передвижения транспортного средства в поле при подборе груза. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 4 (49). С. 37-43.

105. Чирков Е.П., Бабьяк М.А. Инновационные направления технологического и технического обновления кормопроизводства в России. Техника и технологии в животноводстве. 2022. №3 (47). С. 36 – 41.

106. Чирков Е.П. Инновационные направления интенсификации кормопроизводства. Актуальные вопросы экономики и агробизнеса. Брянск, 2021. С. 180-185.

107. Шепелев С.Д., Черкасов Ю.Б. Обоснование границ эффективности использования накопителя-перегрузжателя // Вестник КрасГАУ. 2013. №12. С.

108. Шарипов Р.В. Совершенствование технологии и технических средств уборки сорго веничного: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.20.03 / Шарипов Ренат Вильевич. Волгоград. 2004. – 20 с.

109. Электротрактора сельскохозяйственного назначения: проблемы и перспективы развития. Фадеев И. В., Успенский И. А., Фомин С. Д., Юхин И. А., Лимаренко Н. В., Митрохина Е. В. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 4 (82). С. 492-502.

110. Экспериментальные исследования технико-эксплуатационных показателей колесного энергетического средства в производственных условиях. Маршанин Е.В., Михайлов А.В., Бутенко А.А., Кузнецов Е.Е. Аграрный научный журнал. 2024. № 12. С. 156-163.

111. Эффективность транспортирования кормов в рулонах / П.П. Гамаюнов, Алексеев С.А., Кузнецов А.Г., Сивицкий Д.В. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. Москва, 2006. №4. С. 52-61.

112. Эффективность телематики в технической эксплуатации автотранспорта. Колотов А.С., Успенский И.А., Юхин И.А., Ушанев А.И., Юмаев Д.М., Филюшин О.В. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 504-511.

113. Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов. Краснодар: КГАУ, 2004. 239 с.

114. Юхин И.А. Методология совершенствования уборочно-транспортных и погрузочно-разгрузочных работ при внутрихозяйственных перевозках плодоовощной продукции в АПК / Голиков А.А., Юхин И.А. //

Наука молодых - агропромышленному комплексу: сборник статей Международной научной конференции молодых учёных и специалистов. – Москва, 2016. С. 193-195.

115. Яновский В. В., Серебряков Л. Г. Методы оценки эффективности капитальных вложений в автотранспортную инфраструктуру региона / Региональная экономика: теория и практика. 2012. № 40 (271). С. 8-15.

116. Automatisierte Quaderballen-Bergung // Neue Landwirtschaft. -1995, № 4- S. 65-68.

117. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex / N V Byshov, S N Borychev, I A Uspensky [идр.] // Conference on Innovations in Agricultural and Rural development: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 341 (2019) 012145 - doi:10.1088/1755-1315/341/1/012145.

118. Increasing the safety of agricultural products during its transportation and unloading. / N.V. Byshov, S.N. Borychev, A.A. Simdyankin [идр.] // ACM International Conference Proceeding Series. 2018. - pp. 176-179.

119. Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation / N V Byshov, S N Borychev, D E Kashirin [и др.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - VOL. 13, № 10, MAY 2018 – pp. 3502-3508.

120. Bale Handler for Safe Damage Free Handling of Round Bales: Проспект фирмы Parmiter (Великобритания). 1990. Р. 2.

121. Easi- Twin Bale Carrier for Transporting Silage Bales 1.2 m before or after Wrapping: проспект фирмы ABT Products. 1990. Р. 2.

122. Grays Round Bale Handlers: Проспект фирмы Grays. 1990. Р. 8.

123. Round Bale Handler from Volag: проспект фирмы Volag. 1990. Р. 2.

124. Super Silo Gripp Big Bale Handler: проспект фирмы Record. - 1990. - Р. 2.

ПРИЛОЖЕНИЯ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2639732

Расходомер

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Ряднов Алексей Иванович (RU), Федоров Алексей Валерьевич (RU)*

Заявка № 2017100285

Приоритет изобретения 09 января 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 22 декабря 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 09 января 2037 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ильин

Комитет сельского хозяйства Волгоградской области



За разработку и внедрение инноваций в АПК
Волгоградской области
ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ МЕХАНИЗАЦИИ,
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
Ноябрь 2024г

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Транспортное средство для погрузки, перевозки
и разгрузки рулонов сена

Федорова О.А., Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Федоров А.В.

Председатель
комитета сельского хозяйства
Волгоградской области



М.В. Морозова

ДИПЛОМ

III СТЕПЕНИ

НАГРАЖДАЮТСЯ

ФЕДОРОВ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ
аспирант, Волгоградский ГАУ
РЯДНОВ АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ
д. с.-х. н., профессор, Волгоградский ГАУ

за выступление на
НАЦИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОГО
РАЗВИТИЯ АПК И СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ»

Секция «Эффективность использования техники и технологии в
сельскохозяйственном производстве»

12 декабря 2024 г.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»

Ректор Волгоградского ГАУ



В.А. Цепляев

Таблица В1 – К оценке средней массы рулона сена, спрессованного
пресс-подборщиком ПР-Ф-110

№ рулона	m_p , кг	№ рулона	m_p , кг	№ рулона	m_p , кг	№ рулона	m_p , кг
1	148	26	149	51	156	76	140
2	146	27	148	52	151	77	157
3	152	28	142	53	147	78	148
4	147	29	136	54	143	79	149
5	139	30	149	55	148	80	156
6	143	31	147	56	152	81	147
7	165	32	129	57	149	82	148
8	128	33	132	57	142	83	139
9	148	34	144	59	138	84	145
10	149	35	152	60	147	85	148
11	152	36	142	61	145	86	152
12	151	37	143	62	142	87	146
13	139	38	151	63	153	88	153
14	158	39	148	64	138	89	147
15	142	40	129	65	146	90	149
16	152	41	136	66	142	91	145
17	139	42	158	67	153	92	128
18	138	43	139	68	158	93	151
19	142	44	156	69	162	94	148
20	149	45	156	70	159	95	148
21	152	46	152	71	158	96	147
22	152	47	148	72	148	97	136
23	148	48	141	73	152	98	148
24	157	49	143	74	156	99	141
25	149	50	138	75	138	100	150

Таблица В2 – К расчету $P(t)$ для массы рулонов сена от ПР-Ф-110

Интервал	125-128	129-132	133-136	137-140	141-144	145-148	149-152	153-156	157-160	161-165
Число точек информации	2	3	3	10	15	27	23	8	7	2
$P(t)$	0,02	0,03	0,03	0,10	0,15	0,27	0,23	0,08	0,07	0,02

Таблица В3 – К оценке средней массы рулона сена, спрессованного
пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan»

№ рулона	m_p , кг	№ рулона	m_p , кг	№ рулона	m_p , кг	№ рулона	m_p , кг
1	253	26	249	51	256	76	239
2	238	27	248	52	261	77	241
3	247	28	254	53	254	78	258
4	251	29	243	54	257	79	256
5	253	30	246	55	257	80	256
6	237	31	248	56	259	81	247
7	241	32	252	57	241	82	232
8	250	33	251	57	239	83	244
9	246	34	260	59	245	84	244
10	245	35	258	60	260	85	250
11	260	36	248	61	249	86	252
12	253	37	233	62	255	87	248
13	236	38	236	63	247	88	250
14	258	39	245	64	260	89	254
15	240	40	249	65	258	90	251
16	247	41	260	66	249	91	248
17	232	42	264	67	251	92	247
18	249	43	254	68	254	93	239
19	251	44	241	69	233	94	229
20	265	45	249	70	243	95	235
21	248	46	247	71	247	96	261
22	248	47	243	72	251	97	245
23	259	48	228	73	248	98	254
24	238	49	229	74	251	99	238
25	257	50	235	75	249	100	254

Таблица В4 – К расчету $P(t)$ для массы рулонов сена от ППР -120 «Pelikan»

Интервал	225- 228	229- 232	233- 236	237- 240	241- 244	245- 248	249- 252	253- 256	257- 260	261- 265
Число точек информации	1	4	6	8	11	21	19	14	12	4
$P(t)$	0,01	0,04	0,06	0,08	0,11	0,21	0,19	0,14	0,12	0,04

Таблица Г1 – К расчету $P(t)$ для габаритных размеров рулонов сена
от ПП-Ф -110

Среднее значение интервала	0,9	0,95	1,0	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30
Число точек информации L_G	0	4	12	16	23	21	11	9	4
$P(t)$	0	0,04	0,12	0,16	0,23	0,21	0,11	0,09	0,04
Число точек информации L_B	4	14	23	24	15	10	7	3	0
$P(t)$	0,04	0,14	0,23	0,24	0,15	0,10	0,07	0,03	0

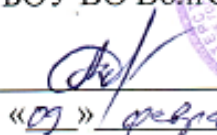
Таблица Г2 – К расчету $P(t)$ для габаритных размеров рулонов сена
от ППР-120 «Pelikan»

Среднее значение интервала	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40
Число точек информации L_G	1	4	17	27	25	16	7	3
$P(t)$	0,01	0,04	0,17	0,27	0,25	0,16	0,07	0,03
Число точек информации L_B	6	22	27	26	14	3	2	0
$P(t)$	0,06	0,22	0,27	0,26	0,14	0,03	0,02	0

Таблица Д1 – Среднестатистические результаты хронометража работы агрегатов в течение смены за 4 года исследований

Составляющие времени смены	Состав агрегата		
	МТЗ-82.1 + ПТРС-1 с загрузкой 4 рулонов	МТЗ-82.1 + ПТРС-2 с загрузкой 8 рулонов	МТЗ-82.1+ПТС-4,5 с загрузкой 7 рулонов + МТЗ-82.1+ПКУ-0,8
	№ тракторного транспортного средства		
	1	2	3
Время на ежесменное техническое обслуживание, ч	0,310	0,330	0,420 + 0,310 = 0,730
Время на переезды по полю, ч	0,270	0,280	0,240 + 0,442 = 0,682
Время загрузки одного рулона сена в транспортное средство, ч	0,032	0,017	0,032
Время загрузки одного транспортного средства рулонами сена, ч	0,128	0,136	0,224
Время загрузки транспортных средств рулонами сена в течение смены, ч	1,152	0,952	1,568
Время доставки рулонов сена к месту хранения, их выгрузка и возвращение агрегата в поле за один рейс, ч	0,710	0,640	0,978
Время доставки рулонов сена к месту хранения, их выгрузка и возвращение агрегата в поле за смену, ч	6,390	4,480	6,846

«Утверждаю»

Проректор по НИР
ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ,
Ряднов А.А.
«09» февраля 2026г.

«Утверждаю»

Глава ИП Алмазова П.К.
Кумылженского района
Волгоградской области
Алмазова П.К.
«09» февраля 2026г.

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы

Настоящим актом подтверждается, что в уборочные сезоны 2022-2025 годов на полях ИП Алмазова П.К. Кумылженского района Волгоградской области проводились исследования погрузчика-транспортировщика рулонов сена, оборудованного основной и дополнительной платформами, разработанного сотрудниками ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ под руководством профессора кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» Ряднова А.И.

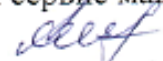
В процессе уборки рулонов сена с полей оценивалась работоспособность разработанного погрузчика-транспортировщика рулонов сена, проводился хронометраж его работы, а также серийного транспортного агрегата на базе трактора МТЗ-82.1 и одноярусного погрузчика-транспортировщика рулонов, определялись их производительность, расход топлива и другие технико-эксплуатационные показатели.

Установлено, что экспериментальный погрузчик-транспортировщик рулонов сена, оборудованный основной и дополнительной платформами, обеспечивает качественную погрузку рулонов сена на обе платформы без применения дополнительных технических средств и высокую производительность на транспортировке рулонов сена, что явилось основой для принятия решения руководством ИП о дальнейшем его использовании в хозяйстве.

Профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК»,
доктор с.-х. наук, профессор

 Ряднов А.И.

Аспирант кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК»

 Федоров А.В.

«Утверждаю»

Проректор по НИР
ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ,

Ряднов А.А.
«02» февраля 2026г.
АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, Березин Юрий Иванович – глава крестьянского хозяйства, расположенного в Михайловском районе Волгоградской области, и аспирант ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ Федоров Алексей Валерьевич составили настоящий акт в том, что аспирант Федоров А.В. в уборочные сезоны 2022 и 2023 годов проводил оценку размерно-массовых характеристик рулонов сена, сформированных пресс-подборщиками ПР-Ф-110 и ППР-120, и экспериментальные исследования работоспособности, надежности и производительности разработанного сотрудниками ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ под руководством профессора кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» Ряднова А.И. двухярусного погрузчика-транспортировщика рулонов сена на их подборе и транспортировке с поля к месту складирования.

Установлено, что экспериментальный погрузчик-транспортировщик рулонов сена, оборудованный основной и дополнительной платформами, обеспечивает качественную погрузку рулонов сена на обе платформы без применения дополнительных технических средств и высокую производительность на транспортировке рулонов сена, что явилось основой для принятия решения главой КХ о дальнейшем его использовании в хозяйстве.

Глава крестьянского хозяйства
Березин Ю.И.Аспирант кафедры «Эксплуатация и
технический сервис машин в АПК»
Федоров А.В.
