

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

Куриленко Алексей Викторович

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ
СКОРОСТИ ТРАКТОРА
ВИДЕОРЕГИСТРАЦИЕЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Специальность: 4.3.1

Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель –

доктор технических наук

Девянин С.Н.

Москва 2025

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Анализ влияния буксования на эффективность работы машины и способы определения буксования	8
1.1. Буксование как физический процесс создания тяговой силы ведущего колеса.....	8
1.2. Буксование и эффективность работы ведущего колеса	14
1.3. Способы определения действительной скорости машины.....	17
1.4. Выводы и задачи исследований.....	31
Глава 2. Влияние буксования на эффективность ведущего колеса	33
2.1. КПД ведущего колеса	33
2.2. Выражение для определения коэффициента буксования	36
2.3. Определение количественных характеристик коэффициента податливости.....	43
2.4. Оценка влияния буксования на КПД ведущего колеса.....	54
Выводы по второй главе	57
Глава 3. Экспериментальные установки для определения действительной скорости с помощью видеорегистрации.....	59
3.1. Лабораторная экспериментальная установка для оценки способов видеорегистрации.....	59
3.2 Экспериментальная установка, на базе трактора МТЗ – 82	67
Выводы по третьей главе.....	78
Глава 4. Результаты экспериментальных исследований.....	79
4.1 Программа оценки использования видеорегистрации на различных почвенных фонах.....	79
4.1.1 Программа экспериментальных исследований на лабораторной установке	79
4.1.2 Программа экспериментальных исследований на тракторе МТЗ – 82 ..	80
4.2 Методика определения действительной скорости по видеонаблюдению	81
4.3. Оценка использования видеорегистрации на различных почвенных фонах	87
4.4. Результаты лабораторных испытания способа видеорегистрации	92
4.4.1 Результаты применения демпфирующего устройства	93
4.4.2 Результаты экспериментального исследования на тракторе МТЗ-82	95

4.5 Оценка достоверности определения действительной скорости по результатам обработки видеорегистрации	107
Выводы по четвёртой главе.....	114
Глава 5. Оценка технико-экономической эффективности применения устройства	116
5.1. Исходные данные для технико-экономической оценки	117
5.2 Методика расчета	119
5.2.1 Расчет оплаты труда.....	120
5.2.2 Затраты на ГСМ.....	122
5.2.3 Затраты на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава	123
5.2.4 Расчет годовой экономии от способа видеорегистрации	125
5.2.5 Расчет экономического эффекта.....	125
5.2.6 Расчет срока окупаемости	125
5.3. Рекомендации по применению устройства измерения действительной скорости трактора.....	127
Выводы по пятой главе.....	130
Заключение	132
Список использованной литературы.....	134
Приложения	149

Введение

Актуальность исследования. Буксованию двигателей сельскохозяйственных машин уделяется большое внимание, так как оно оказывает существенное влияние на производительность машины и экономичность выполнения технологической операции. Управление двигателями самоходных машин для обеспечения оптимального буксования ограничивается оперативным определением величины буксования в процессе выполнения тяговых работ.

Внедрение систем видеорегистрации и обработки данных открывает новые возможности для автоматизации и оптимизации сельскохозяйственных процессов. Разработка методов определения скорости на основе этих технологий способствует развитию умной техники и повышению её эффективности.

Точное определение скорости также помогает снизить затраты на топливо и обслуживание техники, а также оптимизировать использование ресурсов. Это особенно актуально в условиях экономической нестабильности и роста цен на энергоносители. А методы определения скорости на основе видеорегистрации могут быть интегрированы с другими системами управления и мониторинга, что позволяет создавать комплексные решения для оптимизации работы техники.

Внедрение таких методов способствует развитию технологий автоматизации и повышению эффективности использования тягово-транспортных средств (ТТС) в сельском хозяйстве.

Современные экспериментальные исследования, направленные на изучение процессов взаимодействия ходовой системы колесных тракторов с почвой, доказывают, что при оптимизации состава и режимов работы машинно-тракторного агрегата (МТА) необходимо учитывать не только максимальную производительность МТА при минимальных финансовых затратах, но и экологические аспекты, определяемые допустимым значением коэффициента буксования колесного двигателя, обеспечивающим

сохранение структуры и плодородия почвы. Выбор таких рациональных режимов нагружения, согласно классической теории трактора, основывается на использовании тяговой характеристики трактора, полученной в процессе его тяговых испытаний.

Степень изучения и разработанности научной проблемы. Научные основы исследований действительной скорости сельскохозяйственных машин и машинных агрегатов сформированы на базе работ В.П. Горячкина, Е.Д. Львова, Д.К. Карельских, В.Н. Болтинского, О.Н. Дидманидзе, В.И. Черноиванова, Г.М. Кутькова, С.Н. Девянина, А.Г. Арженовского, А.Г. Левшина, Б.С. Свирщевского и др., а также зарубежных ученых - Adams B.T., Brixius W.W., Cleveland W.S., Hast A., Lancas K.P., Wong, J.Y. и др.

Цель работы заключается в разработке метода определения в режиме реального времени действительной скорости движения для оценки буксования ведущих колеса трактора на тяговых работах.

Для достижения этой цели необходимо последовательно рассмотреть вопросы, определяющие эксплуатационные свойства современных тракторов и сельскохозяйственных машин, а также решить следующие **задачи**:

1. Определить оптимальное буксование на различных почвенных фонах
2. Теоретически обосновать использование видеорегистрации для определения действительной скорости трактора.
3. Экспериментально проверить возможность использования видеорегистрации на различных сельскохозяйственных фонах опорной поверхности.
4. Провести экспериментальную проверку разработанного способа видеорегистрации для определения действительной скорости.
5. Разработать рекомендации по использованию разработанного способа определения действительной скорости движения для оценки буксования.

Объект исследования: процесс измерения действительной скорости движения трактора.

Предмет исследования: использование видеорегистрации опорной поверхности для определения относительной скорости движения.

Научная новизна:

1. Предложена оригинальная зависимость взаимосвязи относительной касательной силы колеса с величиной буксования.
2. Разработан метод определения действительной скорости трактора на основе видеорегистрации опорной поверхности.

Практическая и теоретическая значимость. Разработанный метод позволяет оперативно определять действительную скорость трактора для оценки буксования движителей и выполнять оперативное управление движением, что позволяет повысить эффективность использования тягово-транспортных средств за счет улучшения их эксплуатационных свойств, в частности снижения потерь при буксовании движителей трактора.

Представленный в диссертации метод определения действительной скорости разработан для тягово-транспортных средств различного назначения.

Методология и методы исследования. При выполнении научного исследования использованы методы аналитического исследования выполненных ранее работ, математического анализа физических процессов, экспериментальных исследований на модельной установке и реальном объекте, статистической обработки полученных результатов с использованием современных вычислительных средств.

Апробация результатов исследования. Основные научные положения выпускной квалификационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях:

1. Научный семинар чтения академика В.Н. Болтинского (Москва, 17-18 января 2023г);
2. Наука без границ и языковых барьеров (Орёл, 27-28 апреля 2023 г.);

3. Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения Миловича Александра Яковлевича(Москва, 3-5 июня 2024г).;

4. Научно-практическая конференция, посвященная 90-летию Шарова М.Н., в рамках постоянно действующего семинара «Чтения академика В.Н. Болтинского» (Москва 23-24 октября 2024г.)

5. Научный семинар чтения академика В.Н. Болтинского (Москва, 17-18 января 2024г);

6. Научный семинар чтения академика В.Н. Болтинского (Москва, 17-18 января 2025г);

7. Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии (Москва, 2-4 июня 2025г.);

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 4 научных статьи, в том числе – 2 в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, библиографического списка из 124 наименований, в том числе 42 на иностранном языке, количество таблиц 21, рисунков 69 и приложений 2. Объем диссертации – 151 страниц машинописного текста.

Глава 1. Анализ влияния буксования на эффективность работы машины и способы определения буксования

1.1. Буксование как физический процесс создания тяговой силы ведущего колеса

Обеспечение населения продовольствием – задача актуальная во все времена существования человечества, как в прошлом, так и в будущем. Решение этой важной задачи осуществляется сельскохозяйственным производством продуктов питания, где существенную роль в производительности труда играют средства механизации.

Как отмечается в работе [11] особое место в системе техники, в том числе и в аграрном производстве, занимают машины, как воплощение комплексного использования достижений науки. Машины действуют как органы непосредственного преобразования вещества природы и следует отметить их активное воздействие на предмет труда в процессе создания материальных благ.

Развитие современного транспорта направлено на создание машин с автоматическим (беспилотным) управлением. Такие работы ведутся как зарубежом, так и в России [68, 115, 88, 90, 96, 2, 65]. Для управления такими машинами необходима разработка алгоритмов, способных оптимизировать условия работы машины [44, 72, 118, 43, 47, 49]. Для тяговых машин одним из управляемых параметров, может быть, буксование ведущих колес. Поэтому, величину буксования необходимо контролировать в реальном времени в процессе выполнения работы машиной и, следовательно, величину буксования потребуется определять за короткое время

Любая тяговая работа машины связана с созданием тягового усилия двигателями, при взаимодействии которых с опорной поверхностью возникают деформации в системе «двигатель – опорная поверхность». Возникающие деформации приводят к потере скорости движения тяговой машины (буксование) и снижению производительности выполнения работы.

Буксование – это разница между теоретической и действительной скоростью движения колеса из-за проскальзывания его относительно опорной поверхности. Когда колесо пытается толкнуть тягово-транспортное средство вперед, возникает сила тяги. Она появляется как реакция опорной поверхности на "продавливание" и сцепление с ней протектора колесного движителя. Если крутящий момент от двигателя слишком велик, а сцепление с грунтом недостаточное, колесо начинает проворачиваться на месте, т.е. «пробуксовывать» [70].

Как известно, формула для расчета коэффициента буксования (δ) имеет вид [7]:

$$\delta = (1 - V_o / V_m) \times 100\% \quad (1.1)$$

где:

V_m – теоретическая скорость движения машины (без учета проскальзывания). Рассчитывается исходя из угловой скорости вращения колеса и его радиуса:

$$V_m = \omega \cdot r_k \quad (1.1a)$$

V_o – действительная скорость машины, измеренная по пройденному расстоянию за время (например, спутниковым навигатором или по замеру длины пройденного участка). [79, 28, 52]

Существуют следующие степени буксования:

1. Полезное буксование (до 10-15%): Небольшое проскальзывание необходимо для реализации силы тяги. Грунт деформируется, элементы протектора «зацепляются» за неровности, и тягово-транспортное средство движется вперед.

2. Вредное буксование (высокое, >15-30%): Колесо просто вращается на месте, сила тяги падает, происходит износ шин, уплотнение и разрушение почвы (в агротехнике), перерасход топлива.

В работе Черникова О.Н. [78] показано, что превышение буксования выше оптимально-допустимого (9.5-12%) ведет к уплотнению верхнего (5-7 см) слоя почвы. В следствии этого почва плохо впитывает влагу

атмосферных осадков, наблюдается ее сток с поверхности. Уплотненный слой сохраняется на протяжении всего вегетационного периода.

Эффективность работы колеса – это комплексный показатель, который оценивает, насколько хорошо колесо преобразует подведенную от двигателя энергию в полезную работу по перемещению машины.

Она включает несколько видов КПД:

1. КПД буксования (η_δ)

Показывает, какая часть теоретической скорости реализуется в реальном движении. Это прямо противоположная величина буксованию. И рассчитывается по формуле:

$$\eta_\delta = \frac{V_\delta}{V_m} = 1 - \delta \quad (1.2)$$

При буксовании 0%: $\eta_\delta = 1$ (100%) – теоретическая и действительная скорости одинаковы (снижения скорости движения нет).

При буксовании 30%: $\eta_\delta = 0.7$ (70%) – действительная скорость меньше теоретической на 30%, и снижение скорости составило 30%.

2. КПД по силе сопротивления качения (η_F)

Учитывает потери на преодоление сопротивления качению самого колеса. Для создания силы тяги (F_m) колесо должно преодолеть силу сопротивления качению (F_f). Рассчитывается по формуле:

$$\eta_F = \frac{F_m}{(F_m + F_f)} \quad (1.3)$$

При этом касательная сила (F_k) в месте контакта колеса с опорной поверхностью определяется суммой сил $F_k = F_m + F_f$.

3. Общий КПД ведущего колеса (η_k)

Это интегральный показатель, учитывающий оба вида потерь.

$$\eta_k = \eta_\delta \times \eta_F \quad (1.4)$$

Он показывает, насколько эффективно энергия, подведенная к колесу, преобразуется в полезную работу по перемещению тягово-транспортного средства.

Для оптимизации управления ведущими колесами необходимо учитывать большое число факторов в процессе управления трактором [87]. На эффективность работы ведущего колеса трактора влияют следующие факторы:

1. Конструктивные и технические факторы

Вес и распределение веса: для создания силы тяги необходимо достаточное сцепление колеса с почвой. Это обеспечивается силой тяжести (весом), приходящейся на ведущий мост. Оптимальное распределение веса между передним и задним мостом критически важно.

а) Диаметр и ширина колеса: больший диаметр уменьшает удельное давление на грунт и улучшает проходимость по мягким почвам, а также снижает буксование. Большая ширина увеличивает площадь контакта, что также снижает удельное давление и улучшает сцепление, но может увеличивать сопротивление качению на уплотненной почве.

б) Рисунок протектора (грунтозацепы): высота и форма грунтозацепов определяют способность колеса "зацепиться" за грунт. Высокие и острые зацепы лучше работают на рыхлых и мягких почвах, а более низкие и широкие – на твердых. Расстояние между зацепами влияет на самоочищение колеса от налипшей земли. Если протектор колеса забивается почвой его сцепные свойства резко ухудшаются (рисунок 1.1).

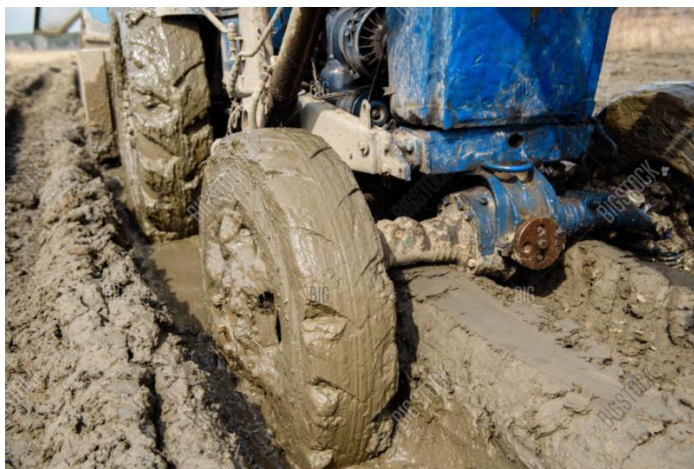


Рисунок 1.1 – Пример работы колеса трактора в сложных условиях эксплуатации.

в) Давление в шинах: это один из самых важных и регулируемых факторов. Слишком высокое давление увеличивает уплотнение почвы, уменьшает площадь контакта и ухудшает сцепление, особенно на мягком грунте. Слишком низкое давление увеличивает деформацию шины, приводит к ее перегреву и повышенному износу, а также увеличивает сопротивление качению. Оптимальное давление подбирается под конкретные условия работы (поле, дорога) и тип почвы.

Для большинства пар материалов максимальная сила трения покоя чуть больше силы трения скольжения. Это означает, что колесо способно передать наибольшее усилие именно в тот момент, когда оно вот-вот начнет буксовать, но еще не буксует. Как только буксование начинается, тяговая сила немного падает.

2. Факторы, связанные с условиями работы (внешняя среда)

Тип и состояние почвы (грунта):

Влажность: на переувлажненной почве резко возрастает буксование и уплотнение. Сухая и твердая почва обеспечивает хорошее сцепление, но может иметь высокое сопротивление качению.

Плотность и несущая способность: плотная почва (укатанная дорога) обеспечивает хорошее сцепление. Рыхлая почва (вспаханное поле) имеет низкую несущую способность и способствует буксованию [100, 104].

Рельеф: на склонах происходит перераспределение веса, что может ухудшать сцепление колес, находящихся на подъеме.

Климатические условия: температура воздуха влияет на давление в шинах и эластичность резины.

3. Эксплуатационные факторы (зависят от оператора)

Буксование: это главный индикатор и одновременно фактор потери эффективности.

Допустимый уровень буксования: для большинства полевых работ оптимальное буксование находится в пределах 10-15%. При таком значении

достигается максимальный коэффициент сцепления и минимальные потери мощности [30, 51, 121, 119].

Высокое буксование (более 20-25%) приводит к резкому падению производительности, перерасходу топлива, интенсивному износу шин и разрушению структуры почвы (образование глубокой колеи) [82, 81, 99, 85].

Режим движения (скорость и тяговое усилие):

Перегрузка трактора (использование на слишком высокой передаче для данной нагрузки) вызывает повышенное буксование.

Правильный подбор рабочей передачи и оборотов двигателя позволяет работать в зоне максимального КПД.

Использование дополнительного оборудования:

Балластировка (утяжелители): добавление грузов на ведущие колеса или раму увеличивает сцепной вес и снижает буксование. Однако излишняя балластировка приводит к избыточному уплотнению почвы и повышенному расходу топлива [13, 16, 17, 95].

Использование двойных (сдвоенных) шин (рисунок 1.2) или шин сверхнизкого давления увеличивает площадь контакта и снижает удельное давление на грунт, что идеально для работы на влажных и рыхлых почвах.

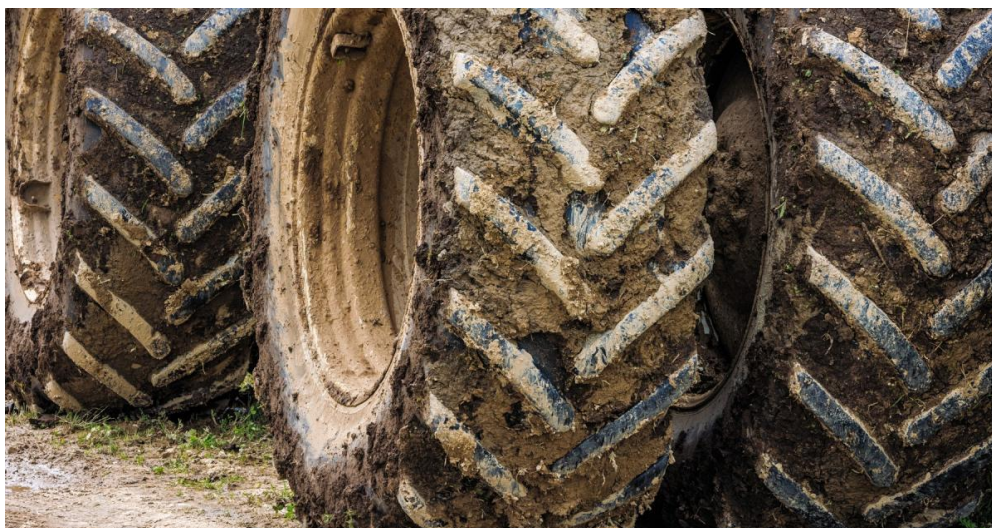


Рисунок 1.2 – Использование сдвоенных шин на тракторе.

Следует отметить ключевыми показателями эффективности являются:

✓ Коэффициент сцепления – отношение силы тяги на крюке к силе веса, приходящейся на ведущие колеса.

✓ Коэффициент буксования – процент потери скорости из-за проскальзывания колес.

✓ КПД ведущего колеса (двигателя) – отношение полезной мощности (на крюке) к мощности, подведенной к колесу. Этот КПД учитывает потери на буксование и сопротивление качению.

Для максимальной эффективности ведущего колеса необходимо найти оптимальный баланс между сцепным весом, давлением в шинах, рисунком протектора и управлением буксованием, исходя из конкретных почвенных условий и выполняемой работы [89]. Современные системы автоматического контроля давления в шинах и тягового усилия помогают оператору достигать этого баланса [113].

Таким образом, в процессе эксплуатации трактора сцепные свойства его двигателей с опорной поверхностью постоянно меняются, что приводит к постоянному изменению их буксования и КПД двигателя, величина которого может существенно отличаться от максимального значения. Оперативное управление ведущими колесами позволит сократить это отличие и, следовательно, повысить эффективность работы трактора [91, 86, 103, 61].

1.2. Буксование и эффективность работы ведущего колеса

Процесс еще сложнее из-за структуры почвы. Грунтозацеп (выступ протектора) не просто скользит, он деформирует и сдвигает почву.

Фаза уплотнения: грунтозацеп входит в почву, уплотняя ее перед собой. Заглубленный в почву грунтозацеп при действии ведущего момента приложенного к колесу своей поверхностью воздействует на почву создавая касательную силу уплотняя почву. По мере роста касательной силы увеличивается уплотнение почвы грунтозацепом до тех пор, пока прочность почвы на срез достаточная для сопротивления.

Фаза сдвига: когда напряжение в почве достигает предела ее прочности, происходит сдвиг почвы. Пласт почвы срезается грунтозацепом и отбрасывается назад, а колесо теряет предыдущее сопротивление почвы.

Реакция почвы: по третьему закону Ньютона, если колесо с силой отталкивает почву назад, то почва с той же силой толкает колесо вперед. Эта реакция почвы и есть та самая касательная сила.

В работе [30] показано ступенчатое изменение коэффициента буксования при проведении полевых экспериментов обеспечивалось изменением крюковой нагрузки трактора за счет заглубления рабочих органов сельскохозяйственной машины. При движении ведущего колеса трактора авторы статьи наблюдали перераспределение фракционного состава почвы в зависимости от коэффициента буксования: увеличивается количество мелких фракций за счет уменьшения количества более крупных. Этот эффект лишний раз показывает воздействие движителя на структуру почвы - ее разрушение, что может негативно сказываться на плодородии.

Следовательно, можно сказать, что буксование – это количественная мера процесса деформации в системе «двигатель - опорная поверхность». Нулевое буксование означало бы, что деформации не происходит, а значит, не возникает и сила реакции, толкающая трактор вперед. Сдвиг почвы опорной поверхности является составной частью деформации этой системы. Величина сдвига почвы пропорциональна приложенному усилию. [37,38]. Таким образом, буксование всегда присутствует при создании тяговой силы.

Этот процесс наглядно описывается классической тяговой характеристикой (рисунок 1.3), когда величина буксования присутствует при анализе изменения мощностных и экономических показателей [32]. На представленном примере тяговой характеристики (рисунок 1.3) показано изменение действительной скорости движения v , крюковой мощности $N_{кр}$, удельного крюкового расхода топлива $g_{кр}$ и коэффициента буксования δ при изменении касательной P_k или крюковой $P_{кр} = P_k - P_f$ на разных передачах КПП (1; 2; 3 и 4).

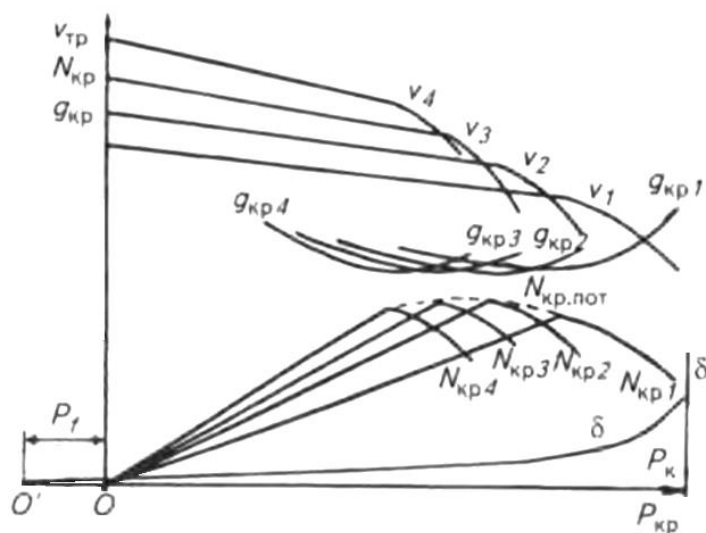


Рисунок 1.3 – Тяговая характеристика трактора.

Буксование – это физический процесс деформации и сдвига почвы, который является источником возникновения тяговой силы.

Полное отсутствие буксования ($\delta=0\%$) означает отсутствие тяговой силы.

Недостаточное буксование ($\delta < \delta_{\text{опт}}$) означает, что трактор не реализует весь свой потенциал по тяге.

Оптимальное буксование ($\delta=\delta_{\text{опт}}$) – это цель для оператора. В этом режиме достигается наилучшее соотношение между реализуемой силой тяги и энергетическими потерями.

Чрезмерное буксование ($\delta > \delta_{\text{опт}}$) – это вредный процесс, ведущий к потерям энергии, разрушению почвы и снижению производительности работ [83].

Таким образом, управление трактором – это не борьба с буксованием вообще, а поддержание его в оптимальном диапазоне, где физический процесс взаимодействия колеса с грунтом работает с максимальной эффективностью. Буксование трактора является фундаментальным параметром для анализа тяговых характеристик машины и точность его определения важна как в условиях математического моделирования, так и при управлении движителем трактора [18, 124].

Современные способы измерений используют цифровые методы что упрощает процесс внедрения такого способа в систему управления машиной [110, 116, 110, 108, 122].

1.3. Способы определения действительной скорости машины

Как отмечалось ранее, в качестве оценки величины буксования может быть использован коэффициент буксования δ . Для его определения необходимо знать теоретическую и действительную скорости движения машины. Если для определения теоретической скорости достаточно определить угловую скорость вращения колеса ω и его радиус качения r_k , как показано ранее, то действительную скорость движения определить сложнее.

Для определения действительной скорости движения машины разработаны различные способы. Их можно разделить на две основные категории: прямые методы (непосредственное измерение пройденного пути и времени) и косвенные методы (расчет через другие параметры).

1. Прямые методы (наиболее простые).

Эти методы основаны на непосредственном измерении расстояния, которое прошел трактор и затраченного на это времени.

а) Метод мерного участка (Эталонный метод) [15]

Это классический и достаточно простой способ, часто используемый для определения скорости при проведении испытаний.

Суть метода.

На ровном участке поля или дороги размечается мерный отрезок. Трактор в процессе испытаний на заданном режиме проходит мерный отрезок с регистрацией времени. Время прохождения отрезка замеряется с помощью секундомера.

Расчет

Действительная скорость (V_o , км/ч) вычисляется по формуле:

$$V_o = \frac{(L * 3.6)}{t} \quad (1.5)$$

где: L – длина мерного участка в метрах,

t – время прохождения в секундах.

Преимущества метода.

Хорошая точность определения среднего значения скорости, не требует сложного специализированного оборудования, может быть использован на различных почвенных фонах.

Недостатки.

Высокая трудоемкость, возможно определение только средней скорости и только на мерном участке, невозможно определение буксования в определенный момент времени для управления двигателем.

б) Метод использования измерительного колеса [1, 105, 50]

Суть метода.

Измерительное колесо крепится к остоу машины и движется совместно с ней (рисунок 1.4).

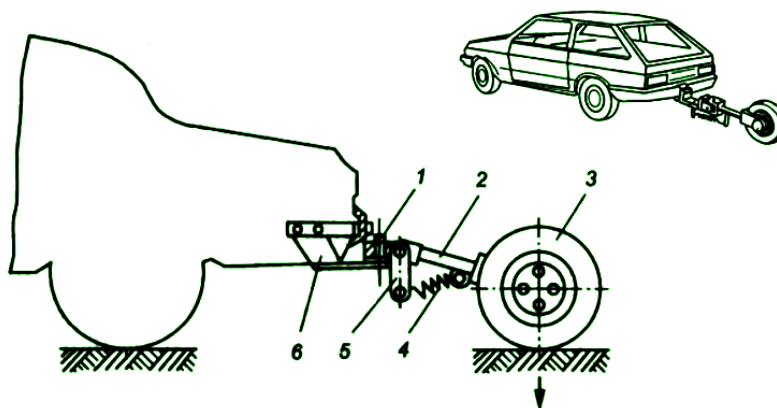


Рисунок 1.4 – Монтаж измерительного колеса на автомобиль [75]:

1 – ось поворотная; 2 – дышло; 3 – измерительное колесо; 4 – пружина прижима; 5 – кронштейн пружины; 6 – платформа опорного узла.

При движении автомобиля измерительная система регистрирует вращение измерительного колеса 3, которое прижимается пружиной 4 к опорной поверхности для исключения его проскальзывания. Зная радиус колеса и регистрируя его частоту вращения во время движения, определяют пройденный путь, действительную скорость движения и ускорение

автомобиля. Данный метод широко используется при испытаниях мобильных машин [1].

В работе [1] авторы использовали данный метод, чтобы получать зависимости скорости, буксования и других показателей трактора от нагрузки на различных передачах в эксплуатационных условиях. Измеряя значения угловых скоростей коленчатого вала двигателя и измерительного колеса на заданной передаче и соответствующем почвенном фоне с нагрузкой и без неё в результате обработки данных, получали характер изменения буксования трактора.

В работе [105] автор использовал данный метод для оценки буксования тракторов на тяговых работах при разных конструкциях трансмиссии.

В работе [3] авторы использовали данный метод для испытаний трактора по методике, изложенной в работе [60] для определения в процессе тяговых испытаний средних значений скорости поступательного движения агрегата $V_{\text{ср}}$, тягового усилия $P_{\text{ср}}$, тяговой мощности $N_{\text{ср}}$, буксования $\delta_{\text{ср}}$, часового и удельного расхода топлива.

Данный метод широко использовался при путевых и тяговых испытаниях автомобиля в различных условиях движения, т.к. позволял измерять действительный пройденный путь, скорость и ее изменение при разгоне и торможении и т.д.

У тракторов, имеющих не все ведущие колеса (4к2), в качестве измерительного колеса могут быть использованы не ведущие [84]. Например, еще в 1935 году предложено такое устройство [58]. Суть предлагаемого устройства заключается в следующем. При приводе ведущего колеса 1 (рисунок 1.4) через редуктор 2 и вал 3 передается вращение на регистрирующее устройство 4 пропорциональное теоретической скорости. От ведомого колеса 10 по валу 9 передается вращение через шарнир 6 на редуктор 8, а с него по валу 5 на регистрирующее устройство 4 пропорциональное действительной скорости.

Регистрирующее устройство 4 показывает рассогласование скоростей пропорциональное буксованию, которое может контролировать тракторист. Предложение такого прибора говорит о понимании необходимости контроля процесса буксования еще в начале прошлого века.

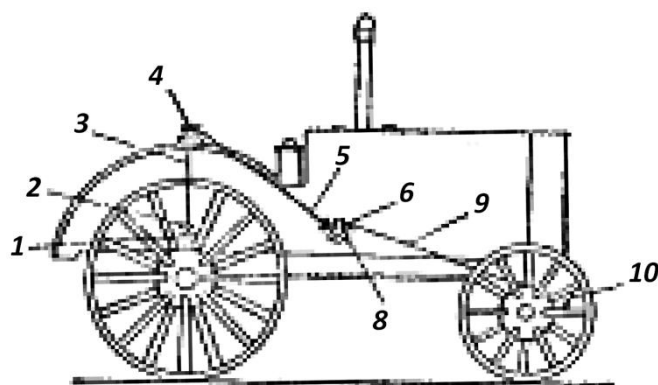


Рисунок 1.4– Определение буксования по рассогласованию скоростей ведущего и ведомого колес трактора.

Данный способ широко применяется в системе измерения скорости движения тракторов и автомобилей методом, который заложен в основу работы штатного спидометра трактора [7]. Однако измеренная таким образом скорость следует называть теоретической скоростью, т.к. метод не учитывает буксование колеса.

Преимущества метода.

Хорошая точность определения действительной скорости, может быть использован в процессе выполнения технологических операций на различных почвенных фонах.

Недостатки.

Требуется монтаж сложного специализированного оборудования и его обслуживания, что приводит к снижению надежности, снижает проходимость и маневренность трактора при монтаже с увеличением габаритов.

в) Использование спутниковых систем навигации (GPS/ГЛОНАСС)

Современный, перспективный и часто используемый метод в полевых условиях для определения движения трактора и его действительной скорости.

Суть метода: приемник GPS/ГЛОНАСС, установленный на тракторе, с высокой частотой (возможность до 10-20 раз в секунду) определяет свои координаты. Вычисляя изменение координат во времени, процессор приемника может рассчитать мгновенную скорость и пройденный путь. Однако получаемая мгновенная скорость имеет слишком большую погрешность, что связано с малой точностью геолокации трактора. Погрешность определения положения по GPS составляет от 0,1...0,35 м при наилучших условиях до 1...2 м при наличии внешних помех и упрощении методики обработки сигналов [12].

Если частота опроса будет составлять 20 с^{-1} , то при минимальной погрешности позиционирования 0,1 м ошибка определения скорости может составлять до 2 м/с (почти 7 км/ч), что соизмеримо с рабочей скоростью трактора. Результаты могут быть улучшены только при осреднении результатов измерений на больших измерительных дистанциях и, следовательно, оценки среднего значения действительной скорости с задержкой по времени прохождения длины участка для получения усредняющего значения. Простой анализ оценки погрешности результатов измерений [29, 46] показывает, что для снижения погрешности измерений в 10 раз (с 2 до 0,2 м/с) потребуется увеличить число измерений в 100 раз. Таким образом, чтобы получить погрешность измерения действительной скорости $\pm 10\%$ при частоте опроса 20 Гц потребуется около 5 с, а для получения погрешности $\pm 5\%$ время получения результата составит уже около 20 с. Такая задержка существенно усложняет процесс управления ведущими колесами.

В работе [98] указывается необходимость применения в системе контроля скорости движения трактора одноканального приемника GNSS, что позволяет повысить точность позиционирования. GNSS системы нашли

широкое применение в геодезии благодаря локальным приемопередающим устройствам можно существенно (в сотни раз) повысить точность позиционирования и скорость обмена данными. Использование GNSS системы позиционирования трактора позволило контролировать процесс буксования в реальном режиме его работы [97, 112].

В разработанной конструкции устройства для определения буксования трактора, основным элементом которой являлся инерциальный датчик контроля частоты вращения колеса для определения теоретической скорости GNSS приемник для определения действительной скорости [59], для получения приемлемой погрешности измерений в реальном времени работы был использован цифровой фильтр на основе алгоритма Мэдживика. Необходимость фильтрации зарегистрированных данных отмечена также в работе [114].

Использование спутниковых систем навигации (GPS/ГЛОНАСС) широко используется в патентах для определения буксования трактора. Например устройство для определения буксования колесного трактора RU 2 805 892 C1, где в качестве регистрирующего устройства используют акселерометр, установленный в центре масс трактора, посредством которого регистрируют ускорение центра масс трактора в виде осциллограммы, акселерометр выполнен отдельным блоком с обеспечением возможности приема, регистрации, преобразования зарегистрированных сигналов посредством сигнальных проводов на плату устройства, расположенную в корпусе устройства, в качестве модуля беспроводной связи используют жестко закрепленные в корпусе GPRS-модуль и ГЛОНАСС+GPS-модуль, с помощью которых выполнена связь с удаленным персональным компьютером посредством ретрансляционного и спутникового сигнала соответственно через закрепленные на корпусе устройства передающие антенны, при этом на удаленном персональном компьютере для интегрирования полученной от акселерометра осциллограммы и определения

значения буксования установлены приемные антенны ретрансляционного и спутникового сигналов.

Также устройство для измерения буксования сельскохозяйственных тракторов (Патент на полезную модель № 118587, опубликовано 27.07.2012, бюл. № 21), содержащее индуктивный датчик и измерительный диск, при этом дополнительно введены датчик действительной скорости в виде GPS-навигатора, поддерживающего стандарт передачи данных NMEA0183 и подключенного ко второму входу ПЭВМ, используемого в качестве элемента сравнения и сохранения данных для их дальнейшего анализа и обработки, а также счетчик импульсов, соединенный с индуктивным датчиком и первым входом ПЭВМ.

Преимущества метода.

Использование цифровых систем навигации и позиционирования достаточно просто позволяют использовать их результаты для автоматизации процессом управления машиной и эти технологии сейчас активно развиваются.

Недостатки.

В настоящее время использование спутниковых систем навигации не обеспечивают достаточную точность позиционирования и требуется большой участок движения трактора для получения достоверной информации по среднему значению действительной скорости. Необходимость осреднения результатов измерений действительной скорости движения приводит к задержке получения результата, что усложняет оперативное принятие решений по управлению ТТС.

Повышение точности позиционирования трактора и действительной скорости движения может быть достигнуто использованием специальных ретрансляторов сигнала, которые устанавливаются в пределах обрабатываемых полей что в свою очередь накладывает определенные ограничения и сложность эксплуатации таких систем. Стоимость таких систем достаточно высока для повсеместного использования и целесообразность их применения

возможна, но при решении других важных задач сельскохозяйственных работ (точное земледелие, автопилотирование и т.п.).

2. Косвенные методы (основанные на обработке результатов измерения определения параметров, связанных со скоростью или перемещением объекта)

а) Радарный измеритель скорости (использование эффекта Доплера)

Суть метода: радар, направленный на поверхность земли излучает акустические волны в ультразвуковом диапазоне, и принимает отраженный сигнал. Оценивая разницу частот излучения и приема волн, рассчитывает скорость движения излучателя относительно поверхности отражения (эффект Доплера). Таким образом он измеряет скорость перемещения трактора относительно опорной поверхности.

Метод Доплера основан на физическом явлении – частота отраженного от движущегося объекта сигнала (радиоволны или лазерного луча) изменяется пропорционально его скорости. Датчик измеряет это изменение частоты (доплеровский сдвиг) и по нему вычисляет скорость.

Формула скорости по методу Доплера:

$$V = (\Delta f * c) / (2 * f_0 * \cos(\alpha)) \quad (1.6)$$

где: Δf – измеренный доплеровский сдвиг частоты (это то, что измеряется напрямую).

c – скорость распространения волн в воздушной среде.

f_0 – исходная частота излучаемого сигнала (задается генератором излучателя).

α – угол между вектором скорости трактора и направлением распространения волн.

Точность измерения скорости зависит от точности измерения разницы частоты Δf , от точности знания угла α и скорости распространения волн.

Факторы, влияющие на точность измерения.

1. Угол установки датчика (угол между вектором скорости трактора и лучом датчика α). Это первый источник потенциальной погрешности. Если

направление излучения источника не соответствует заданному (например, монтажные отклонения и калибровка, вибрации в процессе измерений и т.п.), косинус этого угла вносит ошибку в расчет. Подобные системы требуют тщательной калибровки при установке и исключения колебаний угла при измерении во время движения.

2. Качество поверхности отражения. Грязь, снег, неровности, тип почвы (например, рыхлая пашня или укатанная дорога) могут влиять на качество отраженного сигнала. Несмотря на то, что существующие современные алгоритмы фильтруют шумы для обеспечения стабильных показаний, на большинстве типов поверхностей при работе трактора сложно обеспечить удовлетворительную точность измерений.

3. Изменение скорости распространения звуковых волн в воздушной среде при изменении влажности. Применение лидаров (лазерные излучатели) менее подвержены этому, но могут терять сигнал при сильной запыленности воздушной среды на измерительном участке или при тумане.

4. Качество самой измерительной аппаратуры. Стабильность генератора излучателя частоты, точность измерителя частоты и вычислительных средств. Иногда производители используют дорогостоящие компоненты, специально разработанные для таких задач, что тоже накладывает дополнительную трудоёмкость обслуживания и экономическую целесообразность применения.

В качестве примера может быть рассмотрен способ измерения действительной скорости движения наземных транспортных средств и устройство для его осуществления по патенту SU 1 278 719 A1, в котором величина действительной скорости тягово-транспортного средства определяется по спектру доплеровского сигнала с учетом его изменения во времени в модуляционном интервале.

Также предлагается способ измерения скорости движения тракторного агрегата по патенту SU1411399 A1, основанный на оценке измерения частоты отражённых от поверхности грунта ультразвуковых волн,

генерируемых излучателем и принимаемых приёмником, установленным на тракторном агрегате.

Преимущества метода.

Аналогично цифровым системам навигации и позиционирования данный метод достаточно просто позволяет использовать их результаты для автоматизации процессом управления машиной.

Недостатки.

Высокая стоимость оборудования, узкоспециализированное применение, высокая погрешность при измерении на большинстве почвенных фонов, встречающихся при использовании трактора на сельскохозяйственных работах.

б) Оптические методы (использование фото- или видео-регистрации)

Суть метода: оценивается изменение изображения на зарегистрированных кадрах через известные промежутки времени или на заданном расстоянии по направлению движения [62, 107].

ООО «ПТП «Сенсорика-М» предлагает оптический датчик скорости и длины ИСД-3 (рисунок 1.5) для бесконтактного измерения скорости и пройденного пути транспортным средством относительно дороги (в автомобильной промышленности) а также для измерения скорости и длины материалов, движущихся относительно датчика (в индустрии) [48].



Рисунок 1.5 – Оптический датчик скорости и длины ИСД-3.

Принцип измерения – растровая пространственная фильтрация изображения объекта.

Основные особенности ИСД-3.1:

Прецизионные измерения скорости и дистанции (> 20 м) — погрешность измерений 0,03 — 0,2 % (в зависимости от абсолютной скорости и частоты измерения).

Диапазон номинальных расстояний до объекта- от 16 см до 60 см и широкий диапазон допустимых изменений расстояния, до + 30% от номинального.

Большая светосила оптики — до 1:4, поэтому нет необходимости диафрагмирования приемной оптики. Как следствие, для освещения объекта достаточно мощности 3Вт ИК-диода.

Широкий динамический диапазон яркости объекта — при измерениях она может изменяться до 10 раз и резкие перепады яркости не искажают измерений.

Легкий, но прочный и герметичный дюралевый корпус, класс защиты от окружающей среды –IP67.

Небольшие габариты и энергопотребление блока обработки за счет использования современных ARM микроконтроллеров.

Датчики разработаны для использования в промышленности и соответствуют следующим стандартам:

- ЕМ 55022:2006 Оборудование информационных технологий. Характеристики радиопомех. Пределы и методы измерений.
- ЕМ 61000-6-2:2005 Электромагнитная совместимость. Общие стандарты. Помехоустойчивость к промышленной окружающей среде.
- ЕМ 61326-1:2006 Электрооборудование для измерения, управления и лабораторного использования. Требования к электромагнитной совместимости. Общие требования

Преимущества метода.

- Высокая точность измерений.
- Измерение скорости в диапазоне от 0,03 до 120 м/с, что с большим запасом перекрывает требуемый диапазон.
- Возможность работы при невысокой освещенности объекта регистрации.

- Стабильность результатов измерений при изменении яркости объекта.
- Возможность работы при изменении погодных условий.

Недостатки.

Высокая стоимость оборудования и необходимость высокой квалификации обслуживающего персонала.

Другой подход используется в предлагаемом способе измерения скорости мобильных сельскохозяйственных агрегатов (патент SU 1 782 374 A1) на нем установлены два регистратора изображения опорной поверхности на заданном расстоянии друг от друга по направлению движения. Результат оценивают по формируемому образу ограниченного участка поверхности почвы путем одновременного восприятия расположенных на нем оптических неоднородностей с помощью, установленного на агрегате первым по ходу его движения регистратора (матричного преобразователя) 1 (рисунок 1.6).

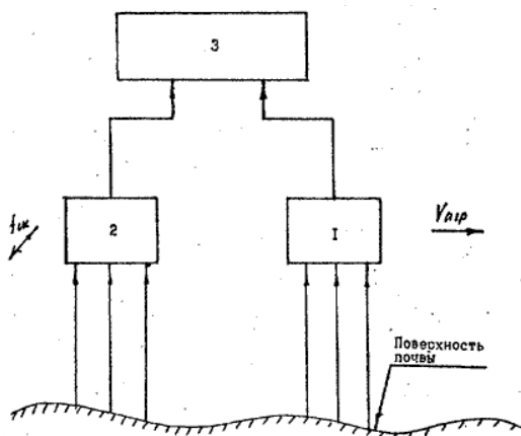


Рисунок 1.6 – Схема осуществления способа.

Сформированный образ запоминают до конца измерений, после чего в запомненном образе воспринимают оптические неоднородности от преобразователя 1 установленным вторым по ходу движения агрегата. Вторым преобразователем 2 регистрируют с контролируемой частотой участок поверхности почвы и используют результат регистрации для сравнения с предыдущим образом от регистратора 1 в блоке обработки сигналом 3. После обработки образов, поступивших в блок 3, вычисляют скорость движения агрегата.

К недостаткам данного способа можно отнести использование двух регистраторов, что усложняет конструкцию и снижает надёжность. Сложность юстировки двух расположенных приёмопередатчиков по оси машины усложняет их обслуживание и снижает точность измерений.

в) Расчетные методы (оценка на основе полученных ранее зависимостей)

Расчётные методы широко применяются, например, в тяговых расчётах трактора [5, 66, 55], тягово-динамических расчётах автомобиля [76, 13, 27, 10]. Для определений действительной скорости используются аналитические зависимости применительно для конкретных условий движения машины [3].

Один из таких подходов также показан в работе [41], где авторы предлагают сразу определять величину буксования по тяговому усилию по предложенной в работе методике. Методика предлагается для оценки буксования при выполнении машинно-тракторным агрегатом полевых работ по выборкам небольшого объёма. Ими предлагается использовать дифференциальную модель, которая позволяет получить зависимости буксования от коэффициента использования тягового усилия при ограниченном объёме экспериментальных данных.

Преимущества метода.

Простота, оперативность и доступность получения конечного результата.

Недостатки.

Низкая точность и возможность применения только для конкретных погодных и почвенных условий.

Сравнительный анализ методов определения действительной скорости ведущих колес тягово-транспортных средств представлен в таблице 1.1

Таблица 1.1. Сравнительный анализ методов

Метод измерения	Точность измерения	Время измерения	Использование в процессе управления	Перспективы развития	Стоимость оборудования
Метод использования мерного участка	+	—	—	—	+
Метод использования измерительного колеса	—	—	—	—	+
Геопозиционный метод измерения (GPS/ ГЛОНАСС)	—	—	+	+	—
Метод использования эффекта Доплера	—	+	+	+	—
Оптические методы (использование фото- или видео-регистрации)	+	+	+	+	—

В таблице представлено сравнение различных методов измерения скорости движения машины по следующим показателям:

- точность измерения;
- время измерения;
- использование в процессе управления;
- перспективы развития;
- стоимость оборудования.

Знак «+» показывает преимущества метода по данному показателю, а знак «—» недостатки по данному показателю.

Таким образом, как следует из анализа таблицы 1.1 использование метода видеорегистрации имеет преимущество по сравнению с другими методами. С учетом широкого распространения видеорегистраторов и их невысокой стоимости, можно рассматривать как перспективного способа определения действительной скорости трактора в полевых условиях при выполнении сельскохозяйственных работ.

1.4. Выводы и задачи исследований

1. Научный прогресс сместил фокус с контактных методов, таких как мерный участок, на бесконтактные спутниковые и радиолокационные технологии, обеспечивающие непрерывный поток данных, позволяющий использовать их результаты для управления движением.

2. Для оценки буксования требуется измерение как действительной, так и теоретической скоростей движения. Погрешность определения этих скоростей приводит к ошибке определения величины буксования и, следовательно, к ошибочному выбору режима движения трактора, что приводит к снижению производительности работ и экономической эффективности выполнения технологической операции.

3. Существующие методы определения скорости трактора можно разделить на прямые и косвенные. Если прямые методы, как правило, обладают простотой измерений, не требуют специализированного оборудования, и не позволяют производить оперативное управление движением трактора, то косвенные методы, наоборот, и требуют высококвалифицированного обслуживания.

4. Использование цифровых систем навигации и позиционирования достаточно просто позволяют использовать их результаты для автоматизации процессом управления машиной и эти технологии сейчас активно развиваются. Однако, в настоящее время использование спутниковых систем навигации не обеспечивают достаточную точность позиционирования. Повышение точности позиционирования использованием специальных ретрансляторов сигнала накладывает определенные ограничения и сложность эксплуатации таких систем, а также существенно увеличивает стоимость.

5. Среди косвенных методов заслуживает внимания метод видеорегистрации, как перспективный способ определения действительной скорости трактора в полевых условиях при выполнении сельскохозяйственных работ. Использование этого метода для определения действительной скорости трактора при работе на различных почвенных

фонах недостаточно изучено и отсутствуют данные по экономической целесообразности его применения на сельскохозяйственных работах.

Цель работы заключается в разработке метода определения в режиме реального времени действительной скорости движения для оценки буксования ведущих колеса трактора на тяговых работах.

Для достижения этой цели необходимо последовательно рассмотреть вопросы, определяющие эксплуатационные свойства современных тракторов и сельскохозяйственных машин, а также решить следующие **задачи**:

1. Определить оптимальное буксование на различных почвенных фонах
2. Теоретически обосновать использование видеорегистрации для определения действительной скорости трактора.
3. Экспериментально проверить возможность использования видеорегистрации на различных сельскохозяйственных фонах опорной поверхности.
4. Провести экспериментальную проверку разработанного способа видеорегистрации для определения действительной скорости.
5. Разработать рекомендации по использованию разработанного способа определения действительной скорости движения для оценки буксования.

Глава 2. Влияние буксования на эффективность ведущего колеса

2.1. КПД ведущего колеса

Эффективность работы трактора, как тяговой машины во многом определяется тяговыми качествами ведущего колеса. Схема работы ведущего колеса на горизонтальной поверхности показана на рисунке 2.1. Ведущее колесо нагружено нормально к опорной поверхности силой G_k , что создает ответную реакцию опорной поверхности Y_k на колесо. Колесо имея радиус качения r_k вращается с угловой частотой ω_k и катится со скоростью v_d по опорной поверхности испытывая сопротивление качению с силой P_f . К колесу подводится крутящий момент M_k , в результате чего создается касательная сила P_k на опорную поверхность, действующая вдоль направления движения колеса. Ответная реакция опорной поверхности на касательную силу создает силу тяги колеса (крюковую силу), которая меньше касательной силы тяги на величину силы сопротивления качения колеса:

$$P_{кр} = P_k - P_f \quad (2.1)$$

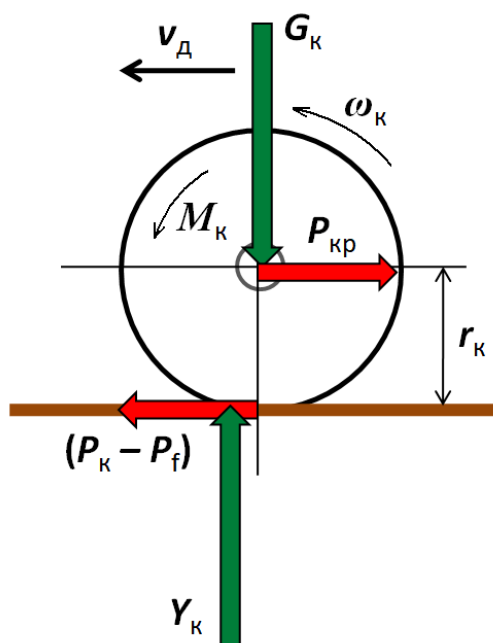


Рисунок 2.1– Схема работы ведущего колеса

Эффективность работы ведущего колеса принято оценивать его коэффициентом полезного действия η_k [38, 74, 94]. Значение КПД ведущего колеса определяется как отношение полученной им тяговой мощности $N_{кр}$ (крюковой) к мощности, подведенной к колесу N_k :

$$\eta_k = \frac{N_{кр}}{N_k} \quad (2.2)$$

Подведенная к колесу мощность зависит от величины крутящего момента M_k и угловой частоты его вращения ω_k :

$$N_k = M_k \cdot \omega_k \quad (2.3)$$

Тяговая мощность $N_{кр}$, создаваемая ведущим колесом определяется произведением силы тяги колеса $P_{кр}$ и действительной скорости движения оси колеса v_d :

$$N_{кр} = P_{кр} \cdot v_d \quad (2.4)$$

Величина касательной силы P_k определяется значением подведенного к колесу крутящего момента M_k и динамического радиуса колеса r_d по выражению:

$$P_k = \frac{M_k}{r_d} \quad (2.5)$$

Действительная скорость качения колеса v_d отличается от теоретической скорости v_t из-за буксования и при коэффициенте буксования δ может быть определена по выражению:

$$v_d = v_t \cdot (1 - \delta) \quad (2.6)$$

Теоретическая скорость качения колеса v_t зависит от его угловой частоты вращения ω_k и кинематического радиуса колеса r_v :

$$v_t = \omega_k \cdot r_v \quad (2.6)$$

Подставляя в зависимость КПД ведущего колеса (2.2) значения параметров для тяговой и подведенной мощностей с учетом их выражений (2.3 ... 2.6) получим:

$$\eta_k = \frac{P_{кр} \cdot v_d}{M_k \cdot \omega_k} = \frac{P_{кр} \cdot \omega_k \cdot r_v \cdot (1 - \delta)}{P_k \cdot r_d \cdot \omega_k} = \frac{(P_k - P_f) \cdot r_v \cdot (1 - \delta)}{P_k \cdot r_d} \quad (2.7)$$

Значения динамического и кинематического радиусов колеса близки между собой ($r_v/r_d \approx 1$), поэтому выражение для КПД ведущего колеса может быть представлено после преобразования в виде:

$$\eta_k \approx \left(1 - \frac{P_f}{P_k}\right) \cdot (1 - \delta) \quad (2.7)$$

Обычно силу сопротивления качению оценивают через величину нормальной нагрузки на колесо G_k и коэффициент сопротивления качению f по зависимости:

$$P_f = f \cdot G_k \quad (2.8)$$

Касательная сила ведущего колеса P_k , по аналогии с силой сопротивления качению, может быть представлена в виде зависимости:

$$P_k = \varphi \cdot G_k, \quad (2.9)$$

где коэффициент φ представляет собой относительное значение касательной силы по сравнению с нагрузкой на колесо.

Используя зависимости (2.8) и (2.9), получим выражение для КПД ведущего колеса в виде:

$$\eta_k = \left(1 - \frac{f}{\varphi}\right) \cdot (1 - \delta) \quad (2.10)$$

Как следует из полученного выражения, основными факторами, влияющими на КПД ведущего колеса, являются:

- сопротивление качению колеса;
- касательная сила ведущего колеса;
- буксование.

Полученное выражение для КПД η_k еще достаточно сложно для анализа влияния буксования колеса на его КПД, т.к. в выражении содержится коэффициент φ , который зависит от касательной силы P_k непосредственно влияющей на величину буксования.

2.2. Выражение для определения коэффициента буксования

Зависимость коэффициента буксования от различных факторов рассматривалась различными учеными [41, 109, 24]. В таблице 2.1 сведены предложенные различными авторами формулы для расчета коэффициента буксования, рассмотренные в работе [56].

Таблица 2.1. Зависимости определения коэффициента буксования [56].

№ п/п	Формула	Автор
1	$\delta = a\varphi$ при $\varphi \leq 0,5$ и $\delta = b\varphi^c + m$ при $\varphi \geq 0,5$	В.И. Саяпин
2	$\delta = a + b\varphi$ значения коэффициентов m и k зависят от диапазона φ	В.А. Григорьев, М.А. Шаров
3	$\delta = a\varphi + b\varphi^c$	Б.С. Свирщевский
4	$\delta = \frac{a\varphi}{\varphi_{max}} \left(1 - (1-a) \left(\frac{\varphi}{\varphi_{max}} \right)^b \right)$	Н.К. Куликов
5	$\varphi = \varphi_{max} - ae^{b\delta}$	А.П. Парфёнов
6	$\varphi = \varphi_{max} \left(1 - (1-\delta)e^{a\delta} \right)$	Б.Л. Магарилло
7	$\delta = 1 - \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_{max}} \right)^a$	Ю.В. Гинзбург

Использование большинства приведенных зависимостей для анализа достаточно сложно, т.к. в них содержатся эмпирические коэффициенты (a , b ,

с), значения которых применимы только для конкретных условий и не носят обобщающий характер.

Основные факторы, влияющие на коэффициент буксования, и которые входили в различные зависимости для его определения следующие:

- нормальная нагрузка на колесо;
- касательная сила или ее отношение к нагрузке;
- сцепление колеса с опорной поверхностью или максимальное значение касательной силы;
- окружная жесткость колеса;
- твердость опорной поверхности.

Традиционное представление изменения коэффициента буксования приводится в виде его зависимости от касательной силы P_k или ее отношения к нормальной нагрузке φ [120]. Так, например, в источнике [74] показана взаимосвязь коэффициента буксования δ и касательной силы P_k для колеса 13,6R38 на стерне легкого суглинка для различных нагрузок на колесо G_k , которая представлена на рисунке 2.2.

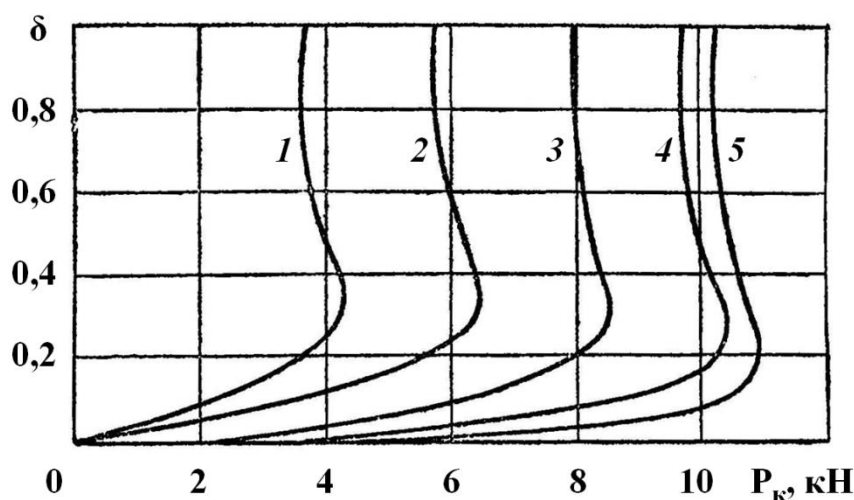


Рисунок 2.2—Взаимосвязь коэффициента буксования δ и касательной силы P_k различных нагрузок на колесо G_k : 1 - $G_k = 5$ кН; 2 - $G_k = 10$ кН; 3 - $G_k = 15$ кН; 4 - $G_k = 25$ кН; 5 - $G_k = 35$ кН.

Анализ показанных зависимостей показывает, что одинаковое буксование достигается при большем значении касательной силы, если

нагрузка на колесо выше. Это свойство подтверждает целесообразность в качестве влияющего фактора использовать отношение $\varphi = P_k / G_k$, как безразмерный критерий силового воздействия в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

Кроме того, в начале силового воздействия в контакте колеса с опорной поверхностью (на рисунке до $\delta < 0,1$) наблюдается практически линейная зависимость между δ и P_k при любой нагрузке на колесо. После этого участка увеличение силы в контакте колеса с опорной поверхностью приводит к прогрессивному увеличению коэффициента буксования δ . Продолжение увеличения касательной силы приводит к достижению ее максимального значения и, не смотря на рост буксования, величина касательной силы не увеличивается, а даже происходит ее снижение. Данный процесс характеризуется сцепными качествами колеса с опорной поверхностью φ_{max} на границе передачи максимального усилия.

Максимально достижимое значение касательной силы P_{kmax} , также как и значение P_k при одинаковом значении δ увеличивается с ростом нагрузки на колесо G_k , как показано на рисунке 2.3 [34].

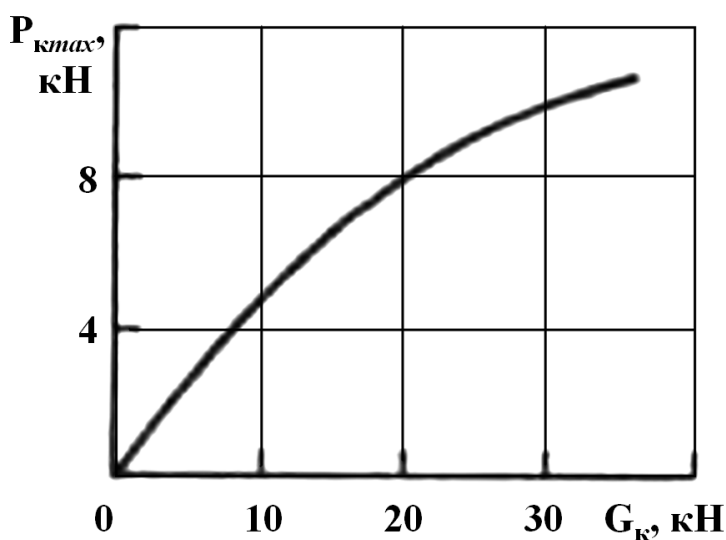


Рисунок 2.3—Изменение максимальной касательной силы P_{kmax} от нагрузки на колесо G_k

Влияние вида опорной поверхности на величину буксования можно проследить по рисунку 2.4, приведенному в работе [33]. Изменение осредненных значений коэффициента буксования δ приводится для тракторов 4к2 в зависимости от отношения крюковой силы трактора $P_{кр}$ к сцепному весу G_k для разных фонов опорной поверхности. Как следует из представленных данных для одинаковых относительных значений крюковой силы наибольшее буксование наблюдается на поле, подготовленном под посев (а), несколько меньшие значения получаются на стерне (б), затем на плотной почве (в) и асфальте или бетоне (г). Т.е. увеличение твердости опорной поверхности уменьшает буксование ведущих колес.

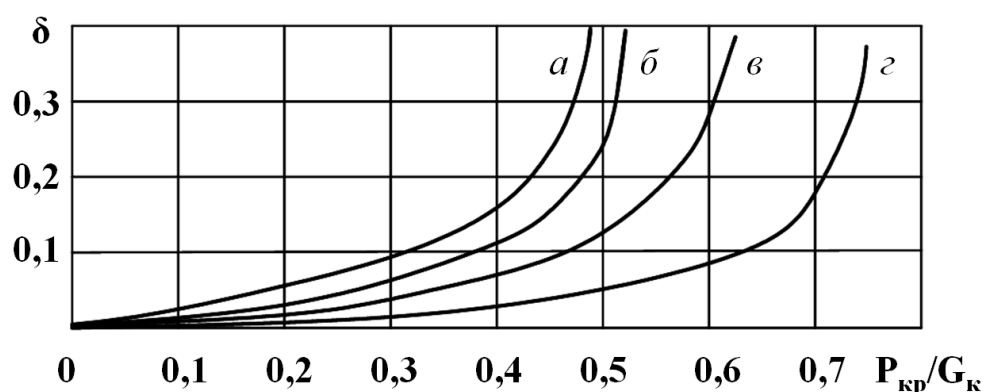


Рисунок 2.4— Изменение коэффициента буксования от отношения крюковой силы трактора $P_{кр}$ к сцепному весу G_k для разных фонов опорной поверхности: а – поле, подготовленное под посев; б – стерня; в – плотная почва; г – асфальт, бетон.

В механике грунтов рассматриваются зависимости деформации различных грунтов под действием приложенной силы. В процессе проведения испытаний получают зависимости деформации грунта Δ от приложенной силы G подобные показанной на рисунке 2.5 [35, 42]. При деформации грунта отмечаются следующие фазы, которые отмечены в виде отдельных участков на представленной зависимости.

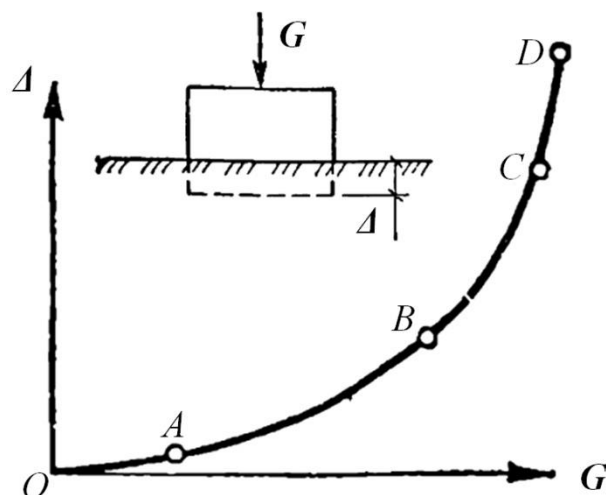


Рисунок 2.5– Фазы напряженно-деформированного состояния грунта.

Участок ***O-A*** называют *фазой упругих деформаций*. Возникающие под действием силы ***G*** напряжения в грунте не превышают его структурную прочность, и величина деформации ***Δ*** возрастает пропорционально приложенной нагрузке.

Участок ***A-B*** называют *фазой уплотнения и местных сдвигов*. Возникающие под действием силы ***G*** напряжения в грунте превышают его структурную прочность, развиваются пластические деформации, происходит уплотнение за счет уменьшения пористости грунта и величина деформации ***Δ*** превышает пропорциональность приложенной нагрузке (увеличивается интенсивнее).

Участок ***B-C*** называют *фазой развития интенсивных деформаций сдвигов и уплотнения*. При дальнейшем увеличении нагрузки начинается процесс развития деформаций за счет вытеснения грунта в боковые стороны. Деформация грунта еще больше прогрессирует в сравнении с нагрузкой. Этот участок соответствует значительному развитию местных сдвигов с продолжающимся процессом уплотнения.

Участок ***C-D*** называют *фазой выпора*. Нагрузка принимает такие значения, что структурная прочность грунта уже не способна противостоять этим усилиям и происходит пластическое вытеснение грунта из-под штампа

во все стороны – выпор. Даже незначительное увеличение нагрузки приводит к существенному перемещению штампа.

Аналогичные результаты получаются при сопоставлении кривой буксования с деформацией грунта при испытании на срез. Испытания грунта проводятся в специальной срезной коробке с возможностью создания вертикальной нагрузки на образец грунта. Это отмечается многими исследователями и подробно описано в работе [25]. Результаты сопоставления приведены на рисунке 2.6.

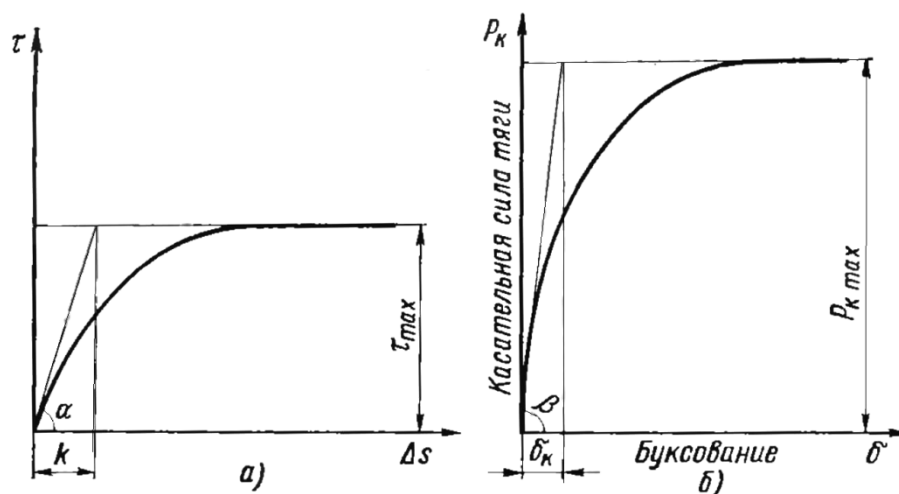


Рисунок 2.6– Параметры, характеризующие диаграмму сдвига почвы и характеристику буксования трактора: а) – зависимость сопротивления сдвигу τ от деформации Δs ; б) – зависимость касательной силы тяги P_k от буксования δ .

Сопоставление проводилось по следующим, показанным на рисунке, параметрам:

- угол наклона начального (линейного) участка α на диаграмме напряжений в грунте τ от деформации Δs (рис. 2.6, а) и угол наклона начального участка β на диаграмме буксования δ от касательной силы P_k (рис. 2.6, б);
- максимальное значение напряжения сдвигу в грунте τ_{max} (рис. 2.6, а) и максимальные значения касательной силы P_{kmax} (рис. 2.6, б);

- величина деформации грунта $k = \tau_{max}/tg\alpha$ и величина буксования $\delta_k = P_{kmax}/tg\beta$;
- степень изменения этих параметров при изменении свойств грунта.

Как отмечено в работе [67], достаточно часто для аппроксимации кривой сдвига используют экспоненциальную зависимость Джаноси–Ханамото для тангенциального напряжения в грунте τ :

$$\tau = \tau_{max} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{\Delta s}{K_\tau}\right)\right), \quad (2.11)$$

где: τ_{max} – максимальное тангенциальное напряжение, возникающее в грунте при сдвиге;

Δs – деформация сдвига грунта;

K_τ – параметр грунта (деформация грунта, при которой возникают напряжения τ_{max}).

Сопоставление поведения деформации грунта под действием нагрузки и изменение коэффициента буксования от касательной силы показывает их схожесть, что позволяет предположить связь степени буксования с физическими свойствами опорной поверхности.

Анализ кривой изменения буксования от касательной силы для асфальта или бетона (рис. 2.4, г), когда деформацией опорной поверхности можно пренебречь, показывает, что на буксование оказывает влияние не только деформация опорной поверхности, но и деформация эластичной шины колеса. Таким образом, необходимо рассматривать общую деформацию в системе колесо - опорная поверхность.

По аналогии с зависимостью для деформации грунта (2.11) запишем зависимость относительной касательной силы $\varphi = P_k/G_k$ от буксования δ :

$$\varphi = \varphi_{max} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{\delta}{k}\right)\right), \quad (2.12)$$

где: φ_{max} – коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью;

k – коэффициент податливости системы колесо–опорная поверхность (величина обратная жесткости системы).

После преобразования зависимости (2.12) относительно коэффициента буксования δ , получим зависимость следующего вида:

$$\delta = -k \cdot \ln \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_{max}} \right) \quad (2.13)$$

Полученная формула для расчета коэффициента буксования имеет следующие преимущества для использования при анализе тяговых характеристик трактора или ведущего колеса:

- 1) Формула отличается простотой и наличием трех влияющих величин, две из которых просто определяются.
- 2) Создаваемая касательная сила ведущего колеса задается в виде относительной (безразмерной) величины φ ;
- 3) Сцепные свойства колеса с опорной поверхностью задаются широко используемым коэффициентом сцепления φ_{max} , значения которого можно найти в справочной литературе для различных почвенных фонов, свойств ведущего колеса и дорожных покрытий или определить по стандартизированной методике по ГОСТ 30413-96;
- 4) Коэффициент податливости k в данной формуле пока является единственной не определенной величиной, значение которой определяется степенью деформации в системе колесо–опорная поверхность в ответ на силовое воздействие, приложенное к системе.

2.3. Определение количественных характеристик коэффициента податливости

Характеристика буксования ведущего колеса от приложенного крутящего момента зависит от большого количества факторов, которые могут изменяться в процессе работы трактора, что связано как с изменением свойств опорной поверхности, так и свойств самого ведущего колеса [41, 123,

92]. Поэтому для оценки величин коэффициентов, входящих в зависимость буксования от различных факторов лучше использовать осредненные зависимости, в которых выражается обобщенная тенденция влияния. Такие зависимости при анализе влияющих факторов лучше отражают общие функциональные закономерности и позволяют правильно выбрать эффективные решения.

В работе [25] для описания зависимости, связывающей крюковую силу и коэффициент буксования колесного движителя, предлагается похожая (2.11 и 2.12) зависимость для относительной крюковой силы $\varphi_{кр} = P_{кр}/G_k$:

$$\varphi_{кр} = \varphi_{max} \cdot \left[1 - \frac{A}{\varphi_{max}} \cdot \exp(-B \cdot \delta) \right], \quad (2.14)$$

где: φ_{max} – коэффициент сцепления движителя с почвой (максимальное значение относительной касательной силы, при которой начинается скольжение колеса относительно опорной поверхности);

δ – коэффициент буксования;

A и B – экспериментальные коэффициенты, получаемые в результате статистической обработки опытных данных.

На основании обработанных экспериментальных данных авторами [25] получены количественные значения коэффициентов на различных тракторах и почвах, которые приведены в таблице 2.2.

В отличие от зависимости (2.12) в таблице (2.2) приводятся полученные в работе значения для крюковой силы $P_{кр}$, которая отличается от касательной силы P_k на величину силы сопротивления качения P_f в соответствии с формулой (2.1). В относительных показателях выражение (2.1) принимает вид:

$$\varphi = \varphi_{кр} + f \quad (2.15)$$

Используя зависимость (2.15), можно преобразовать выражение (2.14) для относительной касательной силы φ к виду:

$$\varphi = \varphi_{max} + f - A \cdot \exp(-B \cdot \delta) \quad (2.16)$$

Рассматривая буксование как физический процесс, следует отметить, что оно является результатом деформации и проскальзывания в системе колесо – опорная поверхность от действия касательной силы. Следовательно, при $P_k=0$ ($\varphi = 0$) буксование должно отсутствовать, т.е. $\delta = 0$.

Подставляя эти значения в выражение (2.16), получим следующую взаимосвязь:

$$f = A - \varphi_{max} \quad (2.17)$$

Используя зависимость (2.17) для коэффициента сопротивления качению f в выражении (2.16) и принимая его значение независимым от касательной силы, после преобразования получим:

$$\varphi = A \cdot [1 - \exp(-B \cdot \delta)] \quad (2.18)$$

Преобразуя полученное выражение относительно коэффициента буксования δ , после преобразования получим:

$$\delta = -\frac{1}{B} \cdot \ln\left(1 - \frac{\varphi}{A}\right) \quad (2.19)$$

Используя предлагаемое выражение (2.13) для коэффициента буксования δ и выражение (2.19), полученное из зависимости (2.14), предлагаемой в работе [25], найдем значение коэффициента податливости k , для которого значения буксования по двум зависимостям одинаковы т.к. для зависимости (2.18) определены значения коэффициентов A , B и φ_{max} (таблица 2.2) для различных условий испытаний, то можно будет оценить степень изменения коэффициента податливости k для этих же условий.

Исходя из условия равенства буксования, определяемого по выражениям (2.13), и (2.19) можно записать:

$$-k \cdot \ln\left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_{max}}\right) = -\frac{1}{B} \cdot \ln\left(1 - \frac{\varphi}{A}\right) \quad (2.20)$$

Выражая из записанной зависимости (2.20) коэффициент податливости, получим:

$$k = \frac{\ln\left(1 - \frac{\varphi}{A}\right)}{B \cdot \ln\left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_{\max}}\right)} \quad (2.21)$$

Таблица 2.2 Коэффициенты осредненных зависимостей коэффициентов использования сцепного веса различных тракторов на различных почвенных и дорожных фонах [25]

Тип трактора	Почвенный фон, тип почвы или дорожного покрытия	$\varphi_{кр} = \varphi_{кр\max} - A \cdot e^{-B\delta}$		
		$\varphi_{кр\max}$	A	B
Колесные 4х2	Сухой бетон	0,76	0,80	24,4
	Стерня пшеницы или ячменя на суглинистом черноземе	0,7	0,756	8,82
	Стерня пшеницы или ячменя на супеси	0,60	0,75	8,81
	Поле, подготовленное под посев, на суглинистом черноземе и супеси	0,55	0,65	7,85
Колесные 4х4 Пропашные*	Стерня пшеницы или ячменя на суглинистом черноземе	0,60	0,64	6,82
	Поле, подготовленное под посев, на суглинистом черноземе	0,55	0,65	6,43
Колесные 4х4 Пахотные**	Стерня пшеницы или ячменя на суглинистом черноземе	0,67	0,708	7,15
	Поле, подготовленное под посев, на суглинистом черноземе	0,60	0,64	7,25
Гусеничные	Стерня пшеницы, ячменя на тяжелосуглинистом черноземе	0,75	0,80	73,0
	Стерня пшеницы, ячменя на среднесуглинистом черноземе	0,67	0,753	47,6
	Поле, подготовленное под посев, на средне- и тяжелосуглинистом черноземе	0, 62	0,68	30,3
* Тракторы по классической схеме (задние колеса большего размера).				
** Тракторы со всеми ведущими колесами одинакового размера (тракторы-тягачи).				

Результаты расчета коэффициент податливости k при изменении относительной касательной силы φ для различных условий испытаний,

приведенных в таблице 2.2, показаны в таблице 2.3. Приведенные в таблице 2.3 варианты рассмотрены для тракторов 4к4, для которых использовался весь вес трактора, что уменьшает ошибку, связанную с определением сцепного веса для тракторов 4к2. Только для движения по бетону использованы данные для трактора 4к2 из-за отсутствия данных испытаний трактора 4к4.

Таблица 2.3. Результаты расчета коэффициента податливости k для различных вариантов коэффициентов уравнения (2.16)

Вариант	1	2	3	4	5
φ_{max}	0,60	0,67	0,55	0,60	0,76
A	0,64	0,71	0,65	0,64	0,80
B	6,82	7,15	6,43	7,25	24,4
φ	k				
0,05	0,136	0,131	0,129	0,127	0,039
0,1	0,135	0,131	0,128	0,126	0,039
0,15	0,135	0,131	0,126	0,126	0,039
0,2	0,134	0,130	0,124	0,125	0,039
0,25	0,133	0,130	0,122	0,124	0,038
0,3	0,132	0,129	0,120	0,123	0,038
0,35	0,131	0,128	0,116	0,122	0,038
0,4	0,129	0,127	0,112	0,120	0,038
0,45	0,126	0,126	0,104	0,117	0,038
0,5	0,122	0,124	0,091	0,113	0,037
0,55	0,112	0,121		0,103	0,037
0,6		0,115			0,036
0,65		0,097			0,035
0,7					0,034
k_{cp}	0,130	0,125	0,117	0,121	0,038

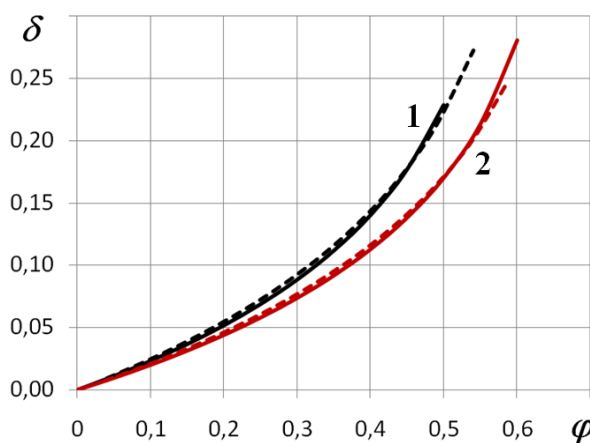
Представленные в таблице варианты приведены для следующих условий испытаний (см. табл. 2.2):

- 1) вариант 1 – пропашной трактор 4к4, стерня пшеницы или ячменя на суглинистом черноземе;
- 2) вариант 2 – пахотный трактор 4к4, стерня пшеницы или ячменя на суглинистом черноземе;
- 3) вариант 3 – пропашной трактор 4к4, поле, подготовленное под посев на суглинистом черноземе;
- 4) вариант 4 – пахотный трактор 4к4, поле, подготовленное под посев на суглинистом черноземе;
- 5) вариант 5 – трактор 4к2, бетон.

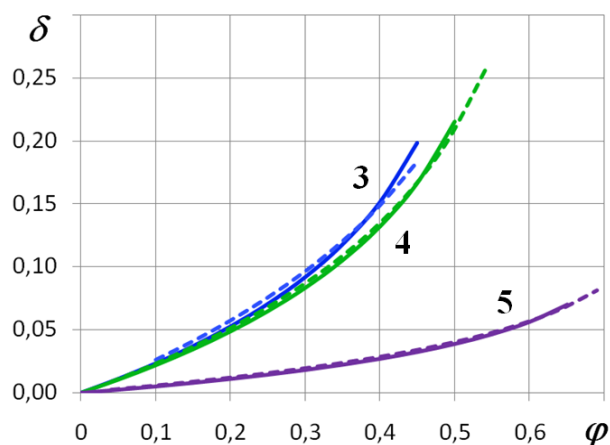
Приведенные в таблице 2.3 результаты расчета коэффициента податливости k , обеспечивающие идентичность буксования по разным зависимостям, показывают необходимость изменения коэффициента k при разных значениях касательной силы, что неудобно в процессе проведения сравнительных расчетов. Чтобы исключить это, предлагается использовать во всем диапазоне изменения относительной касательной силы φ , полученное среднее арифметическое значение коэффициента податливости $k_{\text{ср}}$ для данного диапазона. Эти значения приведены в конце таблицы 2.3, которые позволяют указать возможный диапазон изменения коэффициента податливости:

- для стерни $k = 0,125 \dots 0,13$;
- для поля под посев $k = 0,117 \dots 0,121$;
- для бетона $k = 0,038$.

Для оценки получаемой погрешности при использовании постоянного значения коэффициента податливости были проведены расчеты коэффициента буксования по формуле (2.19) и по формуле (2.13) при использовании $k = k_{\text{ср}}$. Результаты расчетов коэффициента буксования при разной относительной касательной силе показаны на рисунке 2.7,а для вариантов 1 и 2, и на рисунке 2.7,б для вариантов 3, 4 и 5. Кривые по формуле (2.13) при использовании $k = k_{\text{ср}}$ приведены сплошными линиями, и кривые по формуле (2.19) – пунктирными.



а)



б)

Рисунок 2.7. Сопоставление значений буксования по разным зависимостям вариантов 1, 2, 3, 4 и 5: сплошная линия – по формуле (2.13); пунктирная линия – по формуле (2.19).

Представленные на рисунке 2.7 результаты сопоставления позволяют заключить о хорошем совпадении данных по буксованию при расчете по формуле (2.13) при использовании постоянного значения коэффициента податливости k для различных значений касательной силы тяги.

В работе [67] для выполнения тягового расчета трактора предлагается расчет коэффициента буксования на стерне производить по другой зависимости, имеющий следующий вид:

$$\delta = \delta_{\text{пр}} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_{\text{max}}} \right)^m \right], \quad (2.22)$$

где $\delta_{\text{пр}}$ и m – коэффициент при полном буксовании и показатель степени, задаваемые для различных условий по приведенной таблице.

Значения некоторых табличных параметров для проведения тягового расчета при различных условиях приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Значения параметров, используемых при тяговом расчете

№	Тип трактора	Параметры		
		φ_{max}	$\delta_{\text{пр}}$	m
1	4к4а	0,6	0,5	0,31
2	4к4б	0,67	0,5	0,31

Для оценки достоверности получаемых значений коэффициента буксования по формуле (2.13) со значениями, получаемыми по формуле (2.22) в расчете, было принято значение коэффициента податливости (для формулы 2.13) среднее из диапазона для стерни $k = 0,1275$. Результаты расчетов приведены на рисунке 2.8 для трактора 4к4а (кривые 1) и для трактора 4к4б (кривые 2). Сплошными линиями приведены расчеты по формуле (2.13) и пунктирными – по формуле (2.22)

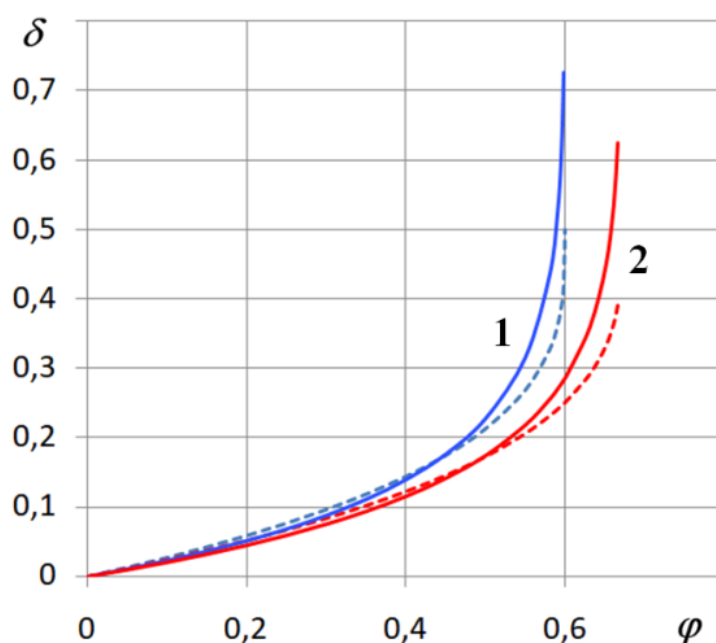


Рисунок 2.8–Сопоставление значений буксования по разным зависимостям для трактора 4к4а (1) и 4к4б (2): сплошная линия – по формуле (2.13); пунктирная линия – по формуле (2.22).

Представленные на рисунке 2.8 результаты сопоставления также позволяют заключить о хорошем совпадении данных по буксованию при расчете по формуле (2.13) при использовании значения коэффициента податливости $k = 0,1275$ как для трактора 4к4а, так и для трактора 4к4б при различных значениях касательной силы тяги в зоне допустимого буксования до $\delta < 0,2$. Такое совпадение еще раз подтверждает возможность использования предложенной формулы (2.13) для определения коэффициента буксования при тяговых расчетах трактора.

Результаты по буксованию тракторов 4к4 на различных почвенных фонах также приведены в литературе [34]. Для описания кривых буксования от тягового усилия подобраны коэффициенты для зависимости (2.13), значения которых приведены в таблице 2.5. Построенные характеристики буксования по использованным данным и кривые, построенные по зависимости (2.13) показаны на рисунке 2.9.

Таблица 2.5. Значения коэффициентов для разных почвенных фонов

Опорная поверхность	Поле, подготовленное под посев	Стерня	Целина, плотная залежь	Асфальт, бетон
φ_{max}	0,57	0,64	0,69	0,8
f	0.17	0.1	0.06	0.018
k	0,11	0,13	0,12	0,065
№ кривой на рисунке	1	2	3	4

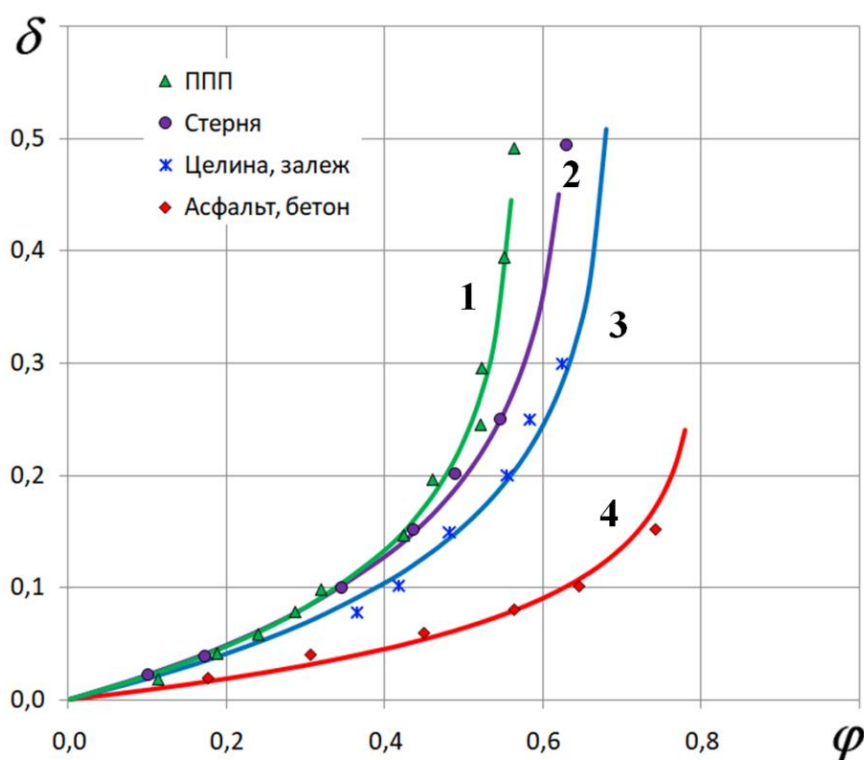


Рисунок 2.9– Характеристики буксования для разных почвенных фонов

Результаты сопоставления значений буксования из литературы [34] в виде маркеров на рисунке достаточно хорошо описываются кривыми, построенными по значениям коэффициентов, приведенным в таблице 2.5. Хорошее совпадение маркеров и кривых еще раз подтверждает применимость зависимости (2.13) для описания кривой буксования для работы тракторов по различным опорным поверхностям.

Для оценки влияния различных коэффициентов на значение коэффициента буксования сделана серия расчетов по формуле (2.13) при изменении относительной касательной силы φ . В работе [33] приведены значения коэффициентов сцепления φ_{max} для различных, встречаемых в условиях РФ при сельскохозяйственных работах, типах почвы. Эти значения показаны в таблице 2.6.

Таблица 2.6. Значения коэффициентов сцепления для колесных тракторов

№ пп	Опорная поверхность	φ_{max}
1	Асфальт	0,7...0,8
2	Целина, плотная залежь	0,7...0,9
3	Стерня	0,6...0,8
4	Поле, подготовленное под посев	0,4...0,6
5	Вспаханное поле	0,5...0,7
6	Скошенный луг	0,6...0,8
7	Песок	0,2...0,3
8	Задернелое болото	0,2...0,25
9	Глубокий снег (0,4 м)	0,2...0,25

Как следует из приведенных данных в таблице 2.6 значения коэффициентов сцепления φ_{max} для тракторов, работающих в АПК, может изменяться от 0,2 до 0,9. При расчетных исследованиях характера изменения коэффициента буксования был рассмотрен этот диапазон изменения φ_{max} .

Изменение коэффициента податливости k , как было показано в таблице 2.3, изменялось от 0,038 (бетон) до 0,13 (стерня). С учетом возможного большего изменения коэффициента k , диапазон его изменения в расчетных исследованиях составлял $k = 0,03 \dots 0,15$.

Результаты расчетов представлены на рисунке 2.10. На рисунке 2.10,а показано влияние коэффициента сцепления φ_{max} на характеристику буксования при значении коэффициента податливости $k = 0,13$. На рисунке 2.10,б показано влияние коэффициента податливости на характеристику буксования при значении коэффициента сцепления $\varphi_{max} = 0,6$.

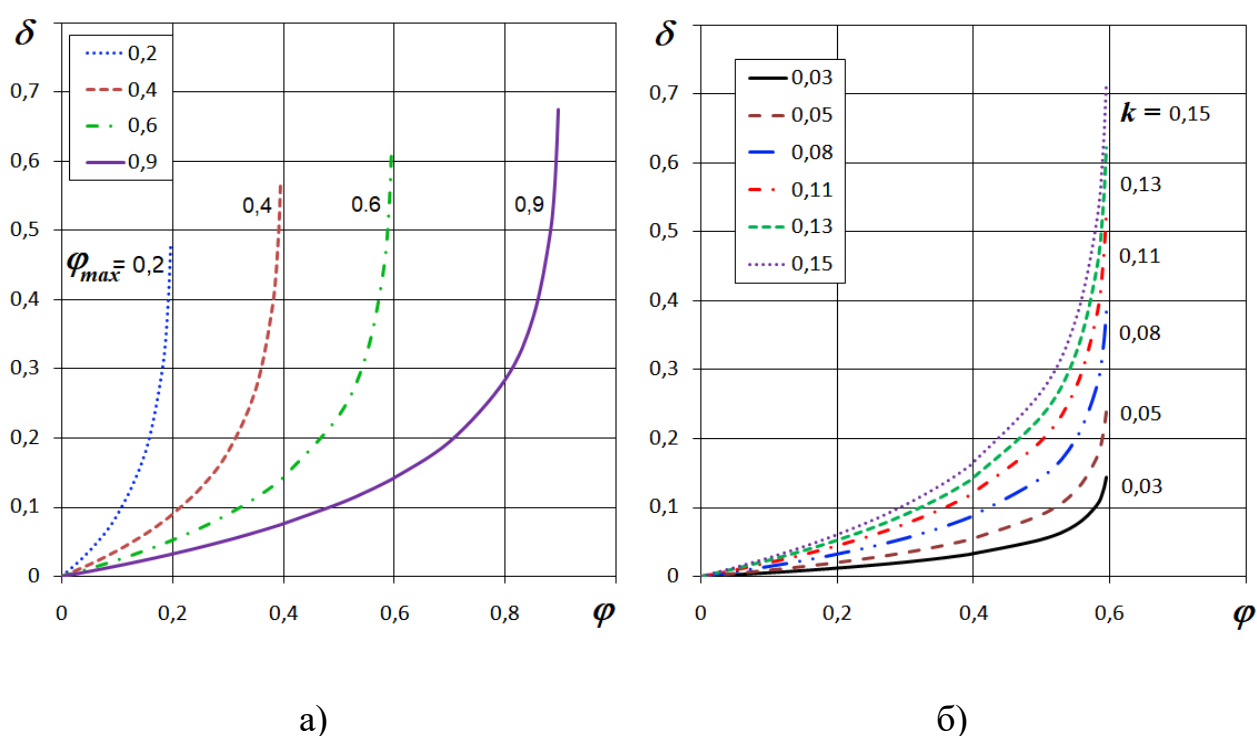


Рисунок 2.10— Влияние коэффициентов формулы (2.13) на характеристику изменения коэффициента буксования δ от φ : а) – при изменении φ_{max} ($k = 0,13$); б) – при изменении k ($\varphi_{max} = 0,6$).

Как следует из характеристик буксования при увеличении коэффициента сцепления φ_{max} (рис.2.10,а) характеристика «растягивается» по горизонтальной оси в сторону увеличения относительной касательной силы φ , что объясняется пропорциональным изменением отношения φ/φ_{max} , входящего в аргумент логарифма. При приближении φ к φ_{max} буксование стремится к единице (полное буксование).

Увеличение коэффициента податливости k приводит к интенсификации роста буксования с увеличением относительной касательной силы φ таким образом, что отношение δ/k остается постоянным для каждого значения φ .

2.4. Оценка влияния буксования на КПД ведущего колеса

Полученная зависимость КПД ведущего колеса (2.10) после подстановки выражения для относительной касательной силы от буксования (2.12) принимает следующий вид:

$$\eta_k = \left(1 - \frac{f}{\varphi_{max} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{\delta}{k}\right) \right) \right) \cdot (1 - \delta) \quad (2.23)$$

Для наглядного определения влияния буксования δ ведущего колеса на его КПД η_k были проведены расчетные исследования для разных типов опорной поверхности, характеристики которых приведены в таблице 2.5. Результаты этих расчетов показаны на рисунке 2.11.

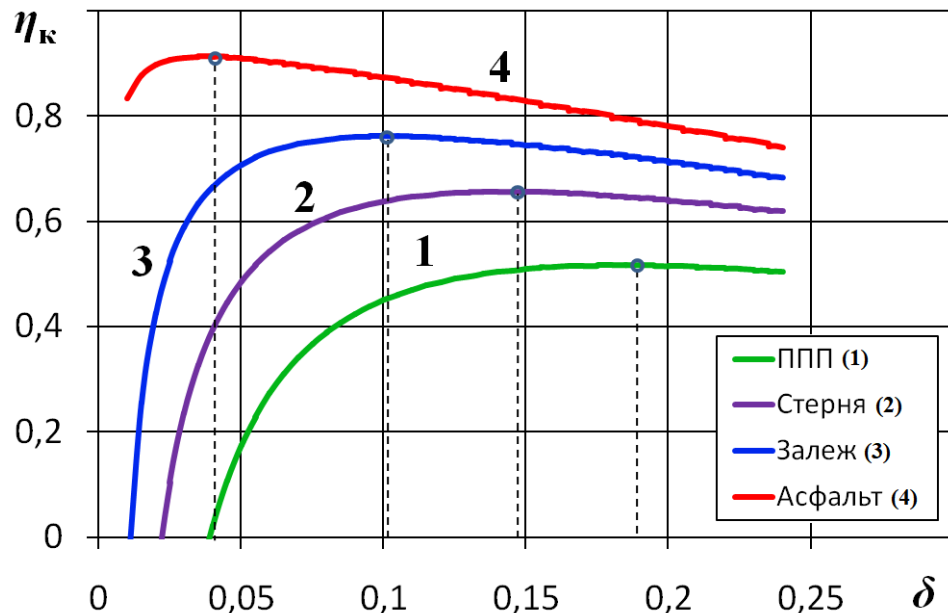


Рисунок 2.11– Влияние коэффициента буксования δ на КПД ведущего колеса η_k на разных опорных поверхностях: 1 – поле, подготовленное под посев; 2 – стерня; 3 – целина, плотная залежь; 4 – асфальт, бетон.

Все приведенные на рисунке кривые изменения КПД от коэффициента буксования на разных опорных поверхностях имеют максимальное значение

КПД $\eta_{\text{км}}$ (отмечены маркером) при определенном буксовании $\delta_{\text{м}}$. Наибольшее значение КПД $\eta_{\text{км}}$ получается при движении колеса по асфальту или бетону, что можно объяснить меньшей податливостью опорной поверхности и, соответственно, меньшими потерями на деформацию поверхности в пятне контакта.

Наименьшее значение максимального КПД $\eta_{\text{км}}$ получается при движении колеса по полю, подготовленному под посев, что по аналогии можно объяснить большей податливостью опорной поверхности и, соответственно, большими потерями на деформацию поверхности в пятне контакта.

Полученные зависимости показывают, что буксование, при котором достигается максимальный КПД ведущего колеса (оптимальное) зависит от свойств опорной поверхности, с которой ведущее колесо взаимодействует. Значения оптимального буксования для исследованных поверхностей приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7. Значения оптимальных режимов ведущего колеса

Опорная поверхность	Поле, подготовленное под посев	Стерня	Целина, плотная залежь	Асфальт, бетон
$\delta_{\text{м}}$	0,185	0,145	0,1	0,04
$\eta_{\text{км}}$	0,516	0,656	0,762	0,913

Энергетические потери на деформацию опорной поверхности в пятне контакта связывают с коэффициентом сопротивления качению колеса f [34, 74, 57, 19, 23, 14, 45]. Значение максимального КПД ведущего колеса $\eta_{\text{км}}$ и буксования $\delta_{\text{м}}$ при котором оно получено показано на рисунке 2.12 в виде зависимости от коэффициента сопротивления качению f для рассматриваемых опорных поверхностей.

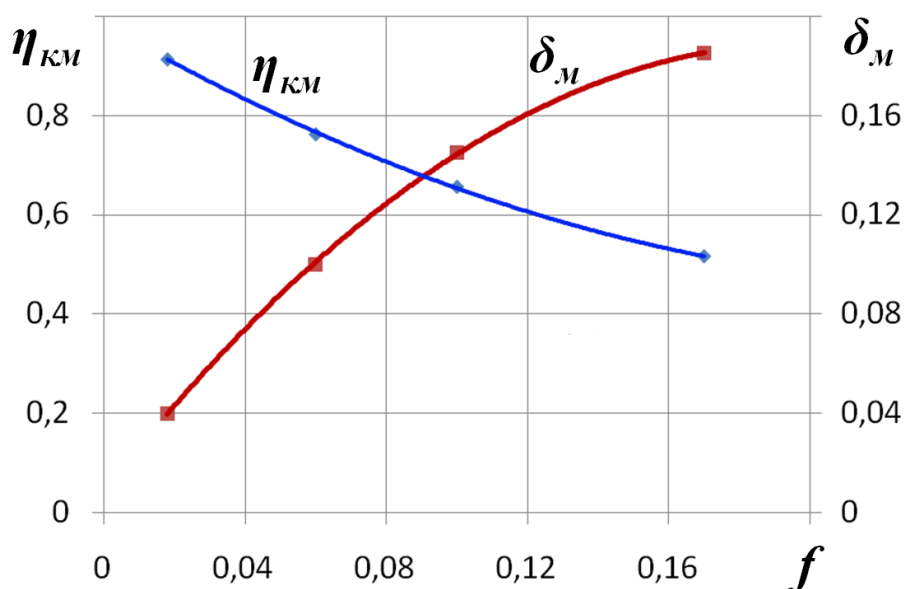


Рисунок 2.12– Изменение максимальных значений КПД ведущего колеса $\eta_{км}$ и коэффициента буксования δ_m при котором оно получено в зависимости от сопротивления качению рассмотренных опорных поверхностей.

Показанные на рисунке результаты изменения максимального КПД ведущего колеса $\eta_{км}$ и соответствующее ему буксование зависят от свойств опорной поверхности и колеса.

Как следует из представленных данных в таблице 2.7, оптимальное буксование для каждого вида опорной поверхности имеет свое значение:

- для поля, подготовленного под посев $\delta_m \approx 0,185$;
- для стерни $\delta_m \approx 0,145$;
- для целины или плотной залежи $\delta_m \approx 0,1$;
- для асфальта или бетона $\delta_m \approx 0,04$.

Полученные данные по влиянию свойств опорной поверхности на максимальный КПД и его зависимость от буксования показывают, что для обеспечения работы ведущего колеса с максимальным КПД необходимо оценивать величину буксования и для каждого почвенного фона стремиться обеспечивать такое буксование, при котором достигается максимальное КПД.

Выводы по второй главе

Изложенные в главе материалы позволяют сделать следующие выводы:

1. Одним из основных факторов, оказывающих влияние на КПД ведущего колеса трактора, является его буксование при обеспечении необходимой тяговой силы.

2. На основании процессов, происходящих в пятне контакта ведущего колеса с опорной поверхностью получено выражение взаимосвязи касательной силы колеса с буксованием. Выражение включает безразмерные величины и учитывает касательную силу, сцепление колеса с опорной поверхностью, буксование колеса и коэффициент податливости (эмпирический коэффициент). Полученное выражение проверено на результатах испытаний тракторов 4к4 и результаты исследований показали возможность его использования для различных видов опорной поверхности.

3. Определен диапазон изменения вновь введенного коэффициента податливости k , который для сельскохозяйственных тракторов составляет $k=0,03...0,15$.

4. Получены численные значения сочетания коэффициентов сцепления φ_{max} и податливости k для определения значений коэффициента буксования по предлагаемой зависимости на различных почвенных фонах:

- для поля, подготовленного под посев $\varphi_{max} = 0,57$ и $k = 0,11$;
- для стерни $\varphi_{max} = 0,64$ и $k = 0,13$;
- для целины или плотной залежи $\varphi_{max} = 0,69$ и $k = 0,12$;
- для асфальта или бетона $\varphi_{max} = 0,8$ и $k = 0,065$.

5. Анализ влияния буксования на КПД ведущего колеса показал, что максимальный КПД достигается при определенном буксовании (оптимальное), которое зависит от свойств опорной поверхности, с которой взаимодействует ведущее колесо. Значения оптимального буксования δ_m для исследованных поверхностей имеют следующие значения:

- для поля, подготовленного под посев $\delta_m \approx 0,185$;
- для стерни $\delta_m \approx 0,145$;

- для целины или плотной залежи $\delta_m \approx 0,1$;
- для асфальта или бетона $\delta_m \approx 0,04$.

Глава 3. Экспериментальные установки для определения действительной скорости с помощью видеорегистрации

Контролю скорости движения объекта с помощью видеорегистрации уделяется большое внимание в основном органами обеспечения безопасности движения и этому посвящено много различных работ [20, 15, 101]. Однако контроль скорости подвижного объекта производится неподвижно установленными датчиками движения, работающими на различных способах измерений. Исследований, посвященных контролю скорости с подвижного объекта мало и их результаты описаны в главе 1. Поэтому для оценки возможности измерения скорости с подвижного объекта по данным видеорегистрации возникла необходимость экспериментальной проверки способа. Для этой цели были подготовлены экспериментальные установки, на которых проведены сначала исследования в лабораторных условиях, а затем в полевых на тракторе.

3.1. Лабораторная экспериментальная установка для оценки способов видеорегистрации

Цель экспериментального исследования состояла в проверке возможности использования видеорегистрации опорной поверхности с подвижного объекта для определения его действительной скорости.

В качестве места для исследований служили участки опорной поверхности, по которым чаще всего движется трактор – это дорожное покрытие асфальт и поле, измерения проводились на территории ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, запись опорной поверхности производилась на камеру Sony IMX363 технические характеристики камеры приведены в таблице 3.1 [93]. В качестве подвижного объекта использовалась тележка, оборудованная измерительным оборудованием, которая приводилась в движение вручную.

Для контроля измеренной скорости использовался занесенный в ГосРеестр средств измерений РФ прибор ИСД-3.1 (Бесконтактное измерение

скорости и дистанции), результаты измерений которого принимались за эталонные. Прибор ИСД-3.1 предназначен для бесконтактного измерения скорости перемещения и длины материалов, движущихся относительно датчика (рулонных материалов, кабелей, труб), и скорости движения и пройденного пути транспортного средства при установке датчика на транспортное средство № по Госреестру 75983-19 и его технические характеристики представлены в таблице 3.2 [63,5].

Таблица 3.1 Технические характеристики камеры Sony IMX363

Параметр	Значение
Эффективных пикселей (Ширина x Высота)	12 МП (4032 x 3024 пикселей)
Размер диагонали в видеконовых дюймах	6.86 мм (1/2.6")
Размер пикселя (мкм)	1.40 мкм
Субпиксельная схема	RGB
Фазовый фокус	Да (DualPixel)
Оптическая стабилизация	Да
Год выпуска	2018

Камера Sony IMX363 мобильный датчик изображения, чаще используемый в смартфонах, например GooglePixel«6а» аббревиатура EMX идёт от технологии Exmor принадлежащей фирме Sony. Матрица датчика, выполненная по этой технологии большей светочувствительностью благодаря тому, что в ней сетка проводников расположена с тыльной стороны фотоэлементов.

В датчике с обратной засветкой кремниевая подложка перевернута, чтобы обеспечить воздействие света на обратную сторону. Поскольку свет не блокируется проводкой и слоем транзистора, на каждый пиксель попадает

сравнительно больше света, и нет потери чувствительности, вызванной изменением угла падения [117].

В процессе проведения эксперимента камера была закреплена на подвижной лабораторной установке, имитирующей движение трактора, запись данных с прибора ИСД 3.1 (рисунок 3.1) велась на ноутбук через COM порт. Дальнейшая обработка материала осуществлялась при помощи прилагаемого к прибору программного обеспечения ISD_Ethernet_Ru.exe (рисунок 3.2.)



Рисунок 3.1. Прибор ИСД 3.1

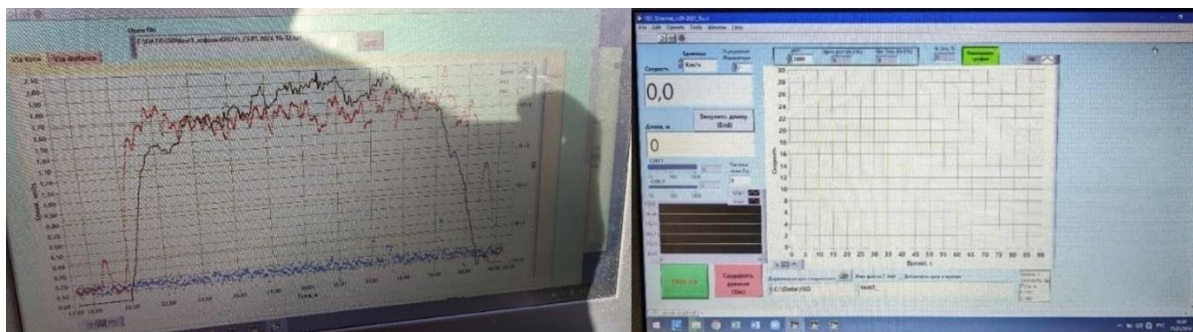


Рисунок 3.2. Рабочее окно программы ISDEthernet

Таблица 3.2. Технические характеристики ИСД 3.1.

Параметр	Значение
Диапазон измеряемых скоростей	0,2 – 50 м/с
Пределы абсолютной погрешности измерения скорости	$\pm 0,5 - 0,1\%$ СКО
Точность измерения расстояния	$< \pm 0,05\%$ СКО
Определение направления движения	Есть
Частота измерений	10 - 70 Гц (47 Гц типично)
Номинальное расстояние до объекта и допустимое изменение при измерениях	15 – 60 см, $\pm 30\%$ от номинала*
Напряжение питания (диапазон)	12В номинальное (10 – 14,5 В), 24В (9-36 В)
Потребляемая мощность	Сенсор: 7Вт. Модуль обработки: 1,5 Вт
Диапазон рабочих температур сенсора	-20...+50°C
Вес сенсора + крепежные хомуты	280г + 120г
Размеры сенсора	Ø55 x 205 мм + осветитель
Длина кабеля сенсора	3м
Длина кабеля питания	1,5 м
Защита сенсора от окружающей среды	IP67
Магнитные крепления сенсора	4 магнита по 12 Кг прижимной силы
Блок обработки сигнала:	
Размеры корпуса, мм	120x100x35
Вес, г	350
Выходные сигналы блока обработки: Аналоговый: Частотный:	Скорость, 65 -150 мВ/м/с, до 3,3 В. Путь, 1000 Имп/м (=скорость 1000 Гц/м/с), меандр 0 – 5 В либо 0 – Упит, до 200 КГц.
Цифровой:	Передача всех параметров и настройка датчика по Ethernet (протокол UDP) либо по COM-USB (UART) .
Физическая задержка обновления выходных сигналов (latency)	0,5/(частота измерений)

Монтаж измерительного модуля ИСД 3.1 проводился на магнитное основание с предварительно установленным на подвижной лабораторной установке корпусе из металла на высоте 70 см от опорной поверхности, камера видеорежистратора смонтирована на высоте 96 см и вынесена за

корпус лабораторной установки на 25 см для большего захвата опорной поверхности объективом при этом камера расположена таким образом что бы широкая сторона полученного изображения располагалась по ходу движения лабораторной установки как показано на рисунке 3.4. Питание измерительного модуля производилось от АКБ. Принципиальная схема расположения приборов приведена на рисунке 3.3.

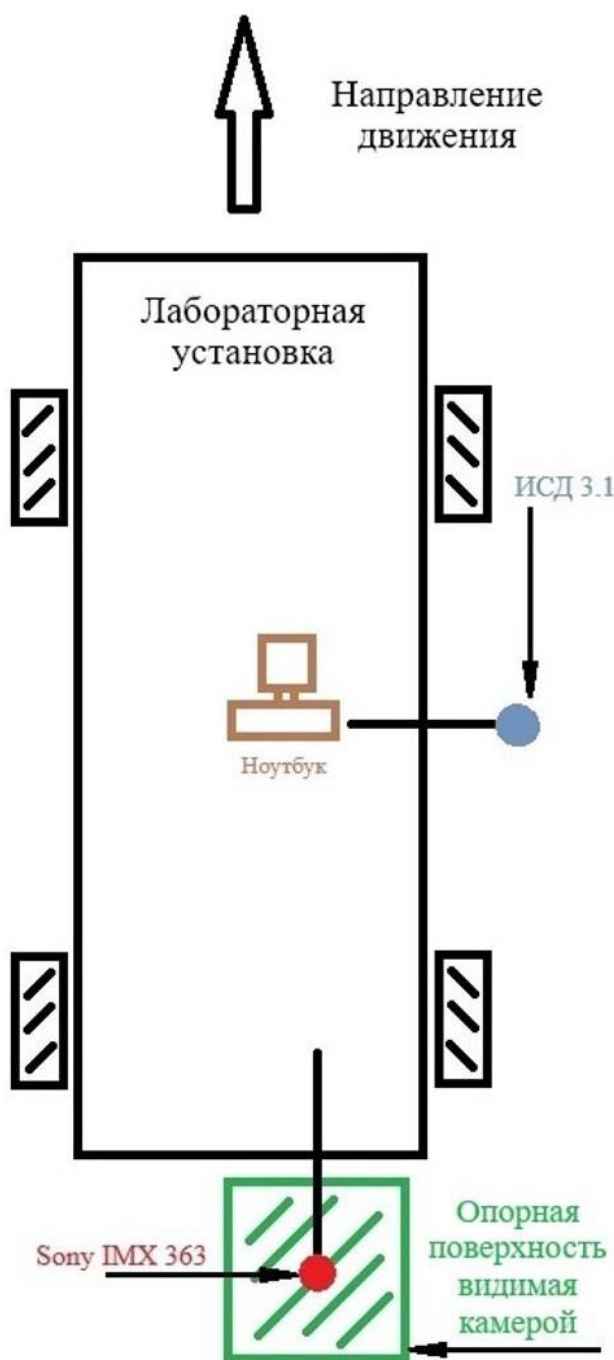


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема лабораторной установки

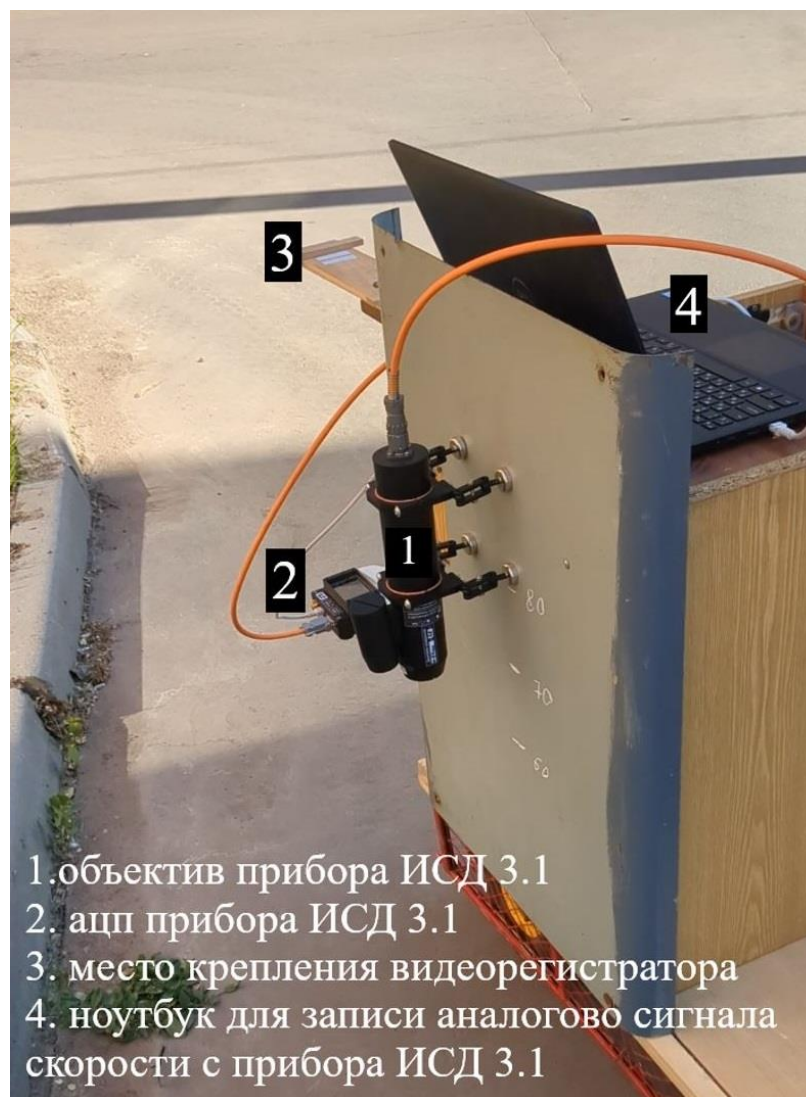


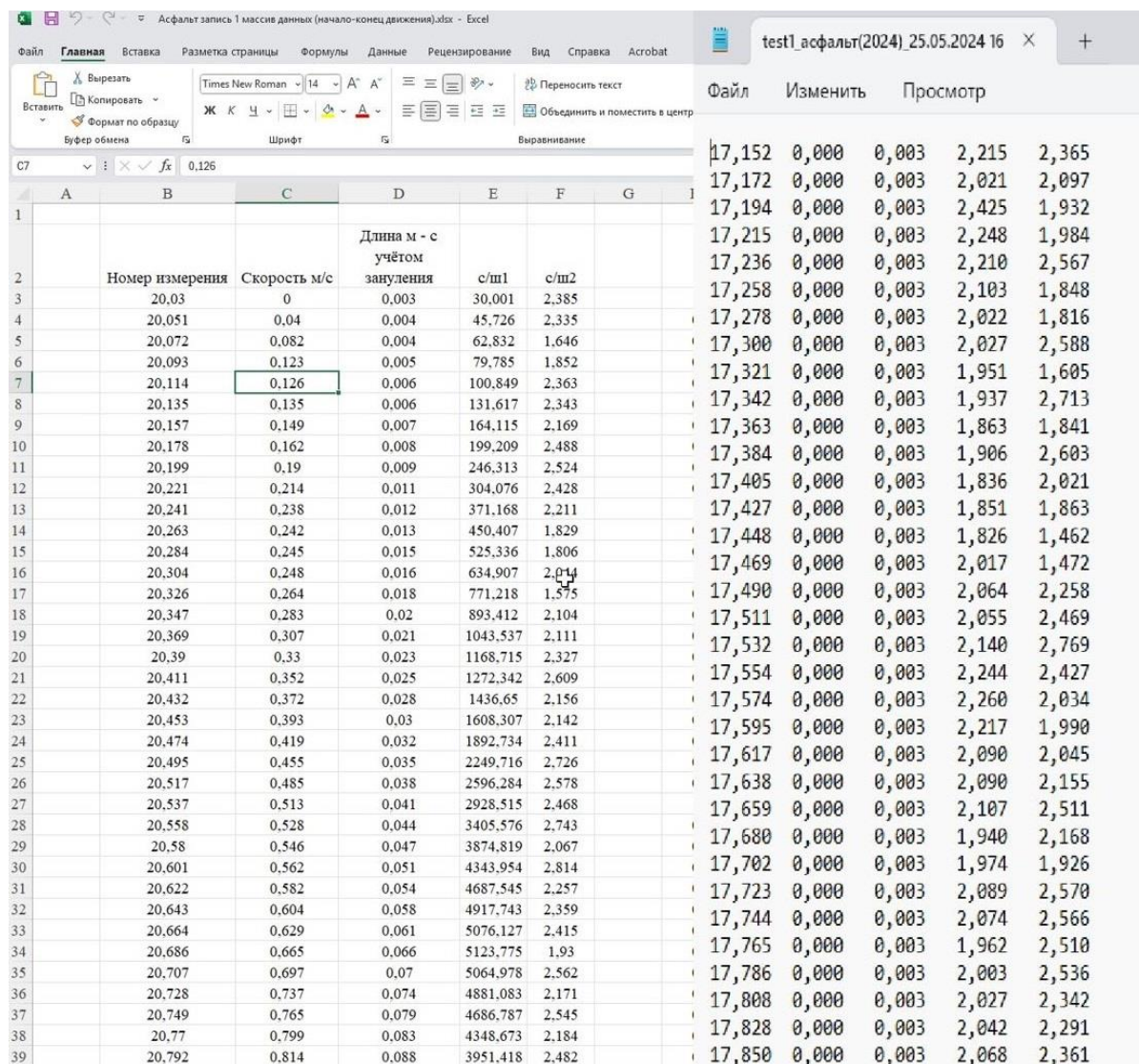
Рисунок 3.4 – Монтаж измерительной системы на подвижную лабораторную установку.

Процесс измерения выполнялся следующим образом рисунок 3.4:

1. На ноутбуке в программе ISDEthernet включается запись аналогового сигнала с измерительного сенсора 1 прибора ИСД 3.1, данные предыдущей записи предварительно обнуляются при помощи кнопки «Сброс» на АЦП прибора 2
2. В интерфейсе видеорегистратора SonyIMX 363 включается запись видеоизображения.
3. Подвижная тележка приводится в движение и движется пока не пройдёт расстояние равное 10 метрам за тем останавливается.

4. После остановки производится выключение записи с видеорегистратора SonyIMX 363 и прибора ИСД 3.1

5. Данные прибора ИСД 3.1 конвертируются из текстового формата программы блокнот .txt в формат программы Excel .xlsx как показано на рисунке 3.5



Номер измерения	Скорость м/с	Длина м - с учётom завуления	с/ш1	с/ш2
20.03	0	0.003	30.001	2.385
20.051	0.04	0.004	45.726	2.335
20.072	0.082	0.004	62.832	1.646
20.093	0.123	0.005	79.785	1.852
20.114	0.126	0.006	100.849	2.363
20.135	0.135	0.006	131.617	2.343
20.157	0.149	0.007	164.115	2.169
20.178	0.162	0.008	199.209	2.488
20.199	0.19	0.009	246.313	2.524
20.221	0.214	0.011	304.076	2.428
20.241	0.238	0.012	371.168	2.211
20.263	0.242	0.013	450.407	1.829
20.284	0.245	0.015	525.336	1.806
20.304	0.248	0.016	634.907	2.044
20.326	0.264	0.018	771.218	1.575
20.347	0.283	0.02	893.412	2.104
20.369	0.307	0.021	1043.537	2.111
20.39	0.33	0.023	1168.715	2.327
20.411	0.352	0.025	1272.342	2.609
20.432	0.372	0.028	1436.65	2.156
20.453	0.393	0.03	1608.307	2.142
20.474	0.419	0.032	1892.734	2.411
20.495	0.455	0.035	2249.716	2.726
20.517	0.485	0.038	2596.284	2.578
20.537	0.513	0.041	2928.515	2.468
20.558	0.528	0.044	3405.576	2.743
20.58	0.546	0.047	3874.819	2.067
20.601	0.562	0.051	4343.954	2.814
20.622	0.582	0.054	4687.545	2.257
20.643	0.604	0.058	4917.743	2.359
20.664	0.629	0.061	5076.127	2.415
20.686	0.665	0.066	5123.775	1.93
20.707	0.697	0.07	5064.978	2.562
20.728	0.737	0.074	4881.083	2.171
20.749	0.765	0.079	4686.787	2.545
20.77	0.799	0.083	4348.673	2.184
20.792	0.814	0.088	3951.418	2.482

Рисунок 3.5 – Пример конвертации из программы блокнот в excel

6. Дальнейшая обработка видео материала проводилась при помощи программного обеспечения Filmora с возможностью поиска объектов на видео и Krita с включённым отображением поля кадра для подсчёта перемещения. Обработка данных производилась с помощью Microsoft Excel для построения и анализа графиков скорости. Видеоматериал с записью

опорной поверхности открывается при помощи программы Filmora в которой производится следующие операции как показано на рисунке 3.6:

- ряд кадров, из которых состоит видеоматериал делится на сектора по 10 кадров в каждом от начала движения опорной поверхности и до его остановки 1.

- за тем в каждом секторе выбирается участок опорной поверхности, который нужно найти в нём от 1 кадра и до 10 кадра с помощью алгоритма отслеживания плоскостей PlanarTracking. Для удобства последующей обработки в центре найденного участка опорной поверхности на каждом кадре устанавливается чёрный квадрат с белыми рамками.

- полученный видеоматериал сохраняется в виде последовательных пронумерованных изображений.

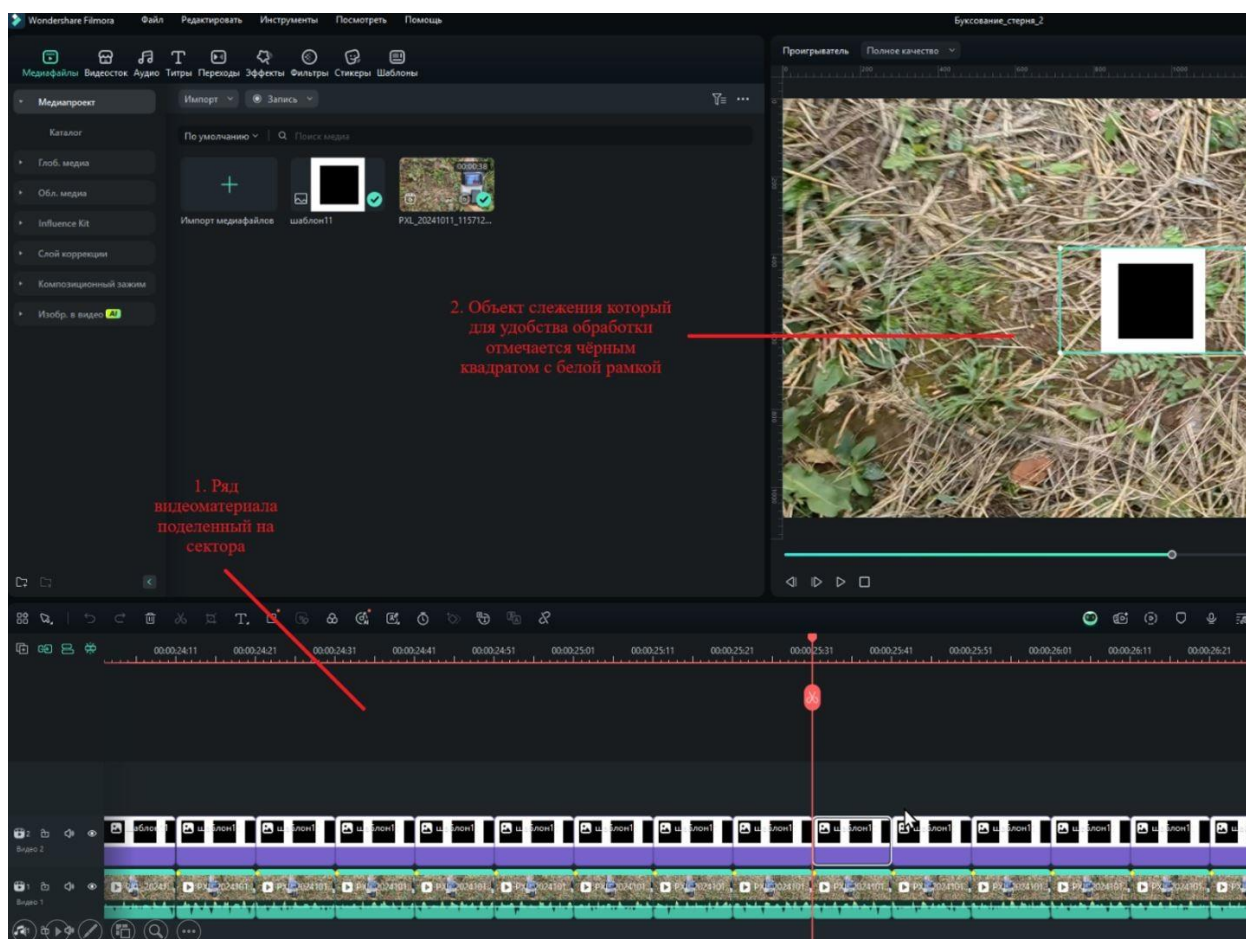


Рисунок 3.6 – Пример обработанного видеоматериала

7. Полученные изображения обрабатываются в программе Krita с включённой функцией линейки цена деления, которой 1 пиксель как показано на рисунке 3.7.

8. В процессе обработки изображения в программе Krita нужно выбрать участок объекта слежения рисунок 3.7, к примеру правый верхний угол квадрата с белой рамкой и за тем определять его координаты по оси X при помощи функции линейка на каждом изображении и записывать значение в Excel.

9. По результатам обработки данных с ИСД 3.1 и видеорегистрации опорной поверхности определяются:

- действительная скорость движения лабораторной установки
- дисперсия значений по результатам исследований

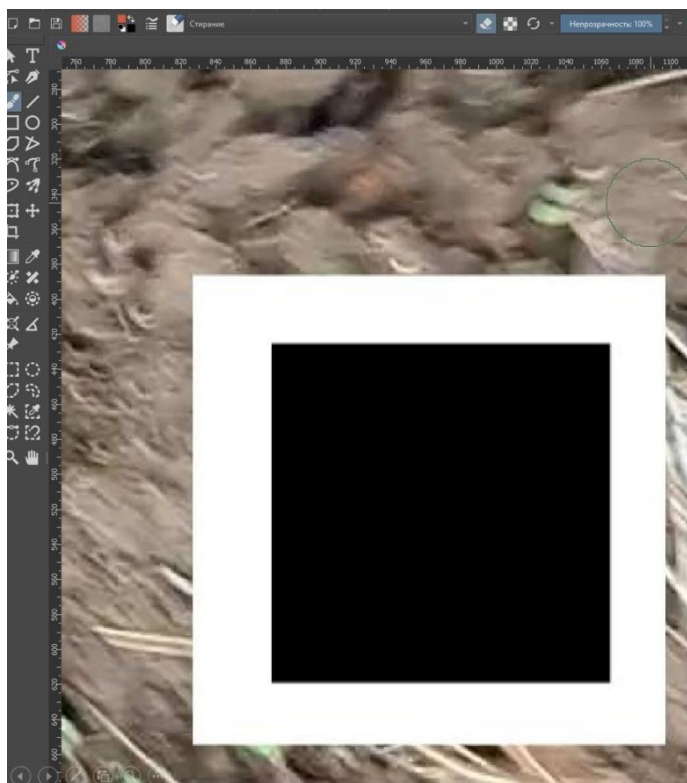


Рисунок 3.7 – Пример обработки полученных изображений

3.2 Экспериментальная установка, на базе трактора МТЗ – 82

Цель экспериментального исследования состояла в проверке использования видеорегистрации опорной поверхности для определения скорости движения при монтаже устройства на работающем тракторе.

В качестве участков для исследований служили опытные поля и асфальтированный полигон расположенных на территории ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева (рисунок 3.8) на тракторе МТЗ – 82 с установленным на нём оборудованием и программным обеспечением таблица 3.3.

Трактор МТЗ – 82 с установленным и включённым оборудованием (рисунок 3.9) проходил намеченные участки (асфальт, поле). Во время движения велась запись теоретической и действительной скорости. Принципиальная схема расположения оборудования на тракторе отражена на рисунке 3.10. Начало регистрации сигналов с датчиков и ее окончание осуществлялось из кабины трактора одновременно перед каждым прогоном. Синхронизация показаний осуществлялось по времени, зафиксированном в исходном файле записи на ноутбуке и видеорегистраторе.



Рисунок 3.8 – Карта с отмеченными территориями на которых проводились исследования

Таблица 3.3. Оборудование и программное обеспечение

Название	Модель
Камера Sony	IMX363
Измеритель скорости и длинны (ИСД)	3.1
Программа для записи аналогово сигнала с ИСД 3.1	ISD_Ethernet_Ru.exe
Ноутбук lenovo	latitude
Цифровой тахометр	SD -576B
Аналогово цифровой преобразователь	ЛА-2USB
Bluetooth кнопка для управления камерой	AB shutter 3
Эластомерное демпфирующие устройство для камеры	Демпфер
Измерительный прибор для измерения влажности и рНпочвы	JXBS-3001-SCY-PT
Пенетрометр	ALIYIQI (TYD-2)
Программа для записи сигнала с АЦП ЛА-2USB	SeverSEверсия 2.0.15.3
Программа для просмотра сигнала с АЦП ЛА-2USB	ADCLab SE версия: 2.0.15.9 [SDK 2.0]
Программа для конвертирования бинарных файлов	ConverterSEверсия: 2.5.15.1
Динамометр	ДЭП/6-1Д-100Р-2

Процесс измерений можно разделить на два подпроцесса:

1. Запись действительной скорости трактора.
2. Запись теоретической скорости трактора.

Для записи действительной скорости трактора использовалась видеорегистратор 1 эталонный прибор (ИСД 3.1) 5.

Процесс записи сигнала происходил следующим образом:

В кабине трактора находится кнопка удалённого управления включением видеорегистрации 6 и ноутбук 7 рисунок 3.11, на который установлена программа управления и записи эталонным прибором (ИСД 3.1) 5 ISD_Ethernet_Ru.exe и программа записи сигнала с аналогово цифрового преобразователя (SeverSE), а также программа просмотра сигнала (ADCLabSE).

В программе ISD_Ethernet_Ru.exe включается запись сигнала с измерительного сенсора (ИСД 3.1) 8 проходящего через модуль обработки сигнала 5 и АЦП (ла2usb) 10, который так же подключён к ноутбуку 5 и записывает сигнал при помощи программы SeverSE.

В видеорегистраторе 1 включена программа управления камерой и установлен режим видео съёмки, после чего при нажатии на кнопку удалённого управления 6 включается видеозапись. Для дополнительного контроля цифровой тахометр 4 и модуль обработки сигнала 5 попадают в ширину захвата видеорегистратора 1 опорной поверхности 3 (рисунок 3.12).

Для исключения вибраций от работающего двигателя во время движения трактора видеорегистратор 1 установлен на эластомерном демпфирующем устройстве 2.

Эластомерное демпфирующее устройство представляет собой эластичный пенополиуретан [106] толщиной 20 мм на котором крепится видеорегистратор с утяжелителем выбранной ранее массы.

Для записи теоретической скорости трактора использовался цифровой тахометр SD – 576B, регистрирующий частоту вращения заднего колеса трактора.

Процесс записи сигнала происходил следующим образом:

Из кабины трактора на ноутбуке 7 включается программа записи сигнала с АЦП 10 (ЛА-2USB), установленного в аккумуляторном отсеке (рисунок 3.13), к которому подключён источник сигнала от цифрового тахометра 4(SD – 576B).

Для корректного отображения цифровым тахометром пройденного пути необходимо указать в его настройках длину окружности колеса, с которого он считывает показания вращения. Соотношение между пройденным путем и диаметром колеса задавалось по зависимости:

$$\frac{D_{ш} \cdot 3,14}{n_m} = L_{окр.к} , \quad (3.1)$$

где: $D_{ш}$ - условный диаметр шины колеса, по которому считается пройденный путь;

$L_{окр.к}$ - окружность колеса с учётом количества источников сигнала (магнитов);

n_m - количество симметрично установленных неодимовых магнитов на мерном диске колеса.

Измерение диаметра шины колеса $D_{ш}$ производится на ровном участке асфальта с измеренным давлением в шинах следующим образом:

1. На борту шины заднего колеса трактора и асфальте мелом ставятся засечка, так что бы эти линии были напротив друг друга.

2. Трактор прокатывают на расстояние равное одному обороту колеса, фиксация оборота колеса производится визуально по белой метке на борту шины, нарисованной мелом.

3. После сделанного оборота на асфальте ставится вторая метка напротив метки на шине.

4. Измерительным устройством производится измерение расстояние от первой метки на асфальте до второй.

5. Определяется радиус качения ведущего колеса по зависимости:

$$r_k = \frac{L_{окр.к}}{2 \cdot \pi}, \quad (3.2)$$

Цифровой тахометр 4 считывает сигнал, полученный при размыкании геркона 11 который установлен на специальной рейке для регулировки зазора между специальным диском 9 на поверхности которого находятся неодимовые магниты 12 рисунок 3.14 закреплённого на заднем мосту трактора (рисунок 3.15).



Рисунок 3.9 – Трактор МТЗ – 82 с установленным оборудованием

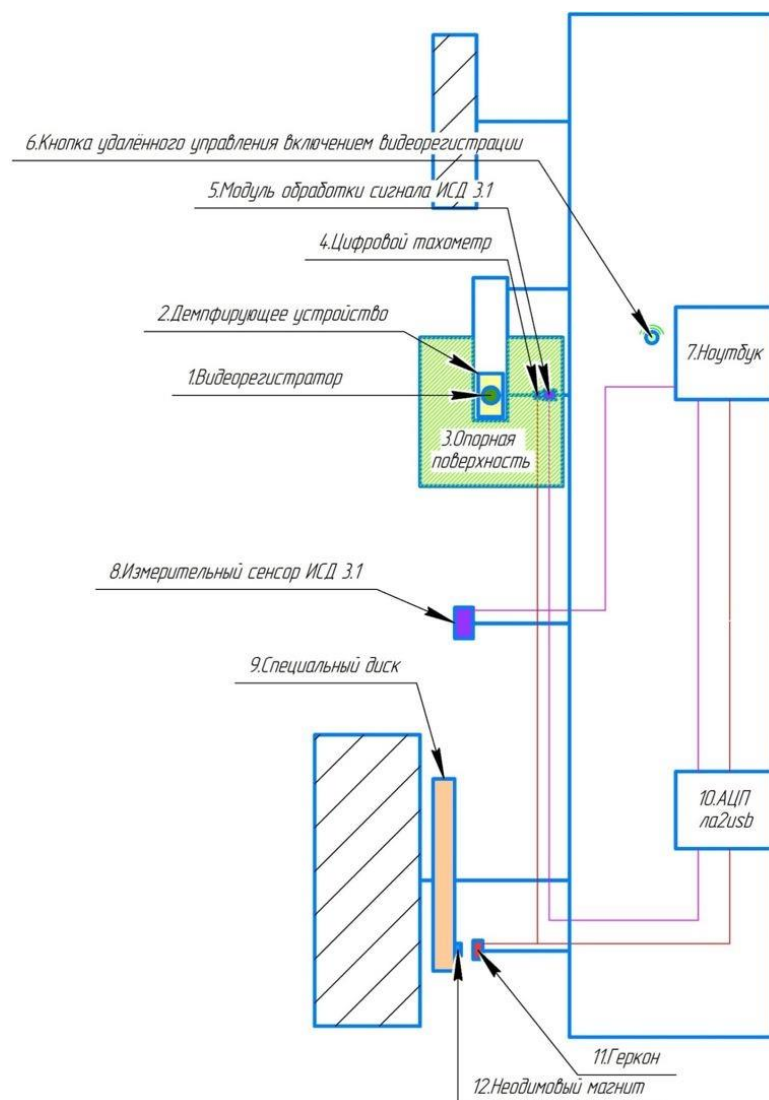


Рисунок 3.10 – Принципиальная схема расположения и подключения оборудования на тракторе МТЗ - 82

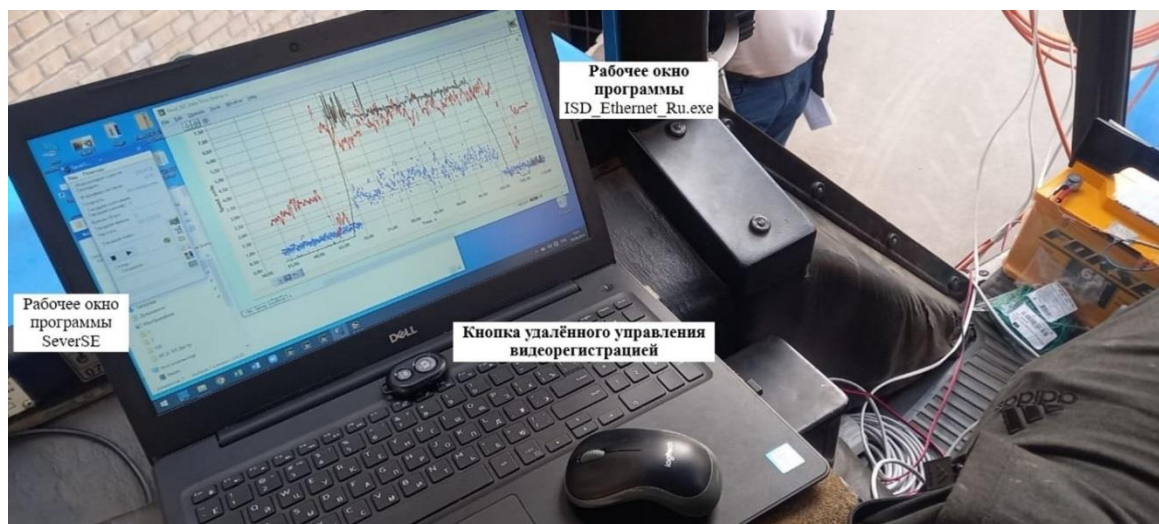


Рисунок 3.11 – Кнопка удалённого управления видеорегистратором и ноутбук

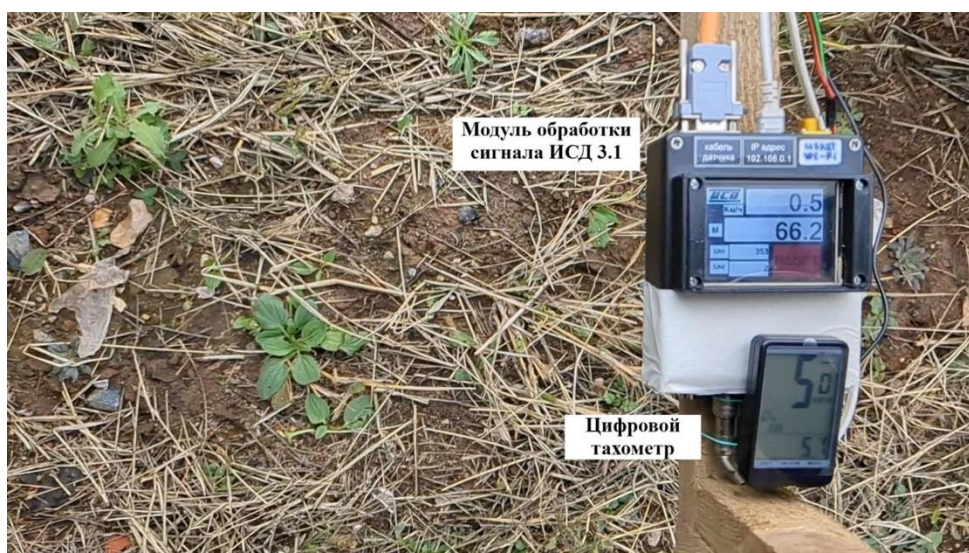


Рисунок 3.12 – Цифровой тахометр и модуль обработки сигнала ИСД 3.1

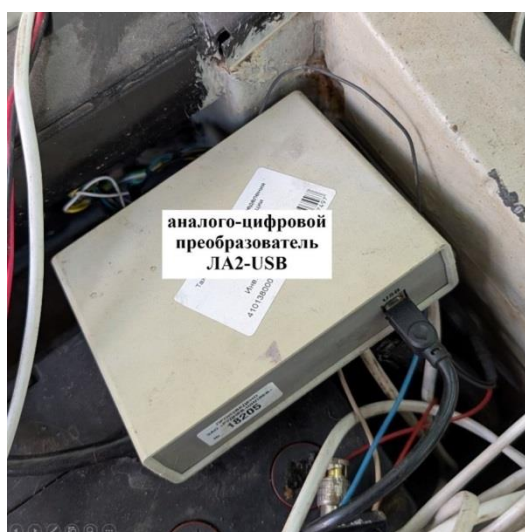


Рисунок 3.13 – Расположение аналого-цифрового преобразователя ЛА2-USB

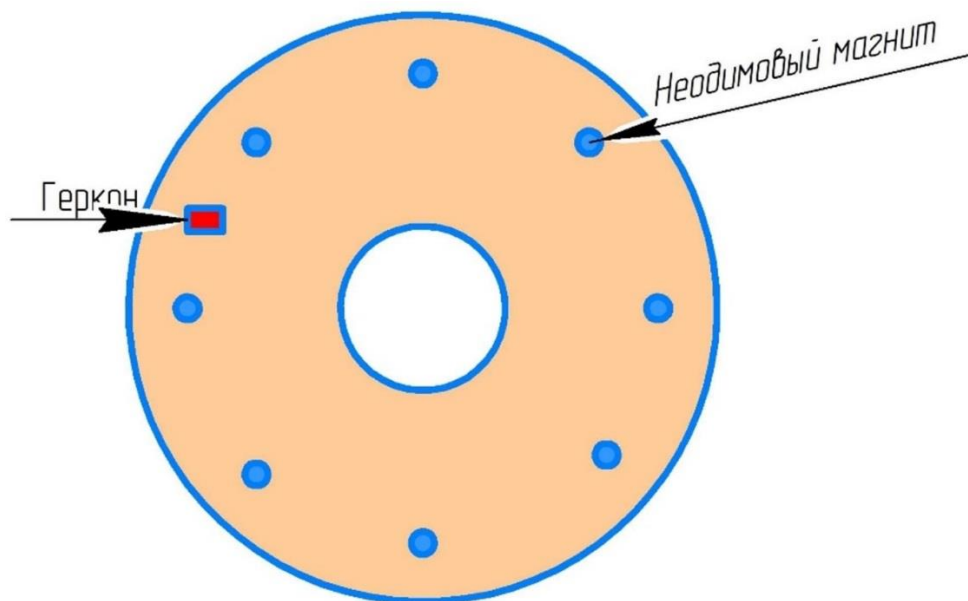


Рисунок 3.14 – Общий вид диска с магнитами



Рисунок 3.15 – Расположение специального диска, геркона и неодимовых магнитов на заднем мосту трактора МТЗ – 82

Для просмотра и конвертации полученных данных использовалась программы ADCLabSE, ConverterSE.

Для того что бы изменять тяговое усилие на прицепном крюке трактора-тягача МТЗ-82, он был сцеплен через заднее прицепное устройство транспортным фалом через переднюю проушину с трактором-нагрузкой как показано на рисунке 3.16. В качестве трактора-нагрузки выступал второй трактор МТЗ-82, который во время движения создавал нагрузку на тянущий трактор путём торможения.

Между транспортным фалом и заднем прицепным устройством тянущего трактора был установлен динамометр ДЭП/6-1Д-100Р-2 для измерения тягового усилия (рисунок 3.17). Электронный блок динамометра был расположен в кабине трактора и подключён к ноутбуку технические характеристики динамометра представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Основные технические характеристики динамометра ДЭП/6-1Д-100Р-2

Модель	Наибольший предел измерения, кН	Дискретность отсчетного устройства, кН
ДЭП/6-1Д-100Р-2	100	0,02



Рисунок 3.16 – Трактор МТЗ – 82 в сцепке через транспортный фал к трактору-нагрузке



Рисунок 3.17 – Установка динамометра между трактором МТЗ - 82 и трактором-нагрузкой

Перед началом испытаний производилось измерение свойств почвы. Влажность и плотность почвы измерялись на участках движения трактора. Для измерения влажности, рН почвы использовался прибор JXBS-3001-SCY-PT (рисунок 3.18). Его технические характеристики представлены в таблице 3.5. Плотность измерялась цифровым пенетрометром ALIYIQI (TYD-2) (рисунок 3.18), технические характеристики которого приведены в таблице 3.6.



Рисунок 3.18 – Приборы для измерения параметров почвы: 1 – прибор JXBS-3001-SCY-PT, 2 – пенетрометр ALIYIQI (TYD-2)

Таблица 3.5. Технические характеристики прибора для анализа почвы

Параметр	Значения
Источник питания	12 – 24 В постоянного тока
Выходной сигнал	RS485
Диапазон измерения температуры	-40°C – 80 °C
Точность измерения температуры	± 0,5 °C
Разрешение по температуре	0,1 °C
Диапазон измерения влажности	0 – 100 %.
Точность измерения влажности	в пределах от 0 до 53 % ±3 % в пределах от 53 до 100 % ±5 %
Разрешение по влажности	0,10 %
Диапазон измерения pH	3 – 9 pH
Точность измерения pH	± 0,3 pH
Разрешение по pH	0,01 pH
Диапазон рабочего давления	0,9 – 1,1 атм
Время отклика	<1 с
Режим установки	Зонд полностью встраивается или вставляется в измеряемую среду

Таблица 3.6. Технические характеристики пенетрометра

Параметр	Значения
Максимальная нагрузка	50 кг
Разрешение	0,1 кг
Точность	±0,5%
Глубина измерения	0~450 мм
Стабильность	температурный дрейф 0,2 мкВ/°C (0-60 °C); Нулевой дрейф: ≤ 0,1%/8 часов/FS;
Диапазон калибровки	полномасштабная калибровка
Температура окружающей среды	0~+60°C
Допустимая перегрузка	150%

Выводы по третьей главе

1. Создана лабораторная установка для проверки возможности определения действительной скорости по видеорегистрации опорной поверхности.
2. Лабораторная установка оснащена «эталонным» измерителем действительной скорости ИСД 3.1 и видеорегистратором опорной поверхности на базе камеры Sony IMX363.
3. Разработана методика проведения исследований на лабораторной установке и первичной обработки полученных результатов.
4. Подготовлен трактор МТЗ-82 для проведения полевых испытаний с видеорегистратором опорной поверхности, оснащенной демпфирующим устройством, системами измерений действительной и теоретической скоростей трактора, тягового усилия, системой сбора и хранения информации.
5. Разработана методика проведения исследований на тракторе МТЗ-82 в полевых условиях.

Глава 4. Результаты экспериментальных исследований

4.1 Программа оценки использования видеорегистрации на различных почвенных фонах

Программа оценки использования видеорегистрации на различных почвенных фонах включала в себя проведение исследований на этих фонах и обработку данных видеорегистрации по возможности определения по ним скорости движения. В программу входили следующие работы:

1. Оценка применимости данного способа измерения действительной скорости к опорной поверхности типа:

- асфальт, мокрый асфальт, брусчатка;
- снег, снег с оттиском протектора колеса, накатанная снежная дорога;
- стерня, поле под посев, гравийная дорога.

2. Измерения действительной скорости движения на лабораторной установке в диапазоне скоростей от 0 до 6 км/ч на типах поверхности асфальт, мокрый асфальт, брусчатка, снег, снег с оттиском протектора колеса, накатанная снежная дорога, гравийная дорога, стерня, поле под посев.

3. Измерения действительной скорости движения трактора в диапазоне скоростей от 0 до 12 км/ч на типах опорной поверхности стерня, поле под посев, асфальт.

4.1.1 Программа экспериментальных исследований на лабораторной установке

Программа экспериментальных исследований на лабораторной установке включала 2 этапа:

1. Определение положения видеорегистратора на лабораторной установке для получения требуемых видеоматериалов.

2. Отладку методики нахождения положения в кадре фиксируемого участка опорной поверхности и способ обработки результатов видеорегистрации.

На первом этапе исследования включали следующие работы:

а) Калибровка положения видеорегистратора по высоте.

б) Поиск положения видеорегистратора, исключающего высокие вибрации во время движения лабораторной установки.

На втором этапе исследования включали следующие работы:

а) Определение размера искомого объекта в пикселях, который алгоритм PlanarTracking (поиск плоскостей) стабильно способен находить на последующих кадрах видео.

б) Использование для обработки видеоматериала с записью различных почвенных фонов: асфальт, мокрый асфальт, брусчатка, стерня, поле под посев, гравийная дорога, снег без посторонних следов, снег со следом протектора, накатанный снежный покров.

4.1.2 Программа экспериментальных исследований на тракторе МТЗ –

82

Программа экспериментальных исследований на тракторе МТЗ – 82 включала в себя 5 этапов:

1. Настройку эластомерного демпфирующего устройства для снижения колебаний видеорегистратора от работы двигателя Д 240 установленного на тракторе МТЗ 82.

2. Отладку работы измерительных устройств на тракторе МТЗ – 82 на участках опорной поверхности стерня, поле под посев и асфальт.

3. Измерение действительной скорости трактора на различных почвенных фонах.

4. Измерение действительной и теоретической скорости трактора во время технологических операций с известной нагрузкой на крюке.

4.2 Методика определения действительной скорости по видеонаблюдению

Принцип определения действительной скорости заключается в съёмке на видеокамеру опорной поверхности, по которой объект перемещается, камера установлена на объекте перемещения рисунок 4.1[31].

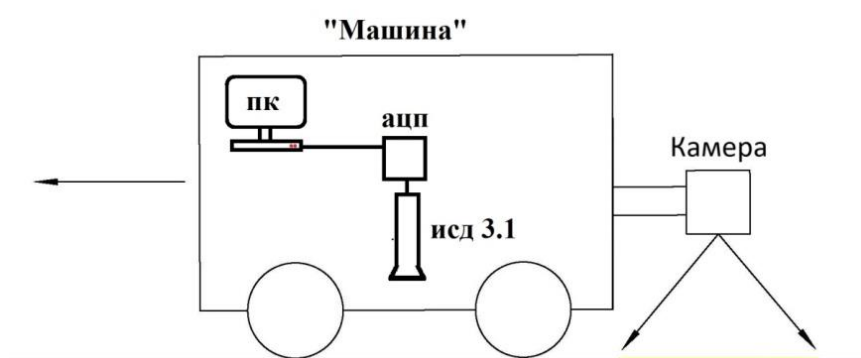


Рисунок 4.1–Принципиальная схема измерения скорости

На видео во время просмотра наблюдается опорная поверхность, которая никогда не является идеально монотонной, на ней могут быть неоднородности различного вида: пятна, камни, листва разные вкрапления в асфальте и т.д. Фиксируя и находя положения этих неоднородностей на последующих кадрах видео можно узнать их перемещение по кадру (рисунок 4.2). Единицей времени выступает величина обратная частоте кадров, а расстоянием пиксели на кадрах видеоряда.

Размер регистрируемого участка опорной поверхности зависит от расположения камеры и угла захвата видеоизображения α как показано на рисунке 4.3. Длина регистрируемого на кадре участка L опорной поверхности может быть найдена по высоте расположения камеры H и угле захвата α по выражению:

$$L = 2H \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (4.1)$$

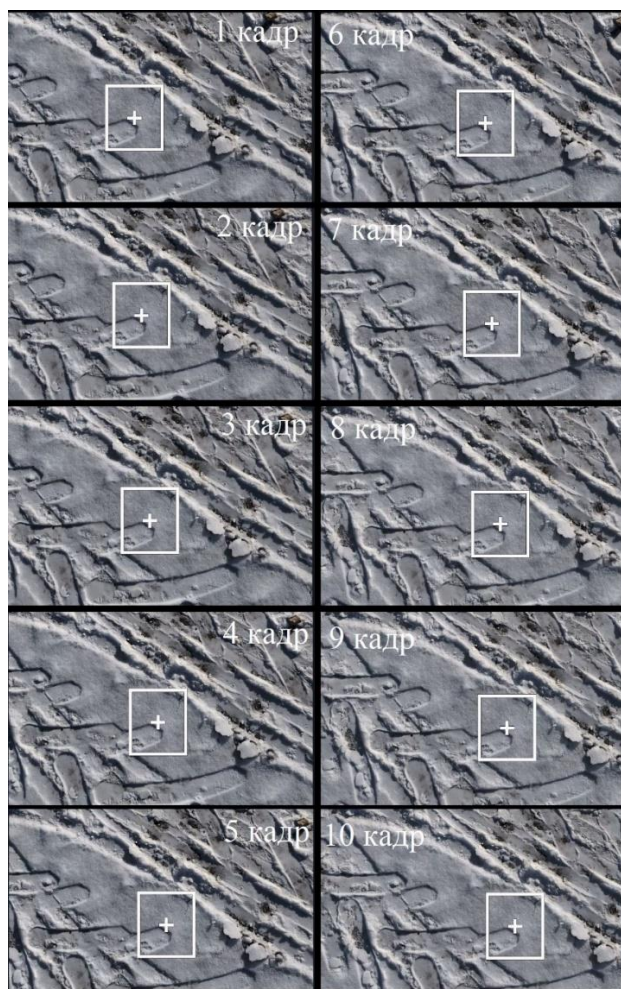


Рисунок 4.2 – Пример нахождения фиксируемого объекта на 10 кадрах движущейся опорной поверхности

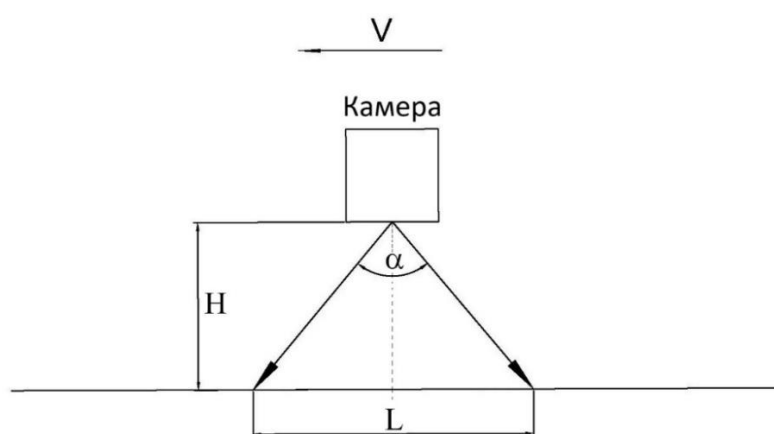


Рисунок 4.3 – Принципиальная схема записи опорной поверхности на видеорегистратор

Высота Н может быть измерена как в процессе монтажа камеры, так и при движении машины датчиком расстояния на камере.

Для определения скорости по видеорегистрации необходимо знать положение зафиксированного фрагмента на первом (*i*-ом) кадре a_i , положение фрагмента на следующем кадре a_{i+1} (рисунок 4.4), время регистрации первого кадра t_1 и время регистрации второго кадра t_2 , тогда скорость движения может быть определена по формуле приведённой ниже.

$$v' = \frac{a_i - a_{i+1}}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta a}{\Delta t} \left(\frac{\text{пиксель}}{\text{секунда}} \right) \quad (4.2)$$

Для нахождения скорости в метрах в секунду необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$v = \frac{a_i k_a - a_{i+1} k_a}{\Delta t} = \frac{(a_i - a_{i+1}) k_a}{\Delta t} \left(\frac{\text{метр}}{\text{секунда}} \right) \quad (4.3)$$

где k_a – масштабный коэффициент, (м/пиксель).

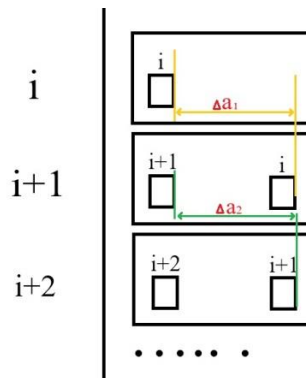


Рисунок 4.4–Нахождение Δa на кадрах видео регистратора

Для того что бы узнать расстояние, на которое перемещается движущийся объект необходимо знать разрешение кадра с которой снимает видеокамера. Это количество пикселей по горизонтали a_p и вертикали кадра b_p , которые формируют изображение (рисунок 4.5). Для нахождения размера пикселя на фрагменте кадра в метрах необходимо знать значение масштабного коэффициента k_a .

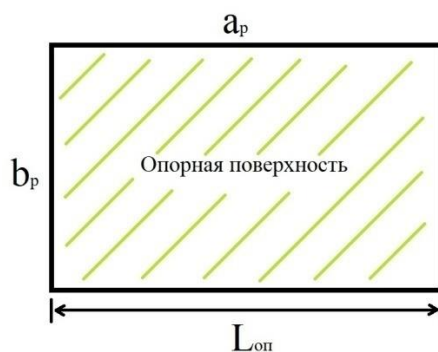


Рисунок 4.5 – Опорная поверхность

Величина коэффициента k_a может быть найдена по выражению:

$$k_a = \frac{l_{on}}{a_p}, \quad (4.4)$$

где l_{on} — это длина отрезка опорной поверхности уместяющегося по длине кадра при регистрации [м] (рисунок 4.5);

a_p — количество пикселей на кадре по длине отображаемого на кадре отрезка длиной l_{on} .

Для того что бы найти время, за которое происходит смена кадров на видео ($\Delta t = t_{i+1} - t_i$) можно использовать значение заданной при съемке частоты кадров f (количество сделанных фотографий в секунду), и искомое время составит, (с):

$$t_{кадра} = \frac{1}{f} \quad (4.5)$$

Результаты расчёта $t_{кадра}$ для основных f используемых при видеорегистрации представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Пропорциональность кадров ко времени

Частота съёмки, кадров/с	24	30	60	100
Время смены 1 кадра $t_{кадра}$, с	0,0417	0,0333	0,0167	0,01

Информацию о разрешении и частоте кадров можно посмотреть в свойствах видеоматериала (рисунок 4.6).

Таким образом, мы можем посчитать скорость движения для каждой пары кадров видеорегистрации. Последовательный процесс обработки кадров показан на рисунке 4.7.

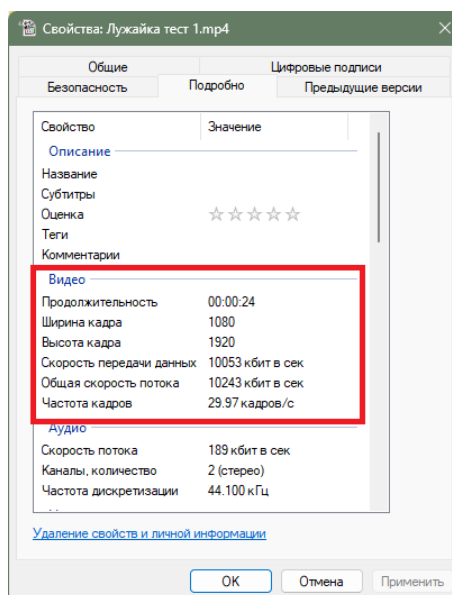


Рисунок 4.6 – Свойства видео записи

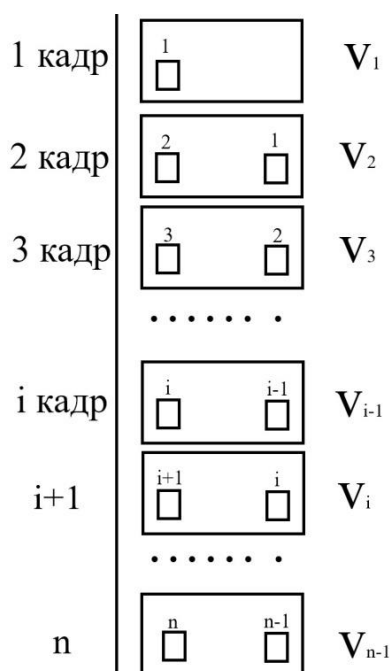


Рисунок 4.7 – Схематичное отображение последовательности отображения фрагментов на кадрах видеорегистрации.

Данные позволяют рассчитать скорость движения для каждой пары кадров видеорегистрации по выделенным фрагментам и в дальнейшем определить скорость перемещения фрагмента по кадру и с использованием

значения масштабного коэффициента k_a , действительную скорость мобильного средства по выражению:

$$v = k_a \cdot v' = k_a \cdot \frac{\Delta a_i}{t_{\text{кадра}}}, \quad (4.6)$$

где: v' – относительная скорость фрагмента на кадре, пиксел/с;

Δa_i – смещение фрагмента на i -ом кадре, пикселей.

К примеру, при использовании видеокамеры с частотой съёмки $f = 30$ кадров/с, время смены 1 кадра $t_{\text{кадра}} = 0,033$ с. Фрагмент был зафиксирован на первом кадре в зоне 210 пикселя (a_1) и затем на последующем кадре в зоне 243 пикселя (a_2), результат определения относительной скорости v' составит:

$$v' = \frac{243 - 210}{0,066 - 0,033} = \frac{a_2 - a_1}{t_{i+1} - t_i} = \frac{\Delta a}{\Delta t} = 1000 \left(\frac{\text{пиксель}}{\text{секунда}} \right)$$

Имея коэффициент $k_a = 0,00045$ м/пиксель, получаем значение действительной скорости v :

$$v = k_a \cdot v' = 0,00045 \cdot 1000 = 0,45 \text{ м/с}$$

Таким образом, полученная действительная скорость составит 0,45 м/с или 1,62 км/ч рисунок 4.8.

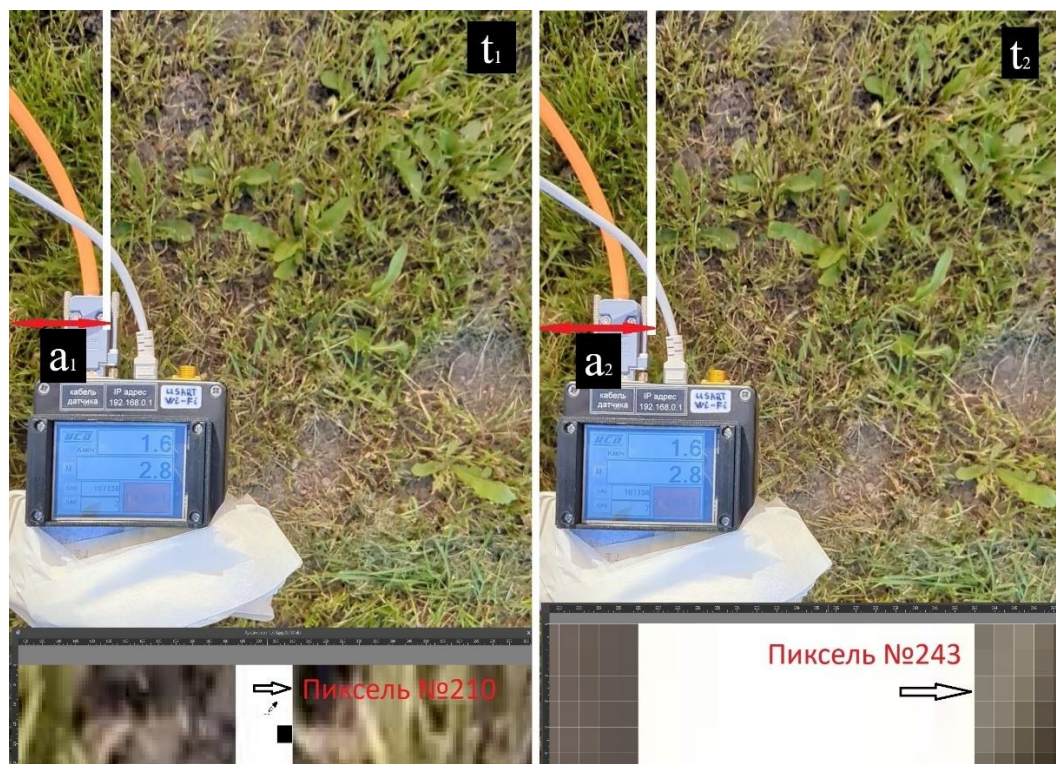


Рисунок 4.8—Пример обработки видео материала.

4.3. Оценка использования видеорегистрации на различных почвенных фонах

Для оценки возможности использования описанного метода проверялась возможность измерения действительной скорости при помощи видеорегистрации на различных почвенных фонах.



Рисунок 4.9 – Пример опорной поверхности асфальт: 1 - асфальт 2 – асфальт, покрытый водой, 3 – брусчатка тип 1, 4 – брусчатка тип 2.

На рисунках 4.9, 4.10, 4.11 изображены опорные поверхности различного типа. Каждая из представленных опорных поверхностей была записана на видеорегистратор в движении, затем проверялась в программе Filmora на возможность поиска выбранного фрагмента на последующих кадрах видео встроенным в неё алгоритмом поиска плоскостей. Во время работы алгоритма поиска плоскостей с видами опорных поверхностей 1, 3 и 4 на рисунке 4.9, с видами опорных поверхностей 1, 2 и 3 на рисунке 4.10, а также с видами опорных поверхностей 1, 2 и 3 на рисунке 4.11 без ошибок находился искомый фрагмент на последующих кадрах видео, что говорит о том, что предложенная методика будет работать на таких поверхностях. На 2-ом типе опорной поверхности (рисунок 4.9) алгоритм ошибочно определял выбранный фрагмент на видео, вследствие изменения опорной поверхности вызванной, падающими каплями дождя, ряби на водной поверхности, а также волнами от воздействия ветра и объектов, взаимодействующих с водой.

Так же что бы оценить применимость данной методики для определений действительной скорости трактора необходимо проверить как будет работать данный метод на лабораторной установке, а затем на тракторе.



Рисунок 4.10 – Примеры опорной поверхности почвы: 1 - стерня, 2 - гравийная дорога, 3 - поле под посев.

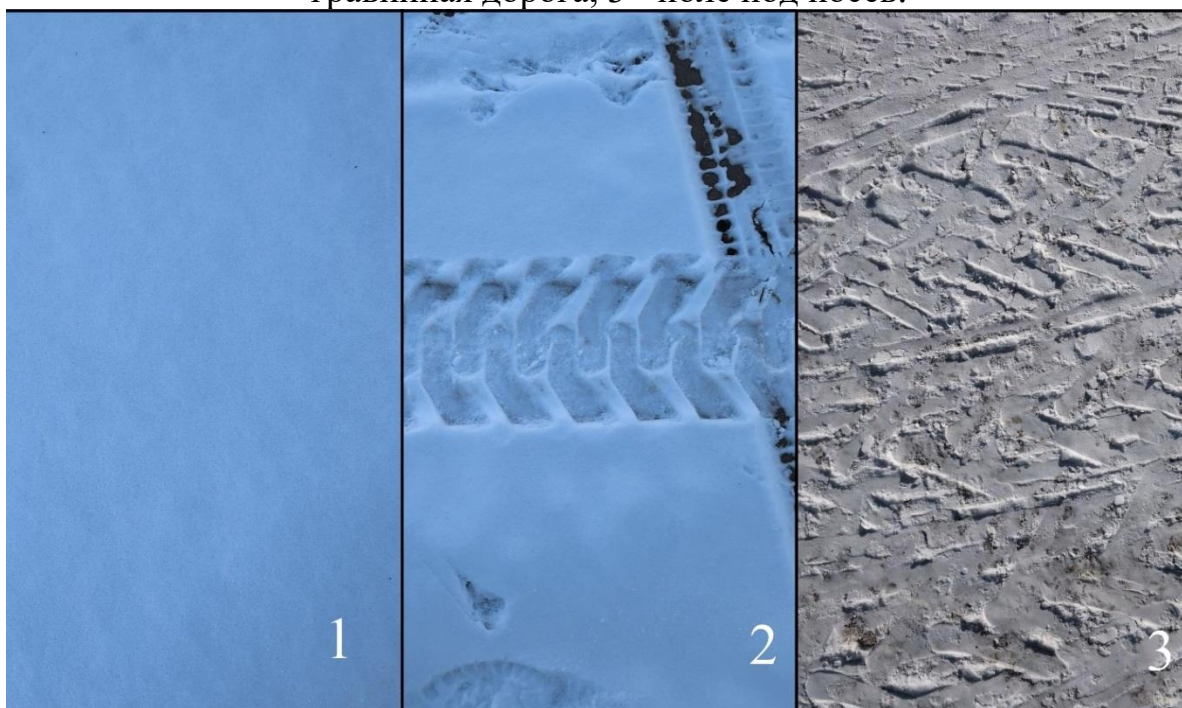
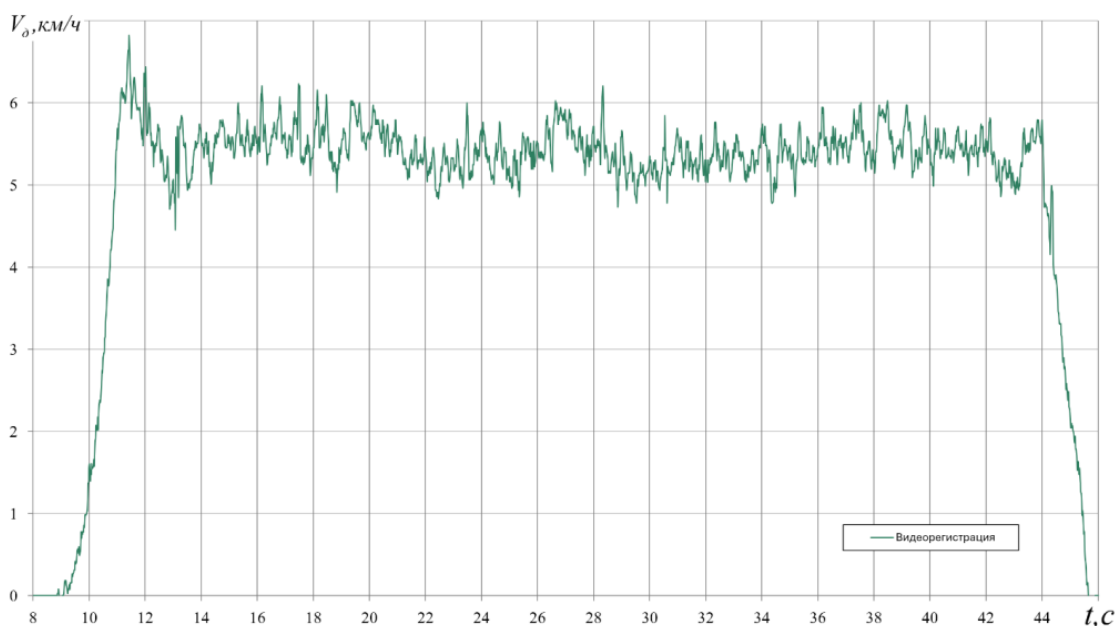


Рисунок 4.11 – Примеры опорной поверхности со снежным покровом: 1- снег без посторонних следов, 2 – снег со следом протектора, 3 - накатанный снежный покров.

Ниже представлены результаты измеренной действительной скорости движения трактора и примеры видеоматериала почвенных фонов.

На рисунке 4.12,а изображено изменение действительной скорости трактора после первичной обработки результатов видеорегистрации во время движения по почвенному фону поля подготовленного под посев (рисунок 4.12,б). В начале движения трактор трогается с места, за тем плавно набирает скорость в диапазоне от 5,5 км/ч до 6 км/ч и проезжает участок опорной поверхности в пределах 50 метров, после плавно тормозит.



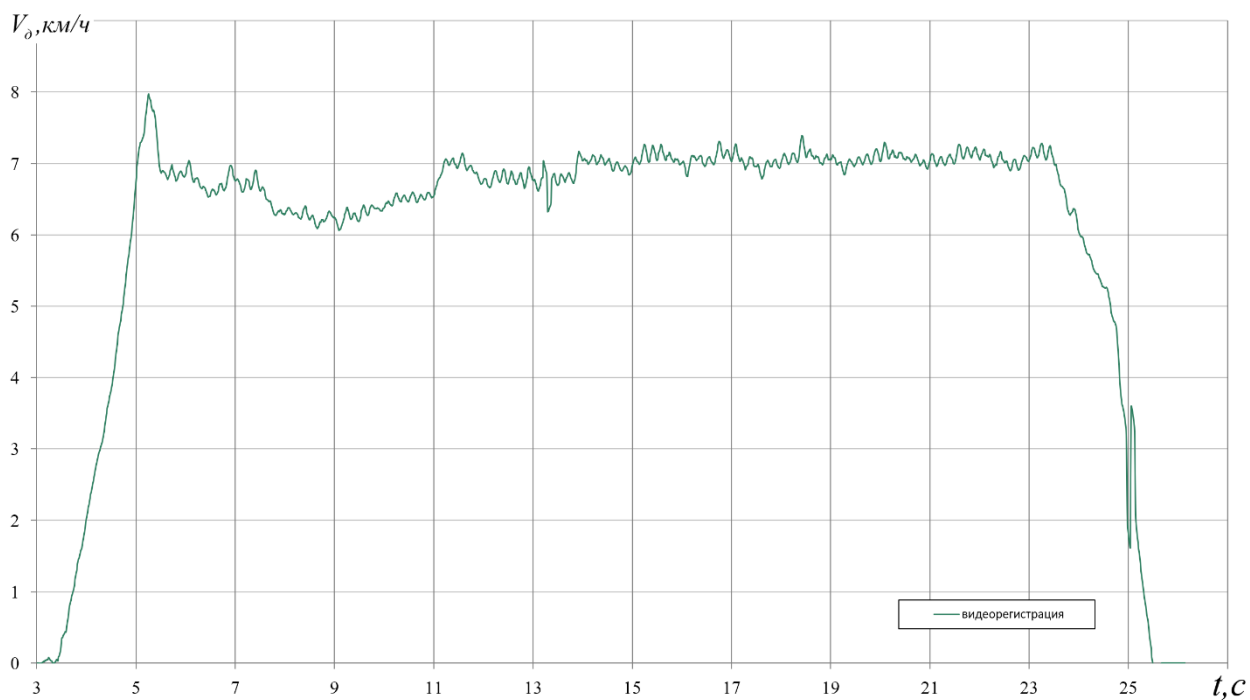
а



б

Рисунок 4.12 – Результаты исследований на участке – поле, подготовленное под посев: а – результат полученной скорости; б - пример видеоматериала участка.

На рисунке 4.13,а изображено изменение действительной скорости трактора во время движения по почвенному фону асфальтированный полигон рисунок 4.13,б. В начале движения трактор плавно трогается с места, за тем набирает скорость в диапазоне от 6,5 км/ч до 7,5 км/ч и проезжает участок опорной поверхности в пределах 35 метров, после останавливается.



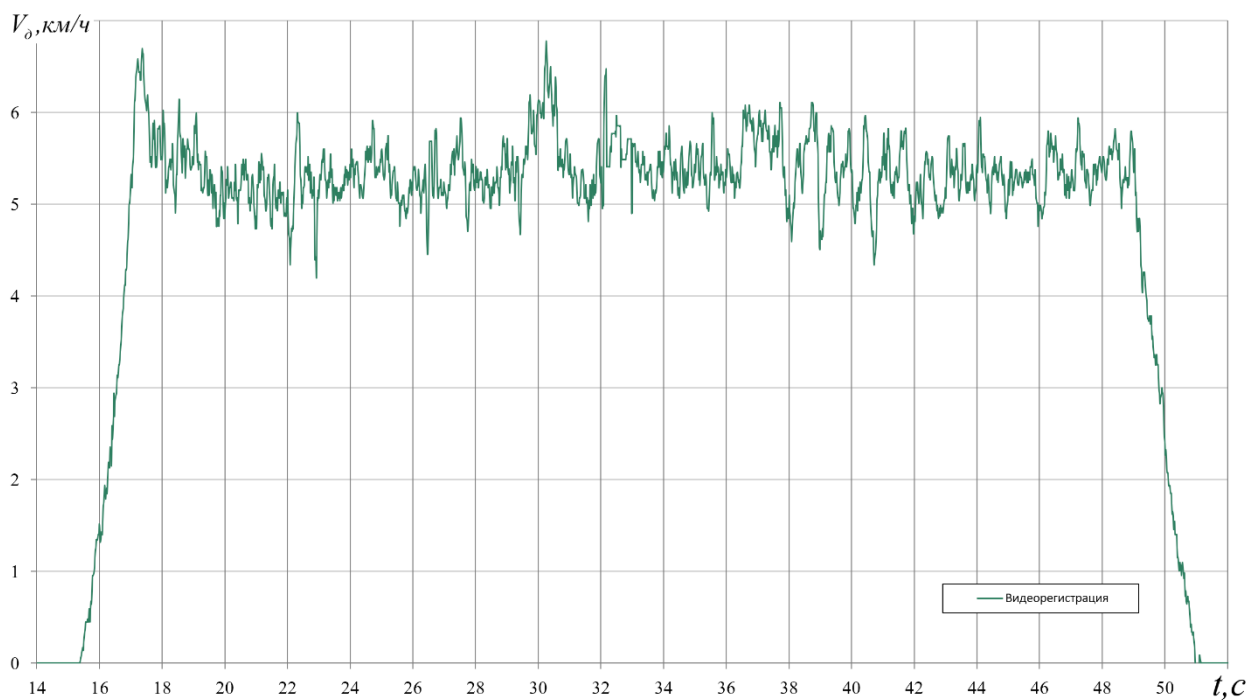
а



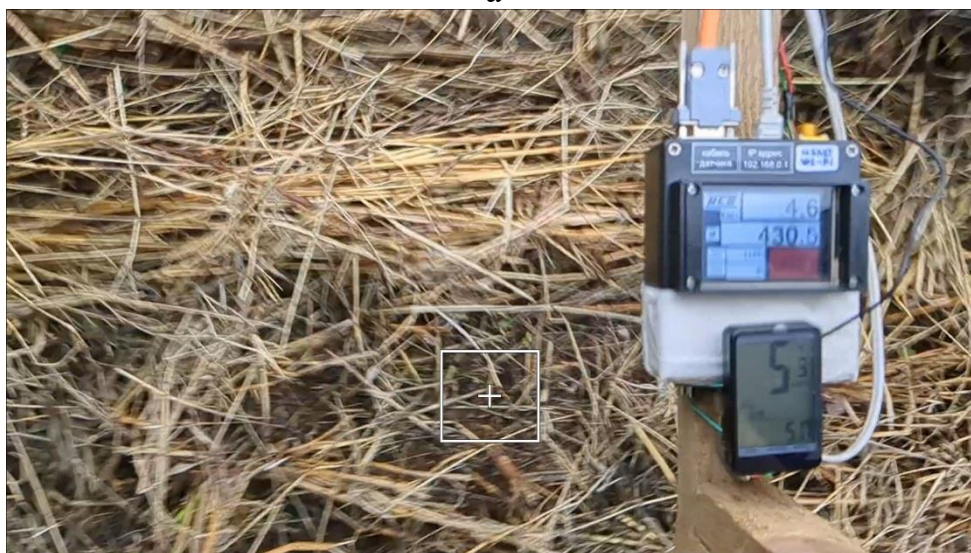
б

Рисунок 4.13.– Результаты исследований на участке – асфальтированный полигон: а – результат полученной скорости; б - пример видеоматериала участка.

На рисунке 4.14,а изображено изменение действительной скорости трактора во время движения по почвенному фону стерня рисунок 4.14,б. В начале движения трактор трогается с места, за тем плавно набирает скорость в диапазоне от 5,5 км/ч до 6 км/ч и проезжает участок опорной поверхности в пределах 41 метра, после плавно тормозит.



а



б

Рисунок 4.14.— Результаты исследований на участке – стерня: а – результат полученной скорости; б - пример видеоматериала участка.

4.4. Результаты лабораторных испытания способа видеорегистрации

Как следует из представленных данных по регистрации скорости описанным ранее способом значения действительной скорости могут быть получены через 0,02 с., что вполне обеспечивает управление работы ведущих колёс по буксованию. Однако в процессе измерений присутствуют большие колебания измеренной скорости, величина которых может составлять до 20 % и более от средней скорости движения, что усложняет процесс управления. Лучшие результаты могут быть получены после сглаживания данных. Пример получаемых данных методом видеорегистрации простым линейным сглаживанием по трем точкам показан на рисунке 4.15, кривая 2. Там же приведена кривая 1 полученная с прибора ИСД 3.1, для получения которой использованы встроенные в прибор функции сглаживания результатов измерений.

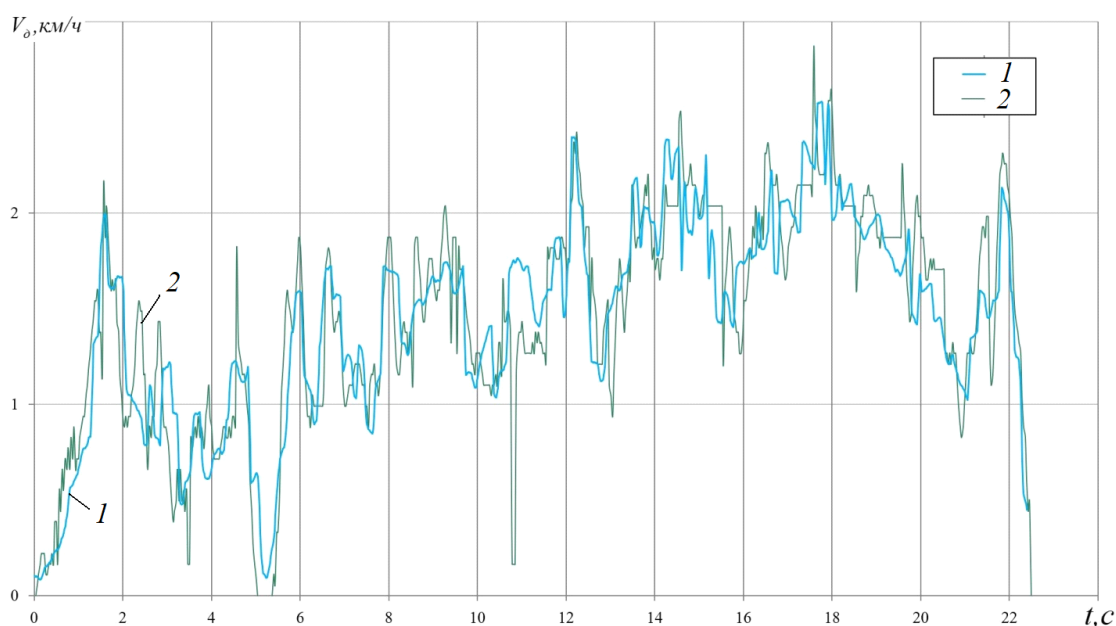


Рисунок 4.15–Сравнение результатов измерений действительной скорости движения: 1 – прибором ИСД 3.1; 2 – с помощью видеорегистратора

Приведенные данные исследований на лабораторной установке показали большой разброс данных по получаемой скорости движения, что связано с повышенными вибрациями регистрирующих приборов от неровностей опорной поверхности. Данные колебания регистраторов могут

быть уменьшены их монтажом на подвижный объект через демпфирующее устройство.

Таким образом, при использовании видеорегистрации для определения действительной скорости с целью определения величины буксования целесообразно производить сглаживание результатов регистрации скорости. Анализ кривой сглаженной скорости показывает возможность регистрации колебаний скорости с частотой 1 Гц и менее. Полученная дисперсия отклонения значений результатов видеорегистрации от значений датчика ИСД 3.1 составила 0,037 и может быть уменьшена за счет монтажа видеорегистратора на трактор через демпфирующее устройство. [64]

4.4.1 Результаты применения демпфирующего устройства

Для того что бы оценить степень колебаний видеорегистратора при его работе с монтажом на тракторе и оценить целесообразность демпфирования этих колебаний была произведена оценка динамического воздействия измерением его виброускорений при работе трактора. Для демпфирования колебаний видеорегистратора использовалось пенополиуретановая подложка под видеорегистратор. Изменение веса утяжелителя на подложке оказывает влияние на интенсивность колебаний [6].

Для оценки веса утяжелителя были проведены исследования на работающем тракторе с утяжелителями различного веса. Для этого на эластичный пенополиуретан, уложенный и закреплённый на кронштейне остова трактора во время работы на холостом ходу, устанавливался видеорегистратор. Между видеорегистратором и пенополиуретановой подложкой крепился утяжелитель различного веса, и регистрировались значения виброускорения a виброметром.

Результаты измерений выводились в виде значений минимальных, средних и максимальных виброускорений в см/с^2 и диаграмм изменений ускорений по времени. Пример зарегистрированных значений показан на

рисунке 4.16. Зарегистрированные значения виброускорений видеорегистратора без и с эластомерным демпфером при различных значениях массы утяжелителей представлены в таблице 4.2.

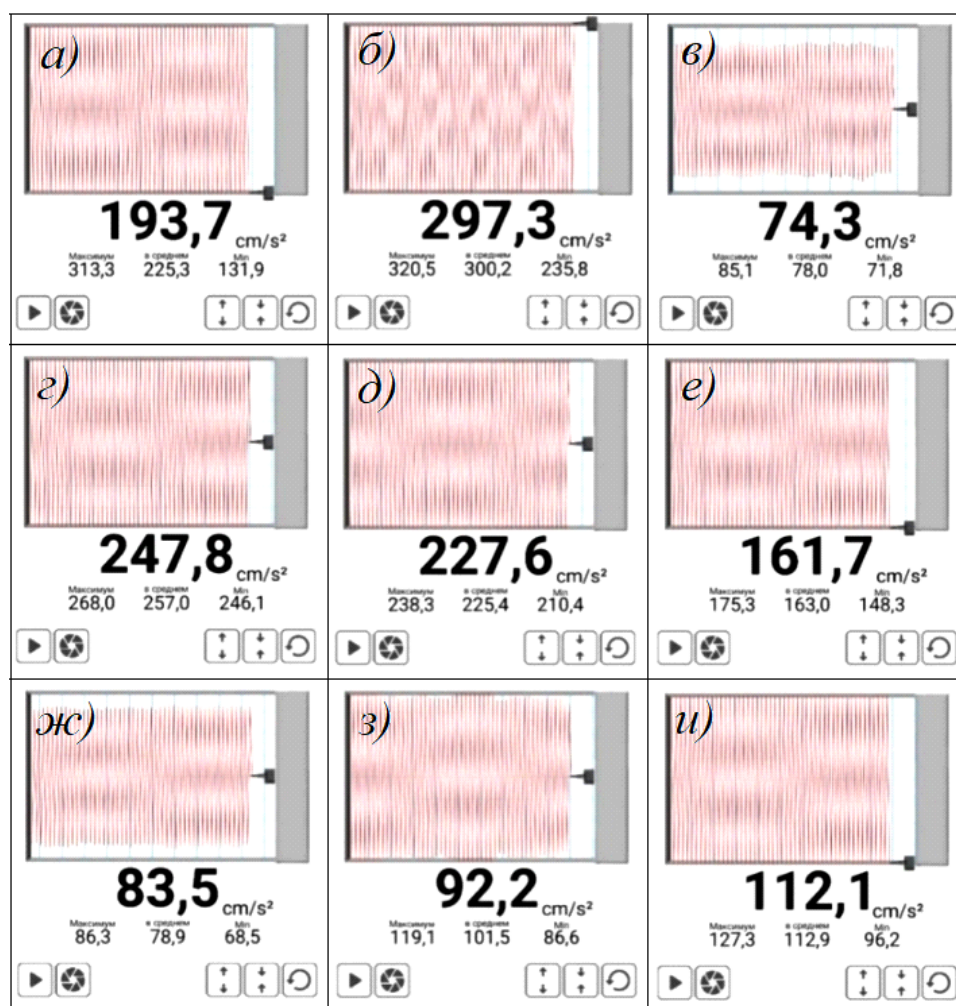


Рисунок 4.16 – Отображаемые окна виброметра на режимах: а, б, в, г, д, е, ж, з, и.

Таблица 4.2. Значения виброускорения **a** с различными утяжелителями

Условие испытаний	Максимальное значение, см/с ²	Среднее значение, см/с ²	Минимальное значение, см/с ²
Без демпфирующего устройства	313,3	225,3	131,9
С демпфирующим устройством из эластичного пенополиуретана			
Без утяжелителя	320,5	300,2	235,8
С утяжелителем, 52 гр.	268,0	257,0	246,1
С утяжелителем, 144 гр.	238,3	225,4	210,4
С утяжелителем, 235 гр.	175,3	163,0	148,3
С утяжелителем, 395 гр.	86,3	78,9	71,8
С утяжелителем, 549 гр.	85,1	78,0	71,8
С утяжелителем, 1054 гр.	119,1	101,5	86,6
С утяжелителем, 1449 гр.	127,3	112,9	96,2

На рисунке 4.17 наблюдается снижение виброускорения при увеличении массы утяжелителя до 435 грамм, за тем при повышении массы до 1449 грамм и более заметен рост виброускорения.

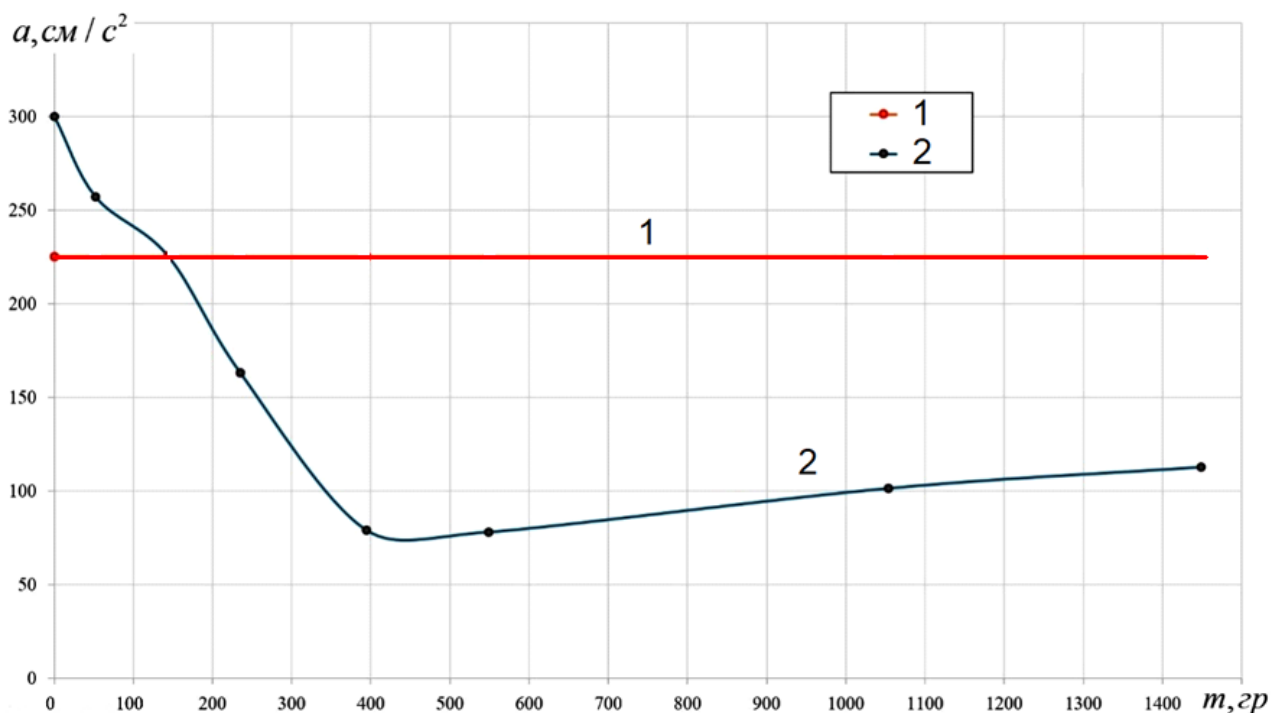


Рисунок 4.17–Изменение виброускорения видеорегистратора в зависимости от веса утяжелителя демпфирующего устройства: 1 – без демпфера; 2 – с различными утяжелителями в демпфере.

Таким образом, использование утяжелителя весом от 395 до 549 гр. позволяет получить средние значения виброускорения на уровне 78 см/с². В процессе испытаний было использовано демпфирующее устройство с утяжелителем 435 гр. Использование демпфирующего устройства с выбранным утяжелителем позволяет снизить среднее значение виброускорения видеорегистратора по сравнению с вибрациями без демпфера с 225 до 78 см/с², т.е. на 147 см/с² или в 2,9 раза.

4.4.2 Результаты экспериментального исследования на тракторе МТЗ-82

Для проверки применимости определения действительной скорости трактора V_0 во время технологических операций была проведена серия экспериментов, где трактор МТЗ – 82 на почвенном фоне – стерня тянул за

собой трактор-нагрузку P_n , который по команде механизатора управляющего трактором-нагрузкой начинал тормозить. В процессе торможения возникали переменные усилия нагрузки, что позволяло оценить адекватность отображения измеренной действительной скорости и процесса буксования непосредственно в процессе движения тракторов.

На рисунке 4.18,а показан результат измерения скорости движения с помощью видеорегистратора трактора-тягача МТЗ 82 в сцепке с трактором-нагрузкой (там же приведены результаты измерений с помощью прибора ИСД 3.1). На рисунке 4.18,б для этого же времени приведены результаты измерений действительной и теоретической скоростей трактора-тягача, и измеренной силы тяги на крюке.

Как следует из представленных данных при трогании трактора-тягача его действительная скорость начинает плавно нарастать при практическом отсутствии тяговой силы, по мере выбора свободного состояния фала. Когда транспортный фал начинает приводить в движение трактор-нагрузку, растет тяговое усилие, оба трактора разгоняются и к 16-ой секунде их скорость достигает $V_0 = 6$ км/ч. На 16-ой секунде трактор-нагрузка начинает тормозить и нагружать трактор-тягач увеличивающимся в результате торможения тяговым усилием до $P_n = 16$ кН. Действительная скорость V_0 при этом падает с 6 до 4 км/ч или на 2 км/ч, при снижении теоретической скорости с 6 до 5,5 км/ч или 0,5 км/ч. Различие в падении скоростей обуславливается буксованием ведущих колес трактора тягача.

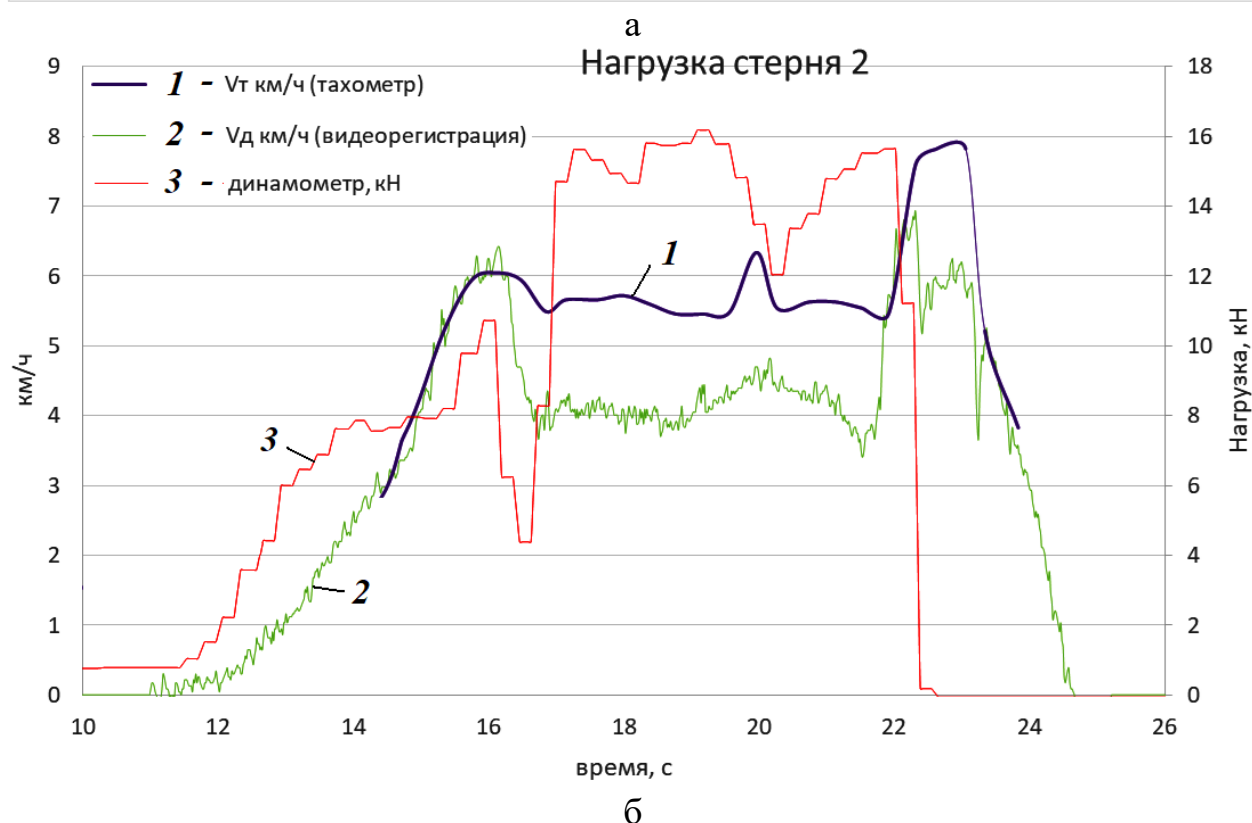


Рисунок 4.18 – Результаты исследований трактора с нагрузкой на участке – стерня: а – результат сопоставления скоростей разными устройствами; б – результат изменения теоретической скорости (1), действительной скорости (2) и тягового усилия (3).

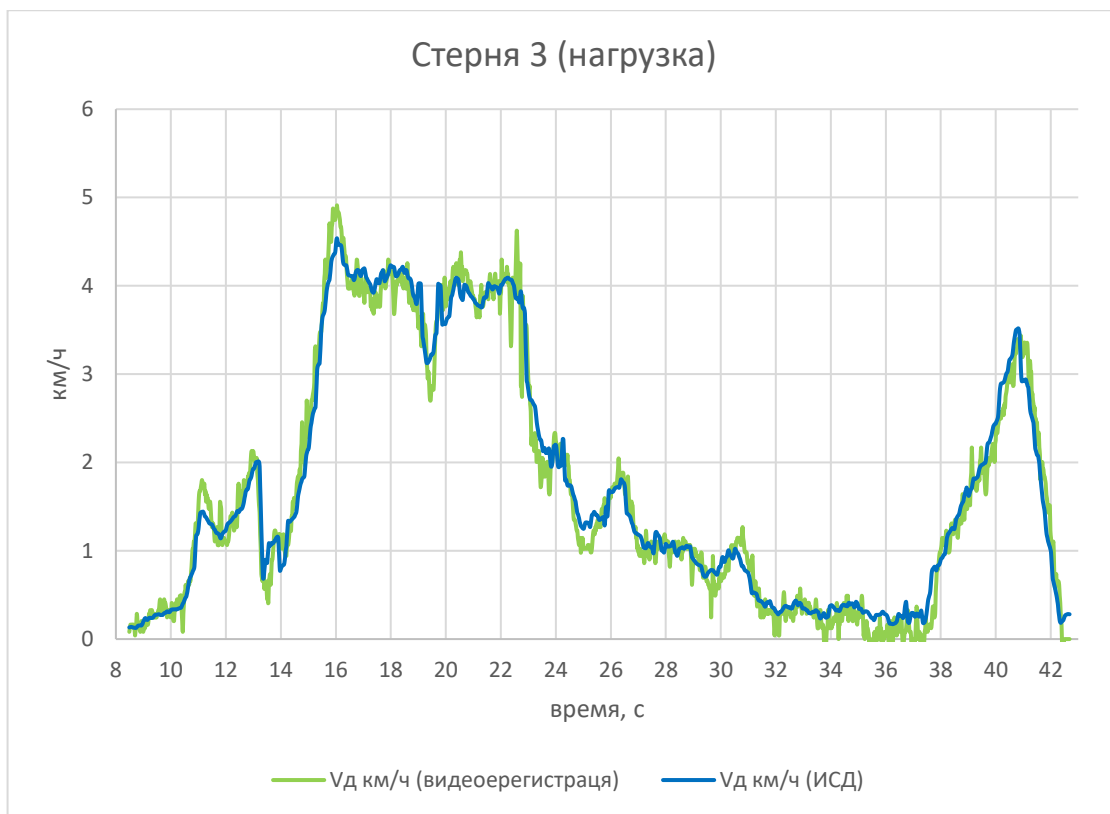
На 22-ой секунде трактор-нагрузка прекращает тормозить и нагружать трактор-тягач торможением в результате тяговое усилие снижается, а

действительная скорость трактора-тягача вновь повышается до 6 км/ч. На 23-ей секунде трактор-тягач начинает снижать скорость и проехав участок равный 13,3 м трактор на 24-й секунде останавливается рисунок 4.18, а и б.

На рисунке 4.19 приведены аналогичные результаты исследований трактора-тягача МТЗ-82 в сцепке с трактором-нагрузкой. На рисунке 4.19,а показан результат измерения скорости движения с помощью видеорегистратора трактора-тягача МТЗ 82 в сцепке с трактором-нагрузкой и результаты измерений с помощью прибора ИСД 3.1. Результаты совместной регистрации скоростей двумя приборами показывают хорошее совпадение, что подтверждает правомерность определения действительной скорости трактора с помощью видеорегистрации опорной поверхности.

На 8-й секунде трактор тягач начинает движение. Достигая действительной скорости $V_o = 2$ км/ч на 13-й секунде от начала движения, транспортный фал натягивается и трактор-тягач создает тяговое усилие 2-3 кН для разгона трактора-нагрузки. Вследствие чего, действительная скорость трактора V_o падает до 1 км/ч за тем разгоняется до 4,5 км/ч. Теоретическая скорость V_m при этом равна 4,5 км/ч и держится в этом диапазоне до конца движения рисунок 4.19,б. Проехав в таком режиме до 22-й секунды некоторое расстояние трактор-нагрузка начинает тормозить и нагружать тянущий трактор до 12...14 кН при этом действительная скорость V_o падает практически до 0 км/ч.

Затем на 37-й секунде начинается растормаживание трактора-нагрузки, нагрузка постепенно уменьшается. Действительная скорость повышается до 3,5 км/ч, а затем трактор останавливается к 42-й секунде, проехав расстояние в 14м. Приведенные результаты показывают адекватное отображение происходящих процессов при движении трактора-тягача с переменной нагрузкой.



а



б

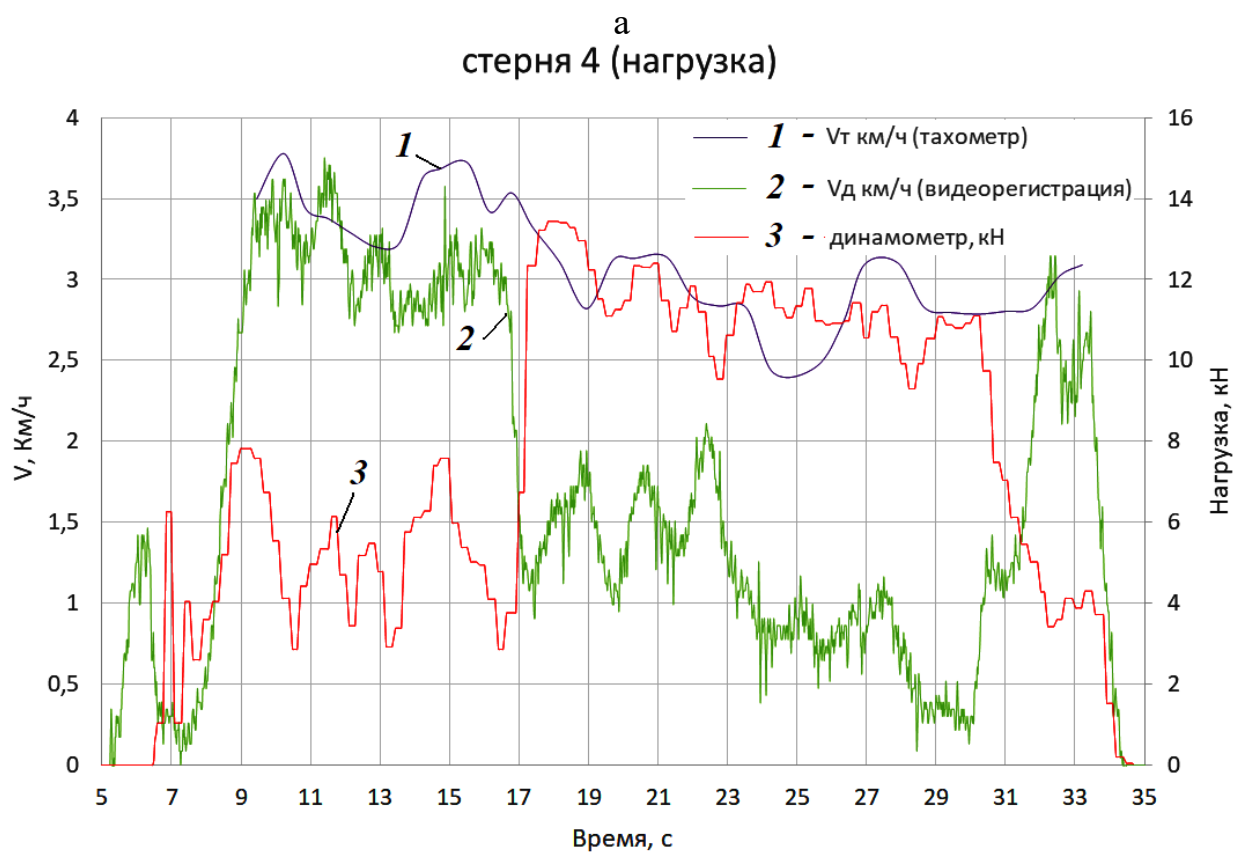
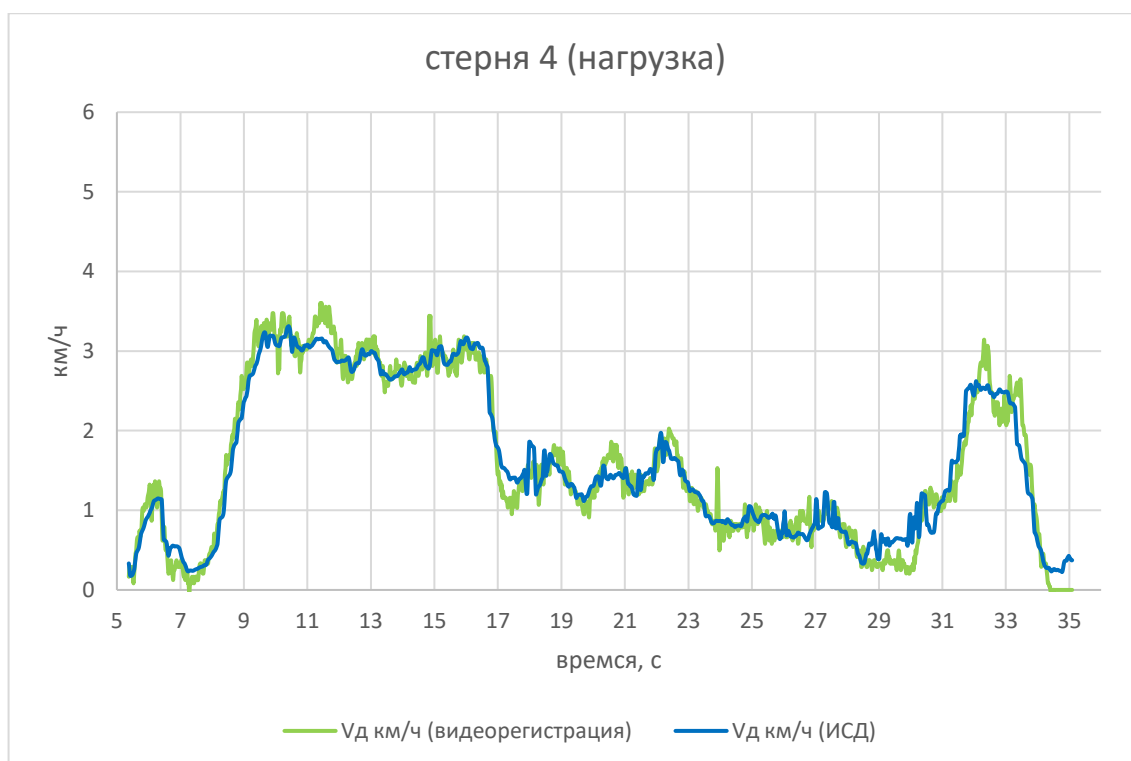
Рисунок 4.19 – Результаты исследований трактора с нагрузкой на участке – стерня: а – результат сопоставления скоростей разными устройствами; б – результат изменения теоретической скорости (1), действительной скорости (2) и тягового усилия (3).

На рисунке 4.20 трактор МТЗ 82 в сцепке с трактором-нагрузкой начинает движение на 5-й секунде от начала регистрации. На рисунке 4.20,а показан результат измерения скорости движения с помощью видеорегистратора трактора-тягача МТЗ 82 в сцепке с трактором-нагрузкой и результаты измерений с помощью прибора ИСД 3.1. Результаты совместной регистрации скоростей двумя приборами показывают хорошее совпадение, что подтверждает правомерность определения действительной скорости трактора с помощью видеорегистрации опорной поверхности.

Достигая действительной скорости $V_o = 1$ км/ч на 6-й секунде от начала движения транспортный фал натягивается и трактор испытывает нагрузку $P_n = 4$ кН для разгона трактора-нагрузки. Вследствие чего, (рисунок 4.20,б действительная скорость V_o падает почти до остановки трактора, а затем он разгоняется до 3,5 км/ч. Теоретическая скорость V_m при этом достигает почти 4,5 км/ч, устанавливается в пределах 3,5-4 км/ч и держится в этом диапазоне до конца движения (рисунок 4.20, б). Проехав в таком режиме до 16-й секунды некоторое расстояние, трактор-нагрузка начинает тормозить и нагружать тянущий трактор до 11...13 кН при этом действительная скорость V_o падает от 2 до 0,5 км/ч.

Затем на 30-й секунде начинается растормаживание трактора-нагрузки, нагрузка постепенно уменьшается до 0. Действительная скорость повышается до 3 км/ч, а затем трактор останавливается к 34-й секунде, проехав расстояние от начала движения 13,3 м. Приведенные результаты также показывают адекватное отображение происходящих процессов при движении трактора-тягача с переменной нагрузкой.

Представленные на рисунке 4.21 данные следующих испытаний показывают, что трактор МТЗ-82 в сцепке с трактором-нагрузкой начинает движение на 7-й секунде от начала регистрации.



б

Рисунок 4.20 – Результаты исследований трактора с нагрузкой на участке – стерня: а – результат сопоставления скоростей разными устройствами; б – результат изменения теоретической скорости (1), действительной скорости (2) и тягового усилия (3).

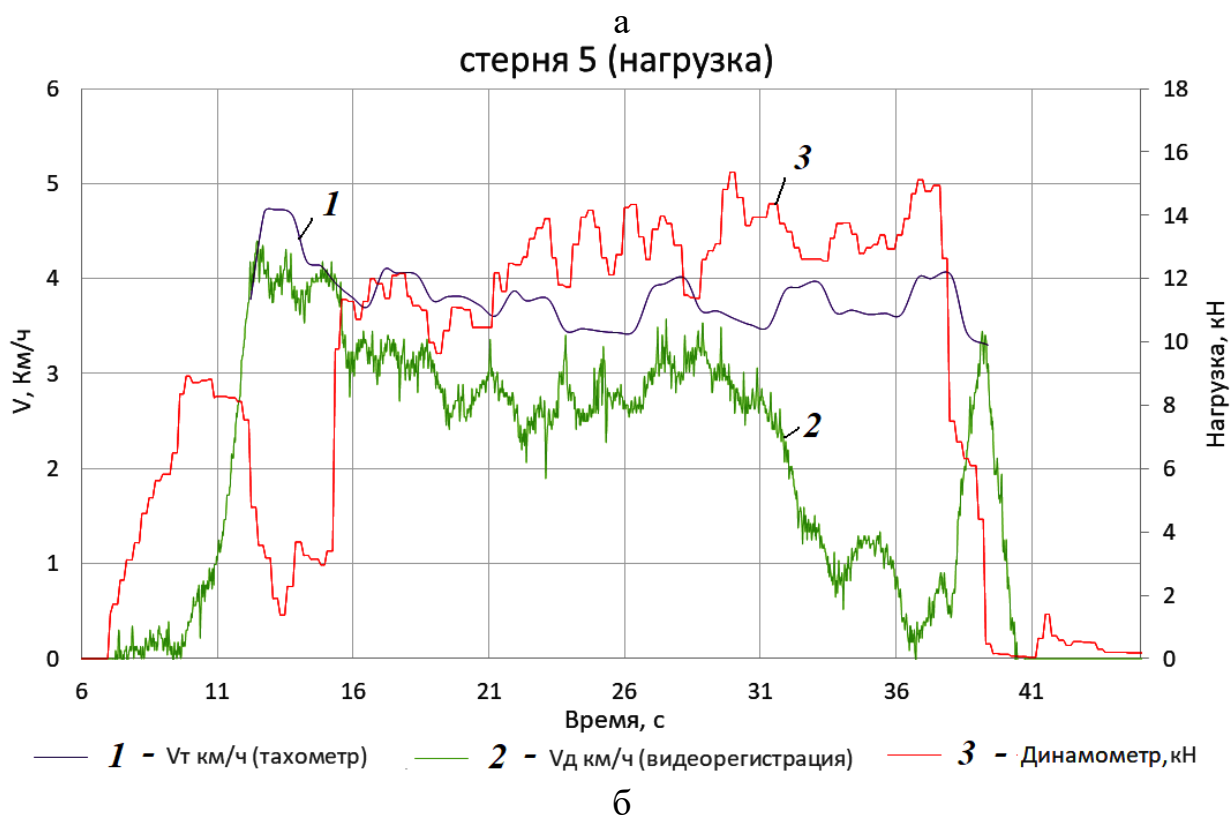
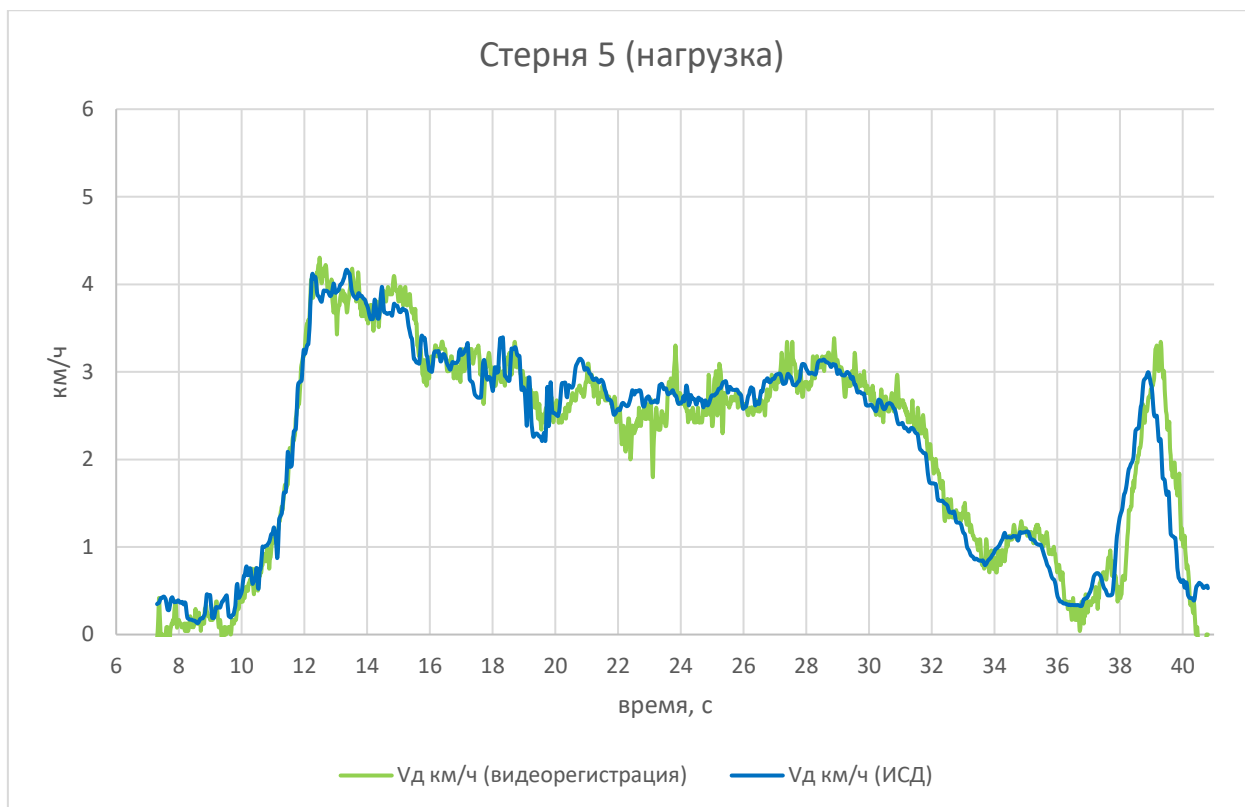


Рисунок 4.21 – Результаты исследований трактора с нагрузкой на участке – стерня: а – результат сопоставления скоростей разными устройствами; б – результат изменения теоретической скорости (1), действительной скорости (2) и тягового усилия (3).

На рисунке 4.21,а показан результат измерения скорости движения с помощью видеорегистратора трактора-тягача МТЗ 82 в сцепке с трактором-нагрузкой и результаты измерений с помощью прибора ИСД 3.1. Результаты совместной регистрации скоростей двумя приборами показывают хорошее совпадение, что подтверждает правомерность определения действительной скорости трактора с помощью видеорегистрации опорной поверхности.

Движение трактора-тягача МТЗ 82 в сцепке с трактором-нагрузкой начинает при натянутом транспортном фале, и оба трактора начинают плавно трогаться с места вместе (рисунок 4.21, б). Поэтому в начале движения тяговое усилие достигает почти $P_n = 9$ кН на разгон трактора-нагрузки. Разогнав трактор-нагрузку до 4 км/ч и начав движение с постоянной скоростью, тяговое усилие снижается до 2-3 кН. На 15-й секунде от начала движения начинается притормаживание трактора-нагрузки, что приводит к росту тягового усилия до 11 кН и снижению действительной скорости до 3-3,5 км/ч. Постепенное увеличение тормозного усилия приводит к повышению тяговой силы до 13 кН и снижению скорости до 3 км/ч.

На 30-й секунде при незначительном повышении тягового усилия до 14 кН происходит резкое снижение действительной скорости трактора при неизменной теоретической скорости. Резкое снижение скорости на 36-й секунде почти до 0 связано с повышенным буксованием колес из-за ухудшения их сцепления с опорной поверхностью.

Затем на 38-й секунде начинается растормаживание трактора-нагрузки, нагрузка постепенно уменьшается до 0. Действительная скорость повышается до 3,5 км/ч, а затем трактор останавливается к 40-й секунде, проехав расстояние от начала движения 20,1м. Приведенные результаты также показывают адекватное отображение происходящих процессов при движении трактора-тягача с переменной нагрузкой и показали возможность перехода трактора в режим почти полного буксования только по причине потери сцепных свойств ведущих колес с опорной поверхностью.

Полученные по результатам полевых испытаний трактора с тяговой нагрузкой и представленные на рисунках 4.18...4.21 данные имеют все необходимые параметры для оценки величины буксования в соответствии с выражением (1.1). При обработке данных измерения скоростей производилось линейное сглаживание данных по семи последовательным значениям зарегистрированных значений для действительной скорости, полученной видеорегистратором и по трем – для теоретической скорости, полученной по частоте вращения колеса. Обработка этих данных позволила получить для каждого исследованного режима работы трактора-тягача характер изменения буксования. Результаты такой обработки данных приведены на рисунках 4.22, 4.23, 4.24 и 4.25.

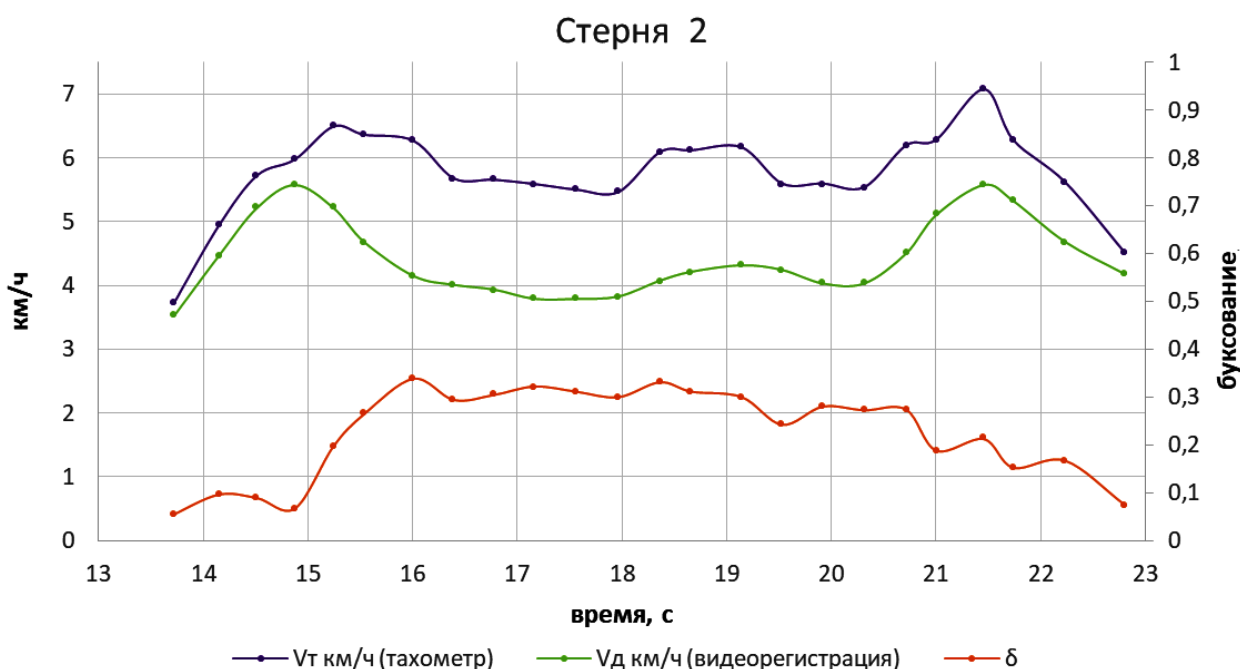


Рисунок 4.22 – График изменения буксования на участке стерня 2

Как следует из представленных данных на рисунке 4.22, наблюдается участок опорной поверхности стерня 2 на котором с 15 секунды начинает прикладываться нагрузка P_n , при которой скорость V_m держится в пределах 6 км/ч, а действительная скорость V_o снижается до 5,6 км/ч. Величина коэффициента буксования δ увеличивается на участке разгона тракторов с 0,06(6%) на 13 секунде до 0,1 (10%). По мере роста нагрузки P_n

действительная скорость V_o снижается до 4 км/ч, а величина коэффициента буксования δ повышается до 0,3 (30%).

Результаты обработки данных на участке стерня 3 приведены на рисунке 4.23. Как следует из представленных данных с 14 секунды от начала регистрации начинает прикладываться нагрузка на участке разгона и при этом V_m повышается до 4,5-5 км/ч и затем держится в пределах 4,5 км/ч, а действительная скорость V_o повышается до 4 км/ч и на протяжении 7 секунд держится на этом уровне до начала торможения трактора-нагрузки. С 21-й секунды при начале торможения трактора-нагрузки действительная скорость снижается из-за роста буксования и коэффициент буксования δ увеличивается с 0,16...0,18 до 0,95.

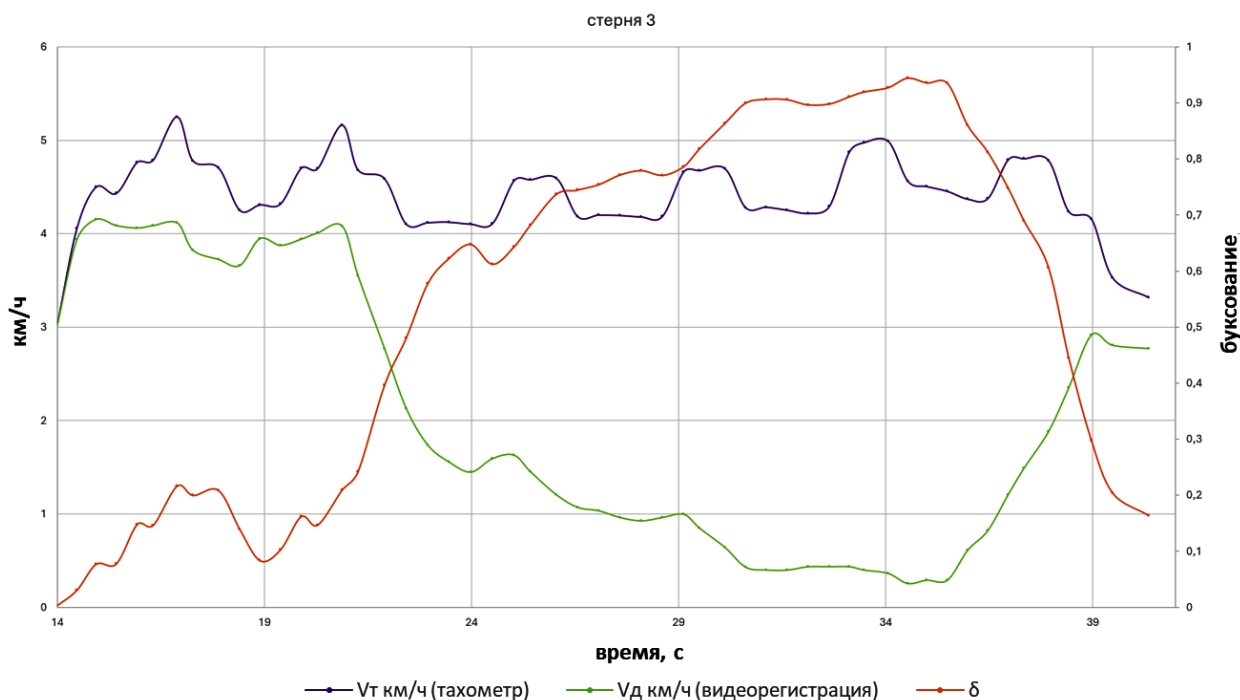


Рисунок 4.23—График изменения буксования на участке стерня 3.

На рисунке 4.24 наблюдается участок опорной поверхности стерня 4 на котором с 14-й секунды начинается притормаживание трактора-нагрузки при этом V_m держится в пределах 2,5...3,5 км/ч, а действительная скорость V_o снижается до 0,7...1,5 км/ч, коэффициент буксования δ увеличивается с до

0,75. До начала торможения коэффициент буксования δ находился в диапазоне 0,1...0,2.

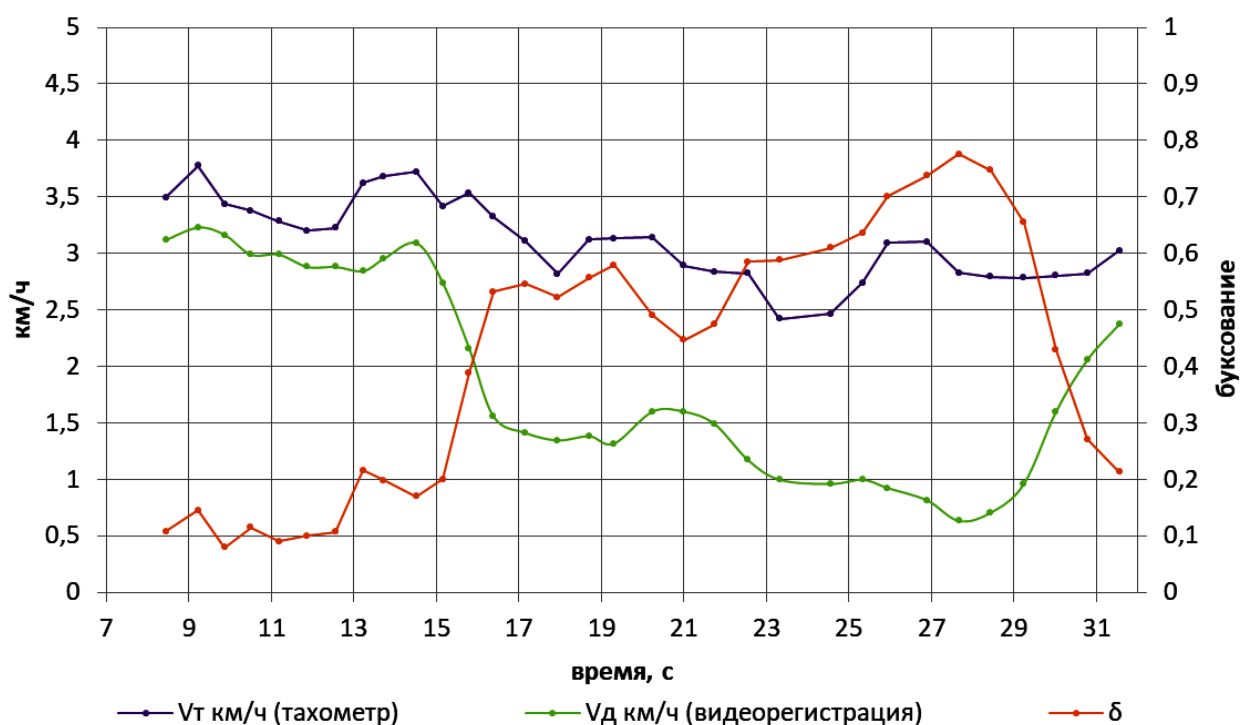


Рисунок 4.24– График изменения буксования на участке стерня 4.

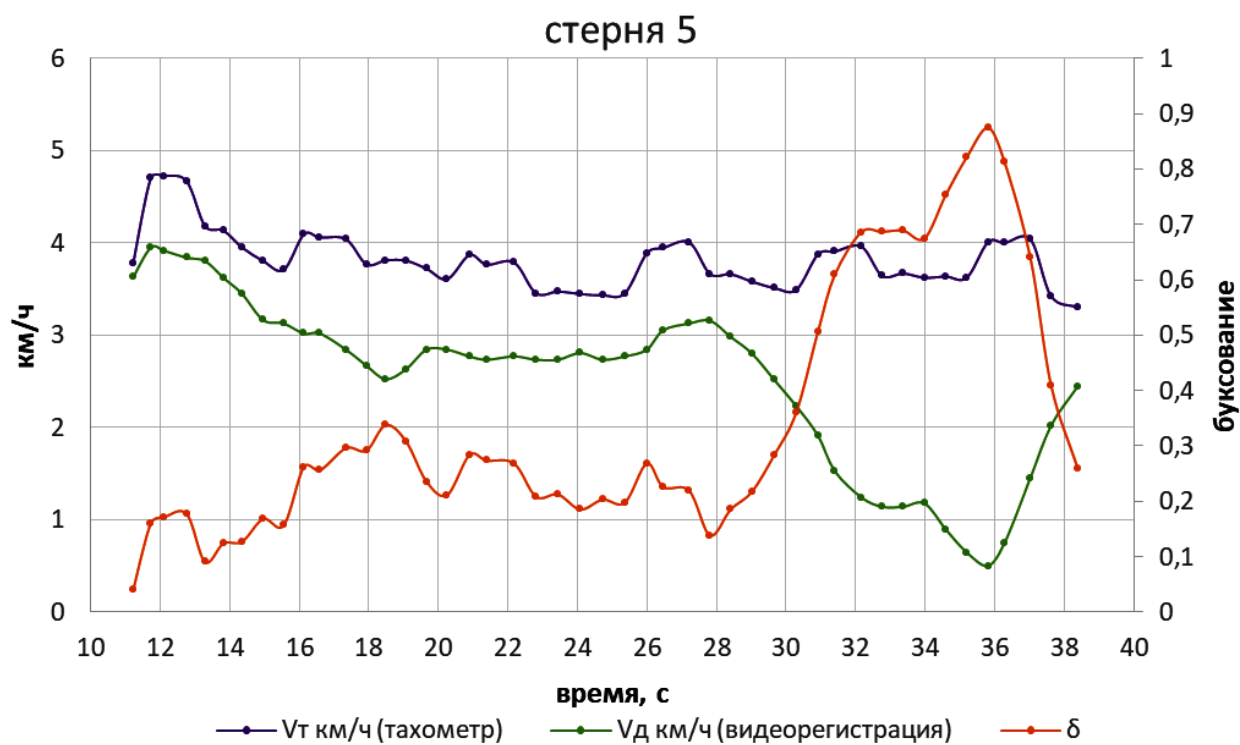


Рисунок 4.25– График изменения буксования на участке стерня 5

На рисунке 4.25 наблюдается участок опорной поверхности стерня 5 на котором с 12 секунды начинает прикладываться нагрузка при этом V_m держится в пределах 4,7 км/ч, а действительная скорость V_o равна 4 км/ч, буксование δ равно 0,14. По мере роста нагрузки действительная скорость V_o снижается до 0,5 км/ч, теоретическая скорость $V_m = 4$ км/ч, а буксование δ повышается до 0,87.

Во время эксперимента производилось измерение параметров почвы в 8-ми разных точках, равноудалённых друг от друга по всей длине участка, стерня, и результаты измерений представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 Параметры почвы

Влагомер								
Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8
Влажность, %	19	22	22,7	18,9	23,7	22,8	22,9	23,5
pH	7	7	7	7	7	7	6,83	7
Температура, °C	16,7	15,9	15,5	15,1	14,8	14,2	14,1	13,5
Пенетрометр								
Плотность почвы, кг/м ³	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,2	1,1	1,0

4.5 Оценка достоверности определения действительной скорости по результатам обработки видеорегистрации

Для оценки качества измерений действительной скорости с помощью видеорегистрации опорной поверхности разработанным способом на каждом этапе исследований производилось определение действительной скорости с помощью прибора ИСД 3.1, результаты измерений которого принимались за «эталонные», и разработанным способом. Визуальное представление результатов сопоставления полученных данных от двух устройств было выполнено в виде графиков, на которых откладывались по оси абсцисс (x) показания прибора ИСД 3.1, а по оси ординат (y) результаты, полученные по разработанному способу с помощью видеорегистрации.

Результаты обработки данных в Excel позволили оценить рассеивание точек относительно линии тренда (линейная регрессия), определить ее уравнение, проходящее через начало координат, и определить коэффициент детерминации R^2 .

На рисунке 4.26 представлены данные по результатам измерений движения трактора без нагрузки, что обуславливает основное количество экспериментальных точек в области больших скоростей, когда трактор двигался с постоянной скоростью и только при разгоне и торможении были получены значения при меньших скоростях. Линейная регрессия для этой серии экспериментальных точек имеет уравнение $y=0,9979 \cdot x$. Значение коэффициента между (y) и (x) соответствует масштабному коэффициенту между результатами измерений по двум приборам. Отличие его от 1 составляет менее 0,3%. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9951$, максимальное рассеивание значений наблюдается на уровне 1 км/ч. Значения R^2 близкие к 1 говорят о высокой достоверности представленных результатов измерений.

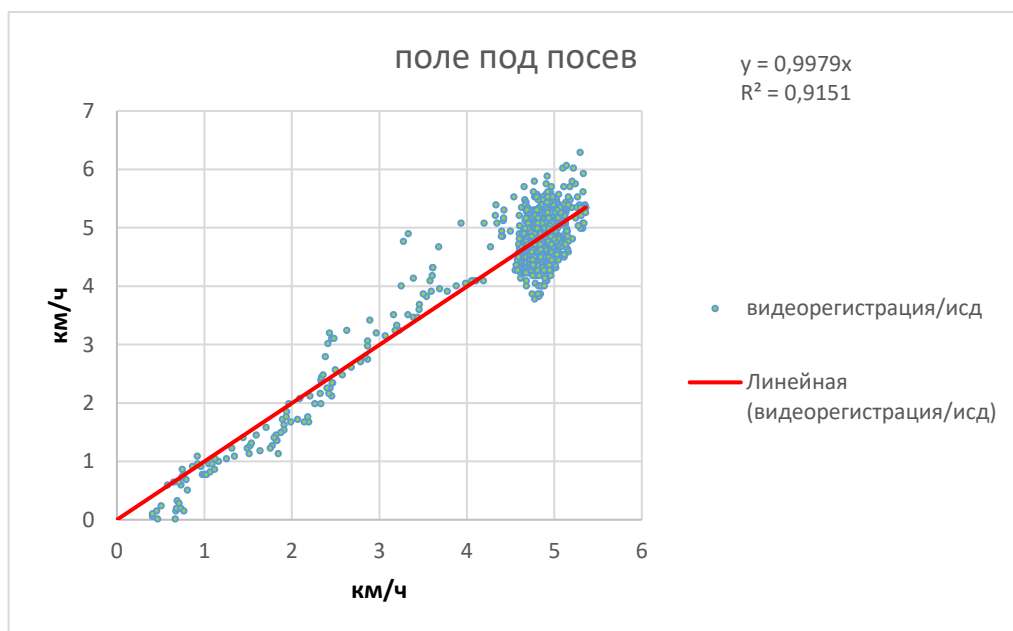


Рисунок 4.26 – График линии тренда на участке поле под посев.

На рисунке 4.27 представлены результаты сопоставления при движении трактора по асфальту без нагрузки. Линейная регрессия для этой серии

экспериментальных точек имеет уравнение $y=1,0037 \cdot x$. Коэффициент детерминации $R^2= 0,0,9936$, максимальное рассеивание значений наблюдается на уровне 0,3 км/ч.

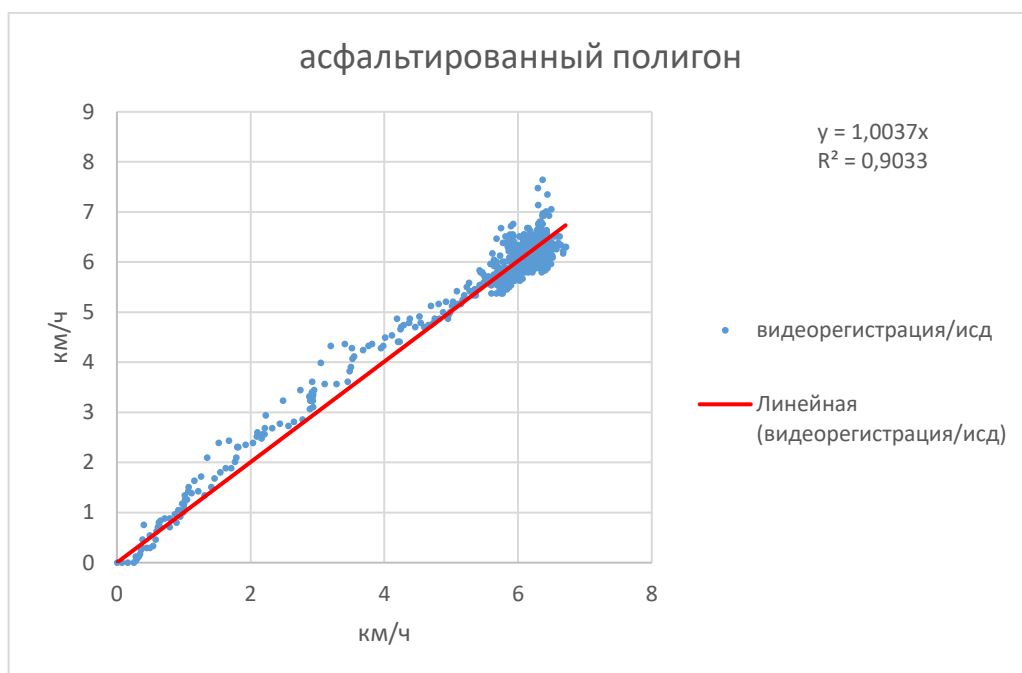


Рисунок 4.27 – График линии тренда на участке асфальтированный полигон.

На рисунке 4.28 представлены результаты сопоставления при движении трактора по стерне без нагрузки. Линейная регрессия для этой серии экспериментальных точек имеет уравнение $y=1,0083x$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9944$, максимальное рассеивание значений наблюдается на уровне 0,7 км/ч.

На рисунке 4.29 представлены результаты сопоставления при движении трактора на участке стерня 2 с нагрузкой. Линейная регрессия для этой серии экспериментальных точек имеет уравнение $y=1,0032x$. Коэффициент детерминации $R^2= 0,997$, максимальное рассеивание значений наблюдается на уровне 0,3 км/ч.

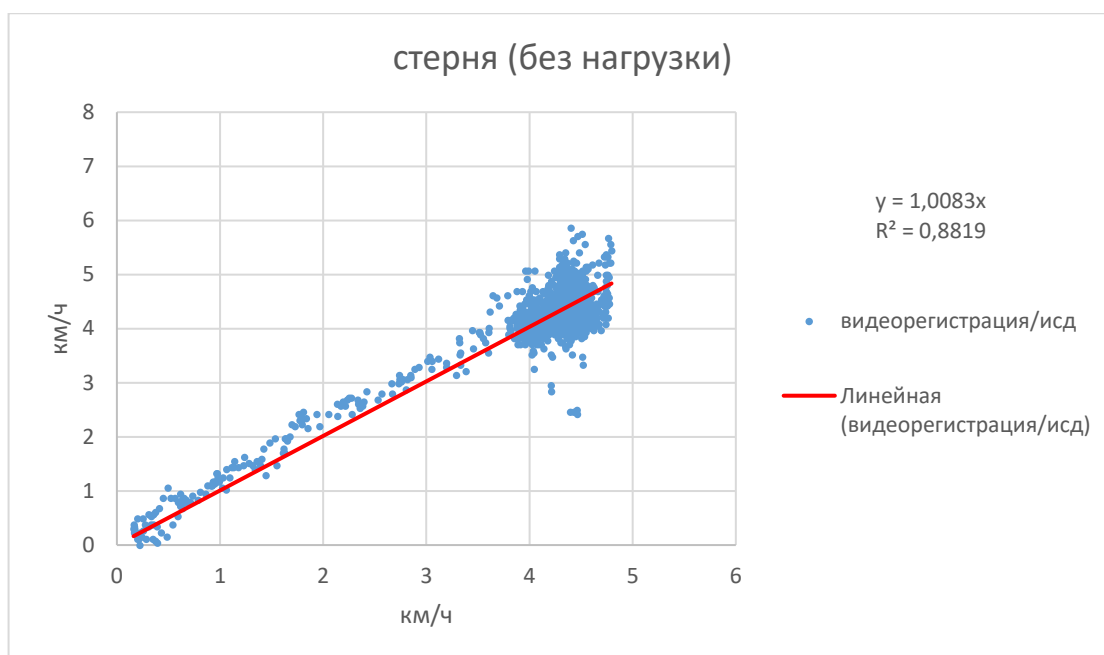


Рисунок 4.28 – График линии тренда на участке стерня.

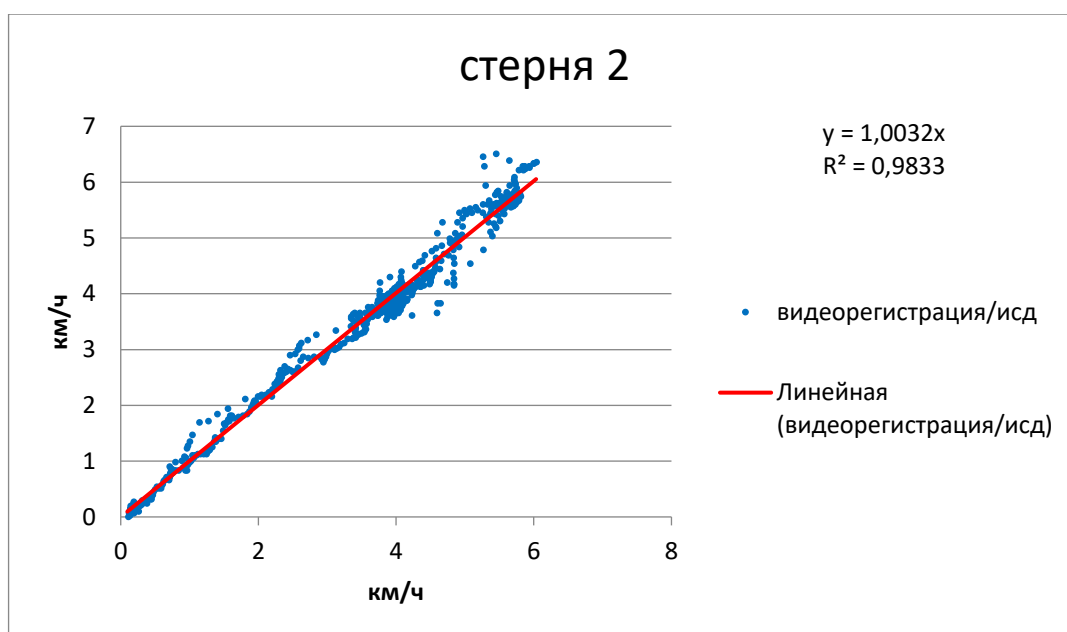


Рисунок 4.29 – График линии тренда на участке стерня 2 (нагрузка).

На рисунке 4.30 представлены результаты сопоставления при движении трактора на участке стерня 3 с нагрузкой. Линейная регрессия для этой серии экспериментальных точек имеет уравнение $y=0,9979x$. Коэффициент детерминации $R^2= 0,9905$, максимальное рассеивание значений наблюдается на уровне 0,5 км/ч.

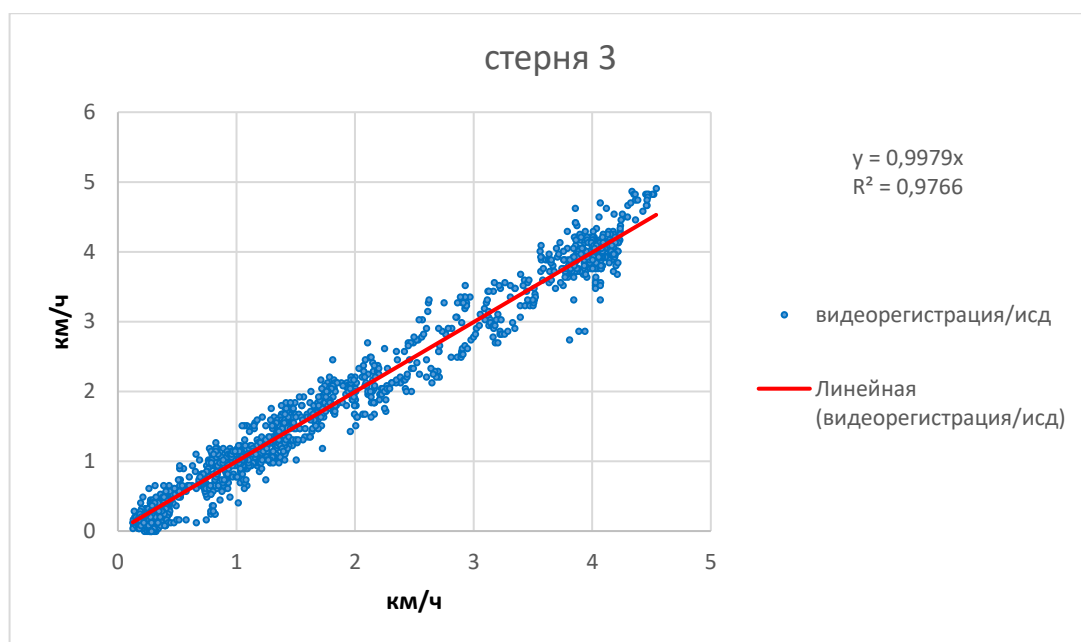


Рисунок 4.30 – График линии тренда на участке стерня 3 (нагрузка).

На рисунке 4.31 представлены результаты сопоставления при движении трактора на участке стерня 4 с нагрузкой. Линейная регрессия для этой серии экспериментальных точек имеет уравнение $y=0,9976x$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9869$, максимальное рассеивание значений наблюдается на уровне 0,5 км/ч.

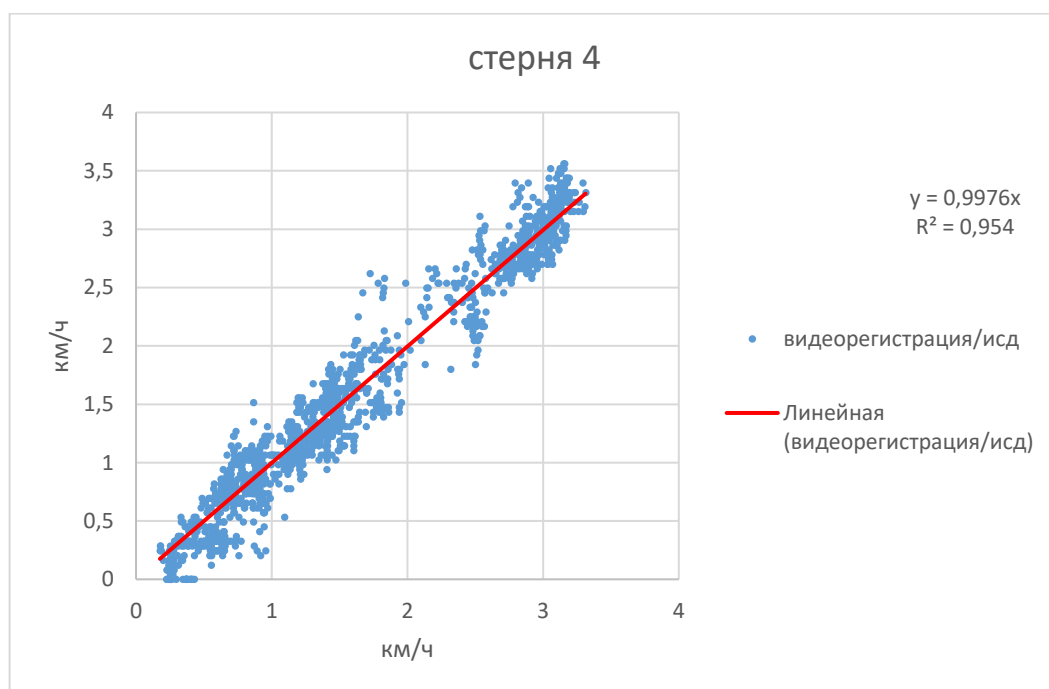


Рисунок 4.31 – График линии тренда на участке стерня 4 (нагрузка).

На рисунке 4.32 представлены результаты сопоставления при движении трактора на участке стерня 5 с нагрузкой. Линейная регрессия для этой серии экспериментальных точек имеет уравнение $y=0,9966x$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9866$, максимальное рассеивание значений наблюдается на уровне 1 км/ч.

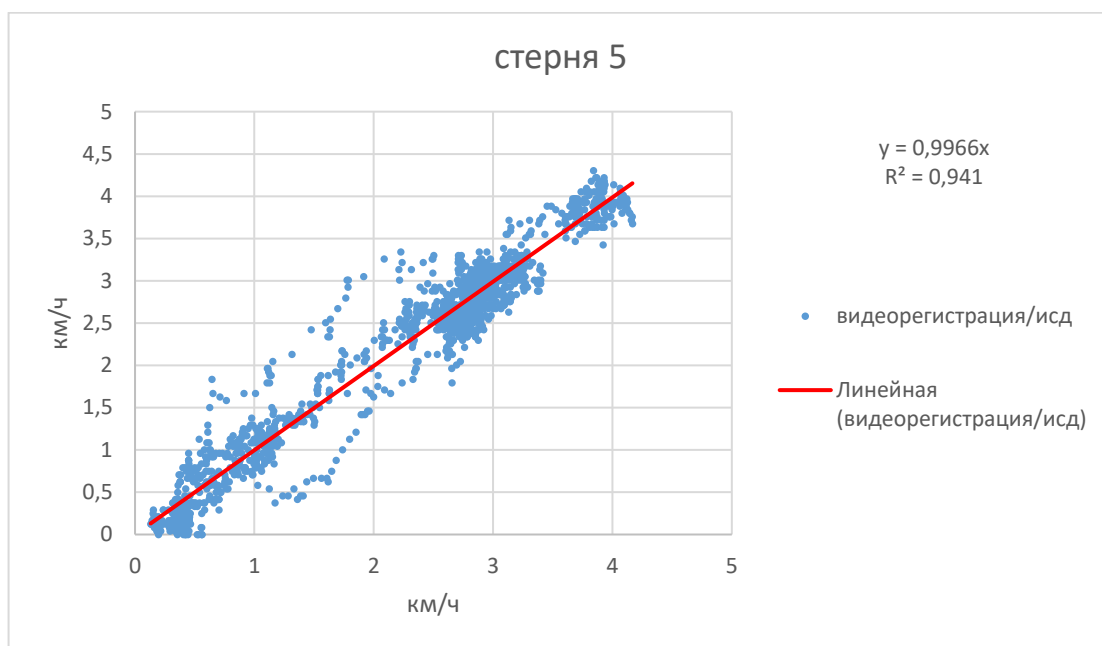


Рисунок 4.32 – График линии тренда стерня 5 (нагрузка).

Для анализа точности результата полученной действительной скорости целесообразно воспользоваться методом оценки случайной погрешности измерений, которую можно определить по зависимости [71]:

$$\Delta S_a = \sqrt{\Delta S_a^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} \quad (4.7)$$

где Δa_i - значение отклонения действительной скорости полученной разработанным способом с помощью видеорегистрации относительно скорости измеренной прибором ИСД 3.1 на i -ой точке измерений;
 n - количество измерений действительной скорости;

Поскольку оценка дисперсии, полученная для трёх почвенных фонов, является справедливой при $n \rightarrow \infty$, т.е. при больших n , то при малых

значениях n эти оценки $\Delta S_{V_{д.ср}}^2$, сами являются случайными величинами и, соответственно, неточными. Поэтому, при нахождении границ доверительного интервала для величины $V_{д.ср}$ целесообразно воспользоваться коэффициентом Стьюдента t_a задавшись доверительной вероятностью P при разных значениях n [36]. Обработка данных производилась в электронных таблицах Excel. Доверительная вероятность принята на уровне необходимом для технических измерений $P=0,95$. Т.к. количество оцениваемых измерений на каждом этапе исследований превышало $n > 100$, то значения коэффициента $t_a = 2,0$ для всех обрабатываемых режимов.

Ошибка измеряемой скорости с помощью разработанного способа рассчитывалась по формуле:

$$\Delta V = t_a \cdot \Delta S_a \quad (4.8)$$

Результаты обработки массивов данных приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Достоверность полученных экспериментальных данных

	$\sum \Delta a^2$	n	ΔS_a , км/ч	ΔV , км/ч
Без нагрузки поле под посев	233,4	1724	0,009	0,018
Без нагрузки полигон	239,7	1052	0,015	0,029
Без нагрузки стерня	9789,3	1685	0,059	0,117
С нагрузкой стерня 2 (буксование)	28,23	622	0,009	0,017
С нагрузкой стерня 3 (буксование)	84,37	1617	0,006	0,011
С нагрузкой стерня 4 (буксование)	125,7	1405	0,008	0,016
С нагрузкой стерня 5 (буксование)	183,7	1584	0,009	0,017
Среднее значение				0,0345

Приведенные в таблице результаты показывают, что максимальная ошибка измерения действительной скорости была получена при испытаниях трактора на стерне без нагрузки и составила $\Delta V = 0,12$ км/ч. Среднее значение

ошибки по всем результатам измерений получается $\Delta V_{\text{ср}} = 0,035$ км/ч, что по сравнению с другими методами измерений действительной скорости трактора в несколько раз меньше. Таким образом, разработанный способ измерения действительной скорости трактора по видеорегистрации опорной поверхности может быть рекомендован к применению и использован для управления трактором по буксованию.

Выводы по четвёртой главе

Проведенные экспериментальные исследования в лабораторных и полевых условиях способа измерения действительной скорости трактора по результатам видеорегистрации опорной поверхности позволяют сделать следующие выводы.

1. Результаты проверки возможности использования разработанного способа измерения скорости по видеорегистрации опорной поверхности позволяет проводить измерения на различных фонах:

- асфальт, мокрый асфальт, брусчатка;
- снег без посторонних следов, снег с оттиском протектора колеса, накатанная снежная дорога;
- стерня, поле под посев, гравийная дорога.

Исключение составляет фон покрытый водой, на котором не удастся определить выделенный фрагмент на отснятом кадре.

2. Разработана и апробирована методика обработки результатов видеорегистрации, которая позволяет определять действительную скорость движения машины при различных нагрузках и почвенных фонах.

3. Проведенные экспериментальные исследования в лабораторных условиях на различных почвенных фонах показали присутствие больших разбросов необходимость монтажа видеорегистратора на машине через демпфирующее устройство для снижения колебаний, передаваемых вибраций от остова машины.

4. Исследования эффективности использования демпфирующего устройства показали необходимость подбора массы утяжелителя демпфера.

Применение утяжелителя массой 435 гр. для видеорегистратора позволило снизить передаваемые на него виброускорения с 225 до 78 см/с² или в 2,9 раза.

5. Проведены испытания разработанного способа при работе трактора МТЗ-82 в полевых условиях на разных почвенных фонах без нагрузки и с нагрузкой. В качестве нагрузки использован второй трактор МТЗ-82. Изменение нагрузки в процессе испытаний обеспечивалось подтормаживанием второго трактора, что позволяло изменять величину буксования от 0 до 100%.

6. Полученные результаты испытаний показали адекватное изменение определенной скорости движения трактора относительно измеряемой теоретической скорости и величины измеряемого тягового усилия.

7. Сопоставление результатов измерений действительной скорости по прибору ИСД 3.1 с результатами измерений по видеорегистратору показали высокую достоверность результатов измерений, для которых коэффициент детерминации во всех исследованиях имел значения в диапазоне $R^2 = 0,88...0,98$.

8. Максимальная ошибка измерения действительной скорости была получена при испытаниях трактора на стерне без нагрузки и составила $\Delta V = 0,12$ км/ч. Среднее значение ошибки по всем результатам измерений получается $\Delta V_{\text{ср}} = 0,035$ км/ч, что по сравнению с другими методами измерений действительной скорости трактора в несколько раз меньше. Таким образом, разработанный способ измерения действительной скорости трактора по видеорегистрации опорной поверхности может быть рекомендован к применению и использован для управления трактором по буксованию.

Глава 5. Оценка технико-экономической эффективности применения устройства

Известно, что уровень допустимого буксования может быть установлен исходя из экономически эффективного режима работы трактора в принятии решения ищется некоторый компромисс между эксплуатационными затратами и производительностью. Знание действительной скорости критически важно для оптимальной настройки трактора под условия в которых ему придётся выполнять работу. В подготовке к эксплуатации трактора учитываются не только параметры окружающей среды, но и технологические операции, в которых необходим контроль действительной скорости:

1. Посев и посадка: Знание действительной скорости трактора обеспечивает равномерность распределения семян и удобрений, что напрямую влияет на будущий урожай.

2. Внесение удобрений и средств защиты растений (химическая обработка): Знание действительной скорости трактора позволяет соблюсти точные нормы внесения и избежать недопуска или передозировки препаратов.

3. Уборка урожая: Знание действительной скорости трактора помогает минимизировать потери и повреждение сельхозпродукции (например, клубней при копке).

В реальных условиях работы трактора параметры окружающей среды непостоянны, поле неоднородно по своей структуре, неодинаково по влажности, имеет уклоны, низменности, а значит важно не только настроить трактор перед работой, но и оперативно управлять им основываясь на показаниях действительной скорости и как следствие буксования что должно повысить экономическую эффективность за счёт более эффективного использования производительности при тех же затратах на топливо. Для этого целесообразно экономически оценить устройства для измерения действительной скорости в режиме реального времени. Для ответа на этот

вопрос далее приведена технико-экономическая оценка применения средств определения действительной скорости оптическими средствами.

5.1. Исходные данные для технико-экономической оценки

Этот раздел посвящён расчёту готовой экономии на основании проведенных исследований исходя из расчёта на один трактор МТЗ-82. Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Исходные данные для расчёта

Показатели	Ед. изм.	Условное обозначение	Значение
Единовременные затраты от существующей технологии	руб.	K_1	800000
Единовременные затраты проектного варианта	руб.	K_2	60 000
Численность трактористов-машинистов	чел.	N_B	1
Численность ремонтных рабочих	чел.	$N_{P.P.}$	2
Численность ИТР	чел.	$N_{ИТР}$	2
Численность вспомогательных рабочих	чел.	$N_{Всп.Р.}$	4
Годовая загрузка трактора [26]	мото·ч.	$L_{ОБЩ}$	1000

Разработка программного обеспечения, монтаж демпфирующего устройства и видеорегистратора, настройка процессора для обработки сигнала необходимые единовременные затраты для осуществления видеорегистрации опорной поверхности для определения буксования в ходе выполнения технологических операций. Перечень оборудования представлен в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Перечень оборудования в единичном экземпляре

Единоновременные затраты от существующей технологии			
№	Наименование детали	Количество, шт.	Сумма, руб.
1	Измеритель скорости и длины (ИСД), модель 3.1	1	707 140
2	Программа для записи аналогового сигнала с ИСД 3.1, ПО: ISD_Ethernet_Ru.exe	1	37 400
3	Ноутбук Lenovo, модель Thinkbook	1	50 000
4	Итого		794 540
Единоновременные затраты проектного варианта			
1	Камера Sony, модель IMX363	1	9 300
2	Ноутбук LenovoThinkbook	1	50 000
3	Демпфирующее устройство для камеры, Демпфер	1	700
4	Итого	-	60 000

Общая стоимость основных компонентов оборудования составит 854 540 руб., учитывая электропроводку, и монтаж, и настройку системы, примем объем единовременных затрат равным 860 000 руб.

Стоимость единовременных затрат от существующей технологии составляет 800 000 руб. Однако стоимость единовременных затрат проектного варианта из составляет 60 000 руб., которая экономически обосновывается в расчёте ниже. Стоит отметить, что разница стоимости единовременных затрат уже показывает экономическую целесообразность использования предлагаемого оборудования и программного обеспечения.

5.2 Методика расчета

Методика расчета принимается из работы [54]: т.к. процедуры, проводимые для получения количественных характеристик технико-экономических показателей достаточно устойчивы и применимы для создания проекта в качестве временного интервала выбирается расчетный год, тогда расчёт экономического эффекта производим по формуле:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{Z}_{Г.баз.} - \mathcal{Z}_{Г.проект.} \quad (5.1)$$

где $\mathcal{Z}_Г$ - неизменные по годам затраты

Благодаря установке программного обеспечения, демпфирующего устройства и видеорегистратора, процессора для обработки сигнала система определения действительной скорости при помощи видеорегистрации позволяет в режиме реального времени оценить буксование движителей без отрыва от технологического процесса выполняемого трактором, что на дальней дистанции приведет к снижению эксплуатационных затрат, а так же позволит механизатору оперативно принимать решения по управлению тягово-транспортным средством.

Материал расчёта выполненный ранее позволяет говорить, что, применяя предлагаемое устройство выбор оптимального буксования позволяет эффективнее использовать мощность двигателя и как следствие затраты на ГСМ снижаются в среднем на 10%:

Годовые текущие издержки определяем по формуле

$$И_Г = \Phi OT + \mathcal{Z}_{ГСМ} + \mathcal{Z}_{ТОР} + Пр, \quad (5.2)$$

где ΦOT – затраты на оплату труда инженеров, механизаторов и ремонтных рабочих, руб.

$\mathcal{Z}_{ГСМ}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, руб.

$\mathcal{Z}_{ТОР}$ – затраты на ТО и ремонт подвижного состава, руб.

$Пр$ – прочие затраты, принимаем равными 5% от суммы всех затрат, руб.

5.2.1 Расчет оплаты труда

Расчет заработной платы трактористов-машинистов

Дневную заработную плату вычисляем по формуле:

$$ЗП = ЗП_О + ЗП_Д + (ЗП_О + ЗП_Д) \cdot 0,3, \quad (5.3)$$

где $ЗП_О$ – основная заработная тракториста-машиниста, руб.;

$ЗП_Д$ – дополнительная заработная плата, учитывает надбавки и доплаты, принимаем равной 25% от основной заработной платы, согласно методике [53, 54], руб.;

0,3 – коэффициент, учитывающий затраты на социальное страхование.

Основную зарплату за смену рассчитываем по формуле:

$$ЗП = (T_H + T_{ЗП} + T_{МЕД}) \cdot C_ч + П, \quad (5.4)$$

где T_H – нормативное время на установленное сменное задание, ч, $T_H = 8$ ч;

$T_{ЗП}$ – подготовительно-заключительное время на смену, $T_{ЗП} = 0,3$ ч;

$T_{МЕД}$ – время предрейсового медосмотра, $T_{МЕД} = 5$ мин = 0,083 ч;

$C_ч$ – средняя часовая тарифная ставка тракториста-машиниста, $C_ч = 430$ руб., по статистическим данным агентства Работа.ру;

$П$ – премия за выполнение нормированных заданий и других установленных показателей премирования, составляет 30%, руб.,

Заработная плата и фонд оплаты труда трактористов-машинистов после установки системы определения действительной скорости остались прежними и составляют:

$$ЗП_О = [(8 + 0,3 + 0,083) \cdot 430] \cdot 1,30 = 4686 \text{ руб.}$$

$$ЗП_Д = 4686 \cdot 0,25 = 1172 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{СМ} = 4686 + 1172 + (4686 + 1172) \cdot 0,3 = 7615 \text{ руб.}$$

Годовой фонд оплаты труда трактористов-машинистов определим из соотношения:

$$\Phi OT_{m-m} = ЗП_{СМ} \cdot Д_p \cdot N_{m-m}, \quad (5.5)$$

где D_p – дней работы в году на 1 тракториста-машиниста, $D_p = 247$ дней [54];

N_B – численность трактористов-машинистов, $N_{m-м} = 1$ человек.

Подставив значения в формулу (5.5), получим годовой фонд оплаты труда

$$\Phi OT_{m-м} = 7615 \cdot 247 \cdot 1 = 1880905 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы ремонтных рабочих

Дневную заработную плату ремонтных рабочих вычисляем по формуле (5.4). Основную заработную плату за смену рассчитываем по формуле:

$$ЗП_О = C_ч \cdot T_H, \quad (5.6)$$

где T_H – нормативное время на установленное сменное задание, ч, $T_H = 7$ ч;

$C_ч$ – часовая тарифная ставка ремонтного рабочего VI разряда, $C_ч = 690$ руб. по статистическим данным агентства Работа.ру в московской области;

Заработная плата и фонд оплаты труда ремонтных рабочих после реконструкции остались прежними и составляют:

$$ЗП_О = 630 \cdot 7 = 4830 \text{ руб.}$$

$$ЗП_Д = 4830 \cdot 0,25 = 1208 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{СМ} = 4830 + 1208 + (4830 + 1208) \cdot 0,3 = 7849 \text{ руб.}$$

Годовой фонд оплаты труда ремонтников определим из выражения:

$$\Phi OT_{p.p} = ЗП_{СМ} \cdot D_p \cdot N_{p.p}, \quad (5.7)$$

где D_p – дней работы в году на 1 ремонтного рабочего, $D_p = 247$ дней;

$N_{p.p.}$ – численность ремонтных рабочих,

$N_{p.p.}^{баз} = 2$ человек;

$$\Phi OT_{p.p.} = 7849 \cdot 247 \cdot 2 = 3877406 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы инженерно-технических работников и вспомогательного персонала.

Используя статистический анализ тарифной ставки в области сельского хозяйства московской области за час принимаем равной 510 руб. (Работа.ру),

рассчитываем дневную и основную зарплату по формуле 5.3 и 5.6 соответственно.

Заработная плата и фонд оплаты труда ИТР составляют:

$$ЗП_о = 510 \cdot 7 = 3570 \text{ руб.}$$

$$ЗП_д = 3570 \cdot 0,25 = 893 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{см} = 3570 + 893 + (3570 + 893) \cdot 0,3 = 5802 \text{ руб.}$$

Годовой фонд оплаты труда ИТР определим из выражения (5.7), численность ИТР и вспомогательный персонал составляет $N_{ИТР} = 6$ человек;

$$\Phi OT_{ИТР} = 5802 \cdot 247 \cdot 6 = 8598564 \text{ руб.}$$

5.2.2 Затраты на ГСМ

Затраты на топливо

Затраты на топливо зависят от мото-часов тракторов. Потребность в топливе рассчитываем по формуле:

$$Q_{Ti} = \frac{Q_i \cdot n_{1i}}{W}, \quad (5.8)$$

где Q_i – мото-часы i -й группы транспортных средств;

n_{1i} – норма часового расхода топлива i -ой марки тракторов, л/час.

Для тракторов МТЗ-82 согласно данным источника [30] составляет 13,3/л/час.

W – удельная часовая производительность трактора, га/час; $W = 0,7$ га/час, согласно источнику [21]

Подставив данные в формулу (5.9), получаем:

$$Q_T = \frac{1000 \cdot 13,3}{0,7} = 19500 \text{ л.}$$

Затраты на топливо определим по формуле:

$$З_T = Q_T \cdot Ц_T, \quad (5.9)$$

где $Ц_T$ – цена топлива за 1 литр: $Ц_{дт} = 70,7$ руб. по данным АЗС Лукойл Москва и Московская область.

$$Z_T^{баз} = 70,7 \cdot 19500 = 1378650 \text{ руб.}$$

Согласно исследованию [22] регулирование тягово-сцепных свойств трактора позволяет снизить буксование ведущих колёс в среднем до 50%, что выражается в снижении удельного расхода топлива до 25%. Определение действительной скорости видеорегистрацией опорной поверхности позволит знать буксование трактора во время технологических операций с достаточно высокой оперативностью что в свою очередь позволит снизить затраты на топливо во время эксплуатации с проектируемым вариантом на 10%:

$$Z_T^{проект} = 1378650 \cdot 0,9 = 1240785 \text{ руб.}$$

Затраты на моторные масла.

Затраты на моторное масло принимаем равными 10 % от затрат на топливо [54]:

$$Z_{CM} = 0,1 \cdot Z_T, \quad (5.10)$$

$$Z_{CM}^{баз} = 1378650 \cdot 0,1 = 137865 \text{ руб.}$$

$$Z_{CM}^{проект} = 1240785 \cdot 0,1 = 124079 \text{ руб.}$$

Затраты на другие виды смазочных материалов включаем в статью прочие расходы.

5.2.3 Затраты на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава

Затраты труда и продолжительность простоев на ТО определяются с учетом нормативов трудоемкости ТО и норм времени простоя [80, 39] по видам ТО и для тракторов МТЗ-82.

Затраты на ТО и ремонт рассчитываем по формуле

$$Z_{ТОР} = \frac{H_{ТОР} \cdot L_{ОБ}}{1000}, \quad (5.11)$$

где $H_{ТОР}$ – удельная величина затрат на техническое обслуживание и ремонт, руб./1000 км;

$L_{ОБ}$ – общая загрузка трактора, мото-часы.

Используя источники [77, 73] можно сказать что удельная величина затрат $H_{ТОР}$ на техническое обслуживание трактора МТЗ-82 будет равна 18000 руб./1000 мото-часов [77, 73] не учитывая при этом расходы на запасные части и примем её для базового варианта, а для проектного варианта стоит ожидать снижение нагрузок во время эксплуатации не только на ходовую систему трактора, но и на двигатель за счёт чего расходы на ремонт и ТО уменьшаться на 10% и составит 16 200 руб./1000 мото-часов.

Подставив значения, получим затраты на ТО и ремонт:

$$З_{ТОР}^{баз} = \frac{18000 \cdot 10000}{1000} = 180000 \text{ руб.}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт в проектном варианте составляют:

$$З_{ТОР}^{проект} = \frac{16200 \cdot 10000}{1000} = 162000 \text{ руб.}$$

Подставив все рассчитанные данные в формулу (5.2), получаем годовые издержки:

$$И_{Г}^{баз} = (1880905 + 1516515 + 180000) \cdot 1,05 = 3756291 \text{ руб.}$$

$$И_{Г}^{проект} = (1880905 + 1364864 + 162000) \cdot 1,05 = 3578158 \text{ руб.}$$

Общие затраты составят: В базовом варианте единовременные затраты отсутствуют, поэтому затраты будут равны издержкам:

$$З_{Г}^{баз} = 3756291 \text{ руб.}$$

А в проектном составят:

$$З_{Г}^{проект} = 3578158 + 60000 = 3638158 \text{ руб.}$$

Стоимостная оценка годовой экономии существующей технологии с применением измерителя скорости и длины (ИСД-3.1) нецелесообразна, т.к.

$$З_{Г}^{сущ. техн.} = 3578158 + 800000 = 4378158 \text{ руб.} \quad \text{значительно превышает}$$

$$З_{Г}^{проект} = 3638158 \text{ руб. на } 740\,0000 \text{ руб. и } З_{Г}^{баз} = 3756291 \text{ на } 621\,867 \text{ руб.}$$

5.2.4 Расчет годовой экономии от способа видеорегистрации

Подставив полученные значения в формулу 5.1, получим следующую годовую экономию от проведенных мероприятий [54]:

$$\mathcal{E}_T = 3756291 - 3638158 = 118133 \text{ руб.}$$

Согласно источнику [40,69] 20-25 единиц техники в РФ это средний парк для тракторов МТЗ-82 если использовать предлагаемое устройства, экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_T^{\text{парк}} = 25 \cdot 118133 = 2953325 \text{ руб.}$$

5.2.5 Расчет экономического эффекта

Определение экономического эффекта определяется по формуле [54]:

$$\mathcal{E} = \frac{3_{\Gamma}^{\text{Баз}} - 3_{\Gamma}^{\text{Проект}}}{3_{\Gamma}^{\text{Баз}}} \quad (5.12)$$

Где R– коэффициент, учитывающий амортизацию технического устройства, R = 0,09; Срок эксплуатации технических устройств, согласно источнику [102] составляет 10 лет.

E_n – нормативный коэффициент эффективности, $E_n = 0,2$.

$$\mathcal{E}_{\text{исд}} = \frac{3756291 - (3578158 + 800000 / 10)}{0,09 + 0,2} = 338390 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{вид}} = \frac{3756291 - (3578158 + 60000 / 10)}{0,09 + 0,2} = 593562 \text{ руб.}$$

5.2.6 Расчет срока окупаемости

Срок окупаемости определим по формуле [53, 54, 80]:

$$T_o = \frac{K}{\mathcal{E}}, \quad (5.13)$$

где $\mathcal{E}_T$ – экономический эффект от проведенных мероприятий, руб.

Подставим значения в формулу и получаем:

$$T_o^{\text{исд}} = \frac{800000}{338390} \approx 2,4 \text{ года;}$$

$$T_o^{ВИД} = \frac{60000}{593562} = 0,10 \text{ года,}$$

следовательно, наши единовременные затраты вполне оправданы.

Полученные результаты расчётов сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты экономического расчёта

№	Наименование показателя	Значение		
		Базовый вариант	Существующая технология (ИСД)	Проектируемый вариант (видеорегистрация)
1	Единовременные затраты, руб.	-	800 000	60 000
3	Фонд оплаты труда трактористов-машинистов, руб.	1 880 905	1 880 905	1 880 905
4	Фонд оплаты труда ремонтных рабочих, руб.	3 877 406	3 877 406	3 877 406
5	Фонд оплаты труда инженерно-технических работников и вспомогательного персонала, руб.	8 598 564	8 598 564	8 598 564
6	Затраты на топливо, руб.	1 378 650	1 240 785	1 240 785
7	Затраты на смазочные материалы, руб.	137 865	124 079	124 079
8	Затраты на техническое обслуживание и ремонт трактора, руб.	180 000	162 000	162 000
9	Издержки годовые, руб.	3 756 291	3 578 158	3 578 158
10	Общие затраты, руб.	3 756 291	4 378 158	3 638 158
11	Годовая экономия с одного трактора, руб.	-	-	118 133
12	Годовая экономия с парка тракторов, руб.	-	-	2 953 325
13	Экономический эффект, руб.	-	338 390	593 562
14	Срок окупаемости, лет	-	2,4	0,10

Как следует из таблицы, применение ИСД-3.1 в качестве технического устройства определения действительной скорости будет окупаться в течении

29 месяцев, а его экономический эффект за 10 лет срока службы составит 338 390 руб.

В случае использования разработанного метода определения действительной скорости трактора из расчета экономической эффективности видно, что целесообразно провести модернизацию рассматриваемого трактора. Разница в стоимости единовременных затрат от существующей технологии и разработанного способа определения действительной скорости тягово-транспортных средств составляет 740 000 руб. Регулирование тягово-сцепных свойств трактора позволяет снизить буксование ведущих колёс в среднем до 50%, что выражается в снижении удельного расхода топлива до 25%.

По результатам расчётов годовая экономия на среднестатистический парк тракторов МТЗ-82 в хозяйствах составит 2 953 325 руб., экономический эффект составит 593 562 руб. а срок окупаемости единовременных затрат составит 0,10 года.

5.3. Рекомендации по применению устройства измерения действительной скорости трактора

Разработанный способ измерения действительной скорости трактора по видеорегистрации опорной поверхности может быть рекомендован к применению и использован для управления трактором по буксованию, что экономически целесообразно т.к. срок окупаемости затрат составляет 0,10 года, и они окупятся за один сезон эксплуатации техники.

При монтаже разработанного устройства необходимо учитывать следующие факторы.

1. Видеорегистратор должен быть расположен на высоте более 0,5 м.
2. Максимальная высота расположения видеорегистратора зависит от угла захвата видеоизображения объективом и при малых углах может достигать до 3 м.

3. Монтаж видеорегистратора лучше осуществлять на остов трактора и необходимо предусмотреть демпфирующее устройства для снижения вибраций от остова трактора при движении и работающем двигателе.

4. Объектив видеорегистратора следует направлять по вертикали вниз и лучше на след заднего колеса.

5. В месте установки на трактор между объективом видеорегистратора и опорной поверхностью не должно быть преград, закрывающих обзор объективу.

6. Оптические датчики чувствительны к загрязнениям объектива это необходимо учитывать при конструкции корпуса датчика и места его установки.

При настройке режима видеорегистрации.

1. Частота съемки видеорегистратором в большинстве случаев условий работы трактора обеспечивается стандартной для видеорегистраторов и достаточна 20...30 кадров/с. Для снижения загрузки процессора обработки видеоизображения можно использовать и частоту до 5 кадров/с.

2. В темное время работы трактора следует предусмотреть освещение регистрируемого участка опорной поверхности источником расположенном на одном основании с видеорегистратором.

3. Расположение видеорегистратора на тракторе должно быть таким образом, чтобы длинная сторона снимаемого кадра была расположена по направлению движения.

4. Для повышения надежности определения скорости по опорной поверхности лучше использовать цветной режим съемки вместо серого.

При разработке программного обеспечения для обработки результатов видеорегистрации.

1. Необходимо учитывать расположение кадра по направлению движения машины и контрольного фрагмента ближе к краю по направлению движения.

2. Размер выделяемого на кадре фрагмента должен составлять от 5 до 10 % площади кадра.

3. Форма фрагмента должна иметь соотношение между его длиной и шириной то 1:1 до 10:1.

4. Результаты обработки данных видеорегистрации должны включать процесс их сглаживания и отсева промахов.

При выборе высоты установки над опорной поверхностью будет удобным воспользоваться формулой, описанной в пункте 4.2, а также учитывать, что коэффициент пропорциональности и частота кадров имеют зависимость с максимально возможной измеряемой скоростью движения опорной поверхности, которая в свою очередь зависит от скорости движения трактора. А именно если скорость движения трактора настолько велика что опорная поверхность, видимая в объективе видеорегистратора на первом кадре, полностью сменяется на втором кадре, то поиск участка опорной поверхности становится невозможным. Например, если видеорегистратор имеет частоту съёмки 60 кадр/с, и в его объектив попадает опорная поверхность длиной 1,2 м по ходу движения трактора, то трактору необходимо преодолеть 1,2 м за 0,016с что соответствует скорости 259,2 км/ч что соответствует требованиям трактора т.е. меняя положение по высоте и частоту съёмки видеорегистратора мы изменяем диапазон измеряемых скоростей.

Так же стоит учитывать, что разрешение съёмки видеорегистрации и ориентация камеры по горизонтали и вертикали влияет на количество пикселей, которые формируют опорную поверхность на кадре. Так для разрешения 1920x1080 целесообразным будет использовать сторону кадра с шириной 1920 пикселей так как в угол её обзора попадёт больший участок опорной поверхности в метрах по ходу движения трактора, а для разрешения 2560x1440 выбрать 2560 соответственно. Так же при съёмке опорной поверхности одинакового размера, но с большим разрешением повышает точность измерения действительной скорости за счёт того, что в ней умещается большее количество пикселей и соответственно цена деления пиксель/м становится меньше.

В ходе экспериментальных исследований установлено, для видеорегистраторов с разрешением 2560x1440 и 1920x1080 оптимальная высота установки находится в диапазоне от 60 до 120 см от опорной поверхности.

Поскольку для измерения действительной скорости не нужен крупногабаритный оптический датчик, достаточно мобильного сенсора IMX 363 или его аналога чьи габариты не превышают 2см в диаметре, расположить данный сенсор возможно практически в любом месте.

Хорошим местом для установки станет то, в котором будет наблюдаться колея трактора поскольку след протектора на опорной поверхности по типу снег и др. позволит сенсору более стабильно находить и регистрировать участки опорной поверхности на последующих кадрах что положительно скажется на точности измерений.

Выводы по пятой главе

1. Сделана технико-экономическая оценка эффективности использования контроля буксования при выполнении технологических операций трактором МТЗ-82 при использовании прибора ИСД 3.1 и разработанного способа по сравнению с базовым вариантом.

2. Результаты технико-экономической оценки проводились с учетом:

- единовременных затрат от существующей технологии, единовременных затрат проектного варианта,
- численности трактористов-машинистов,
- численности ремонтных рабочих, ИТР и вспомогательного персонала, годовой загрузки трактора,
- затрат на топливо и смазочные материалы
- затрат на техническое обслуживание и ремонт,
- годовых издержек и общих затрат.

3. По результатам расчётов годовая экономия на

среднестатистический парк в количестве 25 тракторов МТЗ-82 в хозяйствах:

при использовании прибора ИСД 3.1 для оценки буксования годовая экономия принимает отрицательное значение, т.е нет целесообразности использования этого прибора на краткосрочный период т.к. это решение убыточное, экономический эффект за срок службы 10 лет составит 338 390 руб.,и срок окупаемости единовременных затрат составит 2,4 года.

при использовании разработанного устройства для оценки буксования с помощью видеорегистратора составит 2 953 325 руб., экономический эффект составит 593 562 руб., а срок окупаемости единовременных затрат составит 0,1 года.

Разработаны рекомендации по монтажу, условиям эксплуатации и программного обеспечения для устройства измерения действительной скорости видеорегистрацией опорной поверхности.

Заключение

В процессе решения поставленных задач исследований были получены следующие результаты.

1. Эффективность работы трактора во многом определяется степенью буксования двигателя и для теоретического анализа его изменения и влияния на КПД двигателя предложена зависимость для его определения. Зависимость включает безразмерные величины и учитывает касательную силу, сцепление двигателя с опорной поверхностью, буксование и введенный новый эмпирический коэффициент - коэффициент податливости. Диапазон изменения коэффициента податливости k , для сельскохозяйственных тракторов составляет $k = 0,03 \dots 0,15$.
2. Анализ взаимосвязи буксования с КПД двигателя показал существование оптимального по КПД значения буксования для каждого почвенного фона:
 - для поля, подготовленного под посев $\delta_m \approx 0,185$;
 - для стерни $\delta_m \approx 0,145$;
 - для целины или плотной залежи $\delta_m \approx 0,1$;
 - для асфальта или бетона $\delta_m \approx 0,04$.
3. Изменение оптимального значения буксования в процессе работы трактора требует его оперативного определения для обеспечения эффективности выполняемых работ. Эта задача теоретически была решена использованием разработанного способа видеорегистрации с трактора опорной поверхности.
4. Проведенная экспериментальная проверка в лабораторных и полевых условиях показала возможность использования разработанного способа измерения действительной скорости по видеорегистрации почти на всех фонах опорной поверхности, используемой в сельскохозяйственном производстве.

5. Разработана и апробирована методика обработки результатов видеорегистрации, которая позволяет определять действительную скорость движения машины при различных нагрузках и почвенных фонах, а также буксование двигателя от 0 до 100%.
6. Максимальная ошибка измерения действительной скорости была получена при испытаниях трактора на стерне без нагрузки и составила $\Delta V = 0,12$ км/ч. Среднее значение ошибки по всем результатам измерений получается $\Delta V_{\text{ср}} = 0,035$ км/ч, что по сравнению с другими методами измерений действительной скорости трактора в несколько раз меньше. Таким образом, разработанный способ измерения действительной скорости трактора по видеорегистрации опорной поверхности может быть рекомендован к применению и использован для управления трактором по буксованию.
7. Разработаны рекомендации по монтажу, условиям эксплуатации и программному обеспечению для устройства измерения действительной скорости по разработанному способу видеорегистрацией опорной поверхности.
8. Технико-экономическая оценка эффективности использования контроля буксования при выполнении технологических операций трактором МТЗ-82 при использовании существующего прибора ИСД 3.1 показала срок окупаемости 2,4 года, а устройства по разработанному способу – 0,1 года.

Список использованной литературы

1. Арженовский, А. Г. Метод получения тяговой характеристики трактора в эксплуатационных условиях / А. Г. Арженовский, Д. С. Козлов, Н. А. Петрищев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – № 12(5). – С. 25-30. – <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-5-25-30>.
2. Анализ энергонасыщенности рынка сельскохозяйственных тракторов российской федерации / Н. Г. Сысенко, А. И. Пономарёв, В. В. Булычев, В. Н. Сидоров // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – № 3. – С. 81-88. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-3-81-88.
3. Асманкин, Е. М. Методика экспериментального определения функции коэффициента буксования колесного движителя / Е. М. Асманкин, А. А. Сорокин, А. С. Подуруев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 2(22). – С. 135-138.
4. Барский, И. Б. Динамика трактора / И. Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков. - М. : "Машиностроение", 1973. - 280 с.
5. Бесконтактные датчики скорости и длины ИСД компании "Сенсорика-М" // Информатизация и системы управления в промышленности. - 2022. - № 6(102). - С. 61-63.
6. Бобровицкий, В. И. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В. И. Бобровицкий, В. А. Сидоров. - Донецк : Юго-Восток, 2011. - 238 с.
7. Богатырев, А. В. Тракторы и автомобили : учебник для студентов средних специальных учебных заведений по специальности 3106 "Механизация сельского хозяйства" / А. В. Богатырев, В. Р. Лехтер. - М. : КолосС, 2007. - 398 с. - ISBN: 978-5-9532-0587-0.
8. Бояршинов, М. Г. Применение вейвлет-анализа для исследования интенсивности транспортного потока / М. Г. Бояршинов, А. С. Вавилин, Е. В. Васькина // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2022. - № 4. - С. 88-103.

9. Вахламов, В. К. Автомобили: эксплуатационные свойства / В. К. Вахламов. - М. : Издательский центр "Академия", 2005. - 240 с.
10. Водяник, И. И. Воздействие ходовых систем на почву (научные основы) / И. И. Водяник. - М. : Агропромиздат, 1990. - 172 с.
11. Водяников, В. Т. Научно-технический прогресс и производительность труда в аграрном секторе экономики : монография / В. Т. Водяников, А. К. Субаева. - М. : Издательство "Бриг", 2018. - 206 с.
12. Галиуллин, Р. Р. К вопросу повышения точности определения координат машинно-тракторного агрегата информационно-навигационным оборудованием системы параллельного вождения / Р.Р. Галиуллин // Тракторы и сельхозмашины. - Том 89, № 4. - 2022. - С. 243-254.
13. Голдина, И. И. Балластирование и эксплуатационные свойства тракторов / И. И. Голдина, Г. А. Иовлев // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. - 2021. - № 4(12). - С. 4-10.
14. Горлатов, С. Е. Конструкция и эксплуатационные свойства транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования. Часть 2. Эксплуатационные свойства автомобиля : методические указания к практическим занятиям / С. Е. Горлатов, С. Б. Цибизов. - Оренбург : ОГУ, 2013. - 53 с.
15. ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90). Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей.
16. Гребнев, В. П. Эффективность регулирования степени балластирования колесных тракторов при работе с навесными машинами / В. П. Гребнев, А. В. Ворохобин // Тракторы и сельхозмашины. - 2011. - № 10. - С. 19-21.
17. Грибов, И. В. Анализ балластирования тракторов / И. В. Грибов, Г. М. Кутьков, Н. В. Перевозчикова // Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 100-летию И. С. Шатилова : сборник статей, Москва, 06-07 июня 2017 года. - М. :

Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева, 2017. - С. 293-295.

18. Девянин, С. Н. Анализ буксования ведущего колеса трактора при влиянии комплексного фактора / С. Н. Девянин, А. В. Бижаев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар, Москва, 20-21 января 2021 года. - М. : Общество с ограниченной ответственностью "Сам Полиграфист", 2021. - С. 300-306.
19. Динамическая характеристика многоцелевых колёсных машин при движении по грунтовым поверхностям : учебное издание / В. В. Гуськов, В. П. Бойков, Ю. Д. Карпиевич [и др.]. - Минск : БНТУ, 2018. - 38 с.
20. Евтюков, С. А. Методы расчета скорости движения транспортного средства по фото- и видеоматериалам при реконструкции ДТП / С. А. Евтюков, И. В. Ворожейкин // Вестник гражданских инженеров. - 2022. - № 3 (92). - С. 137-145.
21. Журавлев, С. Ю. Минимизация энергозатрат при использовании машинно-тракторных агрегатов / С. Ю. Журавлев. - Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2014. - 256 с.
22. Иванов, А. Б. К вопросу определения буксования сельскохозяйственных тракторов / А. Б. Иванов, В. Е. Таркинский, В. Ю. Ревенко // Техника и оборудование для села. - 2021. - № 3(285). - С. 14-19. - DOI 10.33267/2072-9642-2021-3-14-18.
23. Исследование процесса взаимодействия ведущих колес трактора с грунтовой поверхностью / В. В. Гуськов, А. А. Дзёма, А. С. Колола и др. // Наука и техника. - 2017. - Т. 16, № 1. - С. 83-88.
24. Карабаницкий, А. П. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов : учебное пособие / А. П. Карабаницкий, О. А. Левшукова. - Краснодар : КубГАУ, 2014. - 104 с.
25. Колобов, Г. Г. Тяговые характеристики тракторов / Г. Г. Колобов, А. П. Парфенов. - М. : "Машиностроение", 1972. - 157 с.

26. Колчин, А. В. Технологическое руководство по контролю и регулировке тракторных и комбайновых дизелей при эксплуатации / А. В. Колчин, Б. Ш. Каргиев, Д. В. Доронин. - М. : ФГНУ "Росинформагротех", 2005. - 136 с.
27. Конструкция и эксплуатационные свойства ТИТТМО: Теория автомобиля : краткий курс лекций / Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т; сост.: С. П. Матяш. - Новосибирск, 2021. - 73 с.
28. Кравченко, В. А. Теория автомобилей и тракторов : учебное пособие / В. А. Кравченко, В. А. Оберемок. - Зерноград : Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия, 2015. - 324 с.
29. Кравченко, Н. С. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме : учебное пособие; издание второе / Н. С. Кравченко, О. Г. Ревинская. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - 121 с.
30. Кузнецов, Н. Г. К вопросу об определении допустимого коэффициента буксования полноприводного колесного трактора / Н. Г. Кузнецов, Д. С. Гапич, Е. В. Ширяева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2014. - Т. 34, № 2. - С. 176-179.
31. Куриленко, А. В. Методика определения скорости трактора по видеонаблюдению / А. В. Куриленко // АгроЭкоИнженерия. - 2025. - № 3(124). - С. 120-133. - DOI 10.24412/2713-2641-2025-3124-120-132.
32. Кутьков, Г. М. Трактора и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. - М. : НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 506 с.
33. Кутьков, Г. М. Тяговый расчет трактора: методические указания / Г. М. Кутьков, А. В. Богатырев. - М. : "Росинформагротех", 2017. - 80 с.
34. Кутьков, Г. М. Энергонасыщенность и классификация тракторов / Г. М. Кутьков // Тракторы и сельхозмашины. - 2009. - № 5.
35. Кятов, Н. Х. Механика грунтов : учебное пособие для вузов / Н. Х. Кятов, Р. Н. Кятов. - М. : Изд-во Юрайт, 2024. - 215 с.

36. Леонов, О. А. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для СПО / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, В. В. Карпузов. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2025. - 198 с. - ISBN 978-5-507-52961-2.
37. Лопарев, А. А. Исследование процесса буксования ведущих колес трактора МТЗ-100 в режиме трогания с места и разгона / А. А. Лопарев, А. М. Венглинский, А. С. Комкин // Тракторы и сельхозмашины. - 2014. - № 1. - С. 18-20.
38. Лопарев, А. А. Снижение буксования колесных универсально-пропашных тракторов при выполнении технологических операций / А. А. Лопарев, А. М. Венглинский, А. С. Комкин // Технология колесных и гусеничных машин. - 2014. - № 4. - С. 30-35.
39. Межотраслевые укрупненные нормы времени на ремонт тракторов (гусеничных, колесных) с тяговым усилием от 0,6 тс (6 кН) до 2 тс (20 кН) / Центральное бюро нормативов по труду. - М. : Министерство труда Российской Федерации, 1996. - 233 с.
40. Методика определения сроков и стоимости реализации инновационного проекта / В. И. Нечаев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, А. Л. Эйдис. - М. : ООО "Издательство "Триада", 2012. - 20 с.
41. Методика экспресс-анализа буксования на эксплуатационных режимах работы трактора / А. Г. Левшин, И. Н. Гаспарян, А. Алсанкари, А. Е. Бутузов // Агроинженерия. - 2022. - Т. 24, № 4. - С. 32-36.
42. Механика грунтов. Основы геотехники. Ч. 1 / Б. И. Далматов [и др.] - М. : Изд-во АСВ, 2000. - 201 с.
43. Моделирование взаимодействия шины колеса с опорным основанием опорно-ходового модуля / А. В. Скрынников, А. В. Шихин, А. А. Попов, В. Н. Сидоров // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 6(90). – С. 88-97.
44. Москвичев, Д. А. Особенности разработки компьютерной программы для систем управления тракторами сельскохозяйственного назначения на основе искусственного интеллекта / Д. А. Москвичев, Р. Т. Хакимов //

АгроЭкоИнженерия. - 2024. - № 4(121). - С. 29-37. - DOI 10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37.

45. Мочунова, Н. А. Влияние частоты колебаний тяговой нагрузки на сопротивление перекачиванию колесного трактора / Н. А. Мочунова. - Природообустройство. - 2015. - № 4. - С. 85-87.
46. Обработка результатов эксперимента : учебно-методическое пособие / сост. Попов П.В., Нозик А.А. - М. : МФТИ, 2024. - 48 с.
47. Оптимизация алгоритма управления автомобилем с гибридной силовой установкой / З. Н. Лин, А. А. Попов, В. Н. Сидоров, С. А. Голубина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – Т. 24, № 1. – С. 50-56. – DOI 10.22363/2312-8143-2023-24-1-50-56.
48. Оптический датчик скорости и длины ИСД-3. Руководство по эксплуатации САПФ.402139.07 РЭ [Электронный ресурс]. - М. : Сенсорика-М, 2025. - 25 с. - Режим доступа: <https://www.sensorika.com>.
49. Оценка функциональных характеристик тракторов тягового класса 4,0 / И. В. Грибов, А. С. Зенин, А. В. Коломейченко [и др.] // Агроинженерия. – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 53-58. – DOI 10.26897/2687-1149-2025-1-53-58.
50. Павлов, В. В. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин : учеб. для вузов / В. В. Павлов, В. В. Кувшинов. - Чебоксары : ООО "Чебоксарская типография № 1", 2011. - 424 с.
51. Панчишкин, А. П. Буксование колесного трактора в реальных условиях эксплуатации / А. П. Панчишкин, Д. С. Гапич // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях : материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 10-12 февраля 2021 года. Том II. - Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. - С. 143-148.
52. Панчишкин, А. П. Тяговый расчет трактора с использованием зависимости коэффициента буксования от реализуемого касательного

- усилия двигателями / А. П. Панчишкин, Д. С. Гапич // Сельский механизатор. - 2023. - № 7. - С. 2-4. - DOI 10.47336/0131-7393-2023-7-2-3-4.
53. Парлюк, Е. П. Менеджмент техники и технологии / Е. П. Парлюк. - М. : Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева, 2017. - 248 с.
54. Парлюк, Е. П. Экономическое обоснование и оценка проектных решений по эксплуатации и ремонту транспортно-технологических машин и комплексов / Е. П. Парлюк. - М. : Редакция журнала "Механизация и электрификация сельского хозяйства", 2019. - 144 с.
55. Плаксин, А. М. Энергетика машинно-тракторных агрегатов : учебное пособие / А. М. Плаксин. - Челябинск : ЧГАУ, 2005. - 216 с.
56. Позин, Б. М. Тяговая характеристика трактора (основы теории и расчет) : учебное пособие / Б. М. Позин, И. П. Трояновская. - Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2016. - 83 с.
57. Поливаев, О. И. Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства : учебник / О. И. Поливаев, В. П. Гребнев, А. В. Ворохобин ; под общ. ред. О. И. Поливаева. - Воронеж : ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. - 319 с.
58. Попова, С. В. Прибор для определения степени буксования колес трактора. - А.С. № 44378 от 08.01.1935 г. - 2 с.
59. Применение инерциальной навигации для определения буксования сельскохозяйственных тракторов [Электронный ресурс] / В. Ф. Федоренко, Н. П. Мишуров, Н. В. Трубицын, В. Е. Таркинский // Вестник МГУ. – 2018. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-inertsialnoy-navigatsii-dlya-opredeleniya-buksovaniya-selskohozyaystvennyh-traktorov> (дата обращения: 22.08.2024).
60. Программа "Испытания" (версия 3.4). Руководство по эксплуатации. - М. : РосНИИТиМ. - 19 с.

61. Разработка модели сельскохозяйственного технологического модульного агрегата на основе полноприводного колёсного трактора / Н. Г. Сысенко, А. И. Пономарев, В. В. Булычев, В. Н. Сидоров // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-5(82). – С. 34-42. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-34-42.
62. Растопов, С. Ф. Оптические и лазерные датчики скорости и длины / С. Ф. Растопов // Автоматизация в промышленности. - 2018. - № 4. - С. 36-38.
63. Растопов, С. Ф. Оптические и лазерные датчики скорости и длины / С. Ф. Растопов // Мир измерений. - 2018. - № 1. - С. 12-14.
64. Результаты исследования определения действительной скорости тягово-транспортного средства по видеорегистрации / О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, А. В. Куриленко, А. С. Гузалов, Н. Н. Пуляев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. - 2025. - Т. 17, № 3. - С. 90-96. - <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.56.71.012>.
65. Роботизация производства сельскохозяйственной техники / А. В. Коломейченко, М. В. Шипов, Р. Ю. Соловьев [и др.] // Технический сервис машин. – 2024. – Т. 62, № 2. – С. 20-26. – DOI 10.22314/2618-8287-2024-62-2-20-26.
66. Савочкин, В. А. Тяговая динамика колесного трактора : учебное пособие для вузов / В. А. Савочкин. - М. : МГТУ "МАМИ", 2005. - 97 с.
67. Савочкин, В. А. Тяговый расчет трактора : методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине "Теория трактора" для студентов специальности 150100 "Автомобиле- и тракторостроение" / В. А. Савочкин. - М. : МГТУ "МАМИ", 2001. - 48 с.
68. Сайкин, А. М. Перспективы развития беспилотного грузового транспорта с электротягой в условиях РФ / А. М. Сайкин // Технологии и компоненты интеллектуальных транспортных систем, Москва, 18-19 октября 2018 года. - М. : Центральный ордена Трудового Красного

Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт "НАМИ", 2018. - С. 25-39.

69. Селиванов, Н. И. Формирование инновационного тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края : научно-практические рекомендации / Н. И. Селиванов. - Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2020. - 54 с.
70. Соколов, В. В. Аппроксимация кривой буксования трактора [Электронный ресурс] / В. В. Соколов // Вестник АГАУ. - 2018. - № 9 (167). - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/approksimatsiya-krivoy-buksovaniya-traktora> (дата обращения: 19.08.2025).
71. Столбовский, А. В. Расчет погрешностей результатов измерений в табличных процессорах : учеб. пособие / А. В. Столбовский, Е. П. Фарафонтова. - Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 86 с.
72. Тихонов, А. Ф. Автоматизация строительных и дорожных машин : учебное пособие / А. Ф. Тихонов, С. Л. Демидов, А. Н. Дроздов ; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО "Моск. гос.строит. ун-т". - М. : МГСУ, 2013. - 256 с.
73. Тойгамбаев, С. К. Расчет себестоимости одного условного ремонта на примере трактора МТЗ-80 / С. К. Тойгамбаев // International Journal of Professional Science. - 2020. - № 4. - С. 87-95.
74. Тракторы: Теория : учебник / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов и др. - М. : Машиностроение, 1988. - 376 с.
75. Тяговые испытания автомобиля [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://k-a-t.ru/PM.01_mdk.01.01/7_teorija_avto_6/index.shtml (дата обращения: 22.08.2025).
76. Хакимов, Р. Т. Тяговый и топливно-экономический расчёт автомобиля : методические указания по выполнению курсового проекта / Р. Т. Хакимов, В. Т. Каширин, Р. А. Зейнетдинов. - СПб. : СПбГАУ, 2010. - 39 с.

77. Чеботарев, М. И. Обоснование ресурсного обеспечения предприятий технического сервиса АПК : учеб. пособие / М. И. Чеботарев, С. А. Дмитриев, М. Р. Кадыров. - Краснодар : КубГАУ, 2017. - 97 с.
78. Черников, О. Н. Обоснование допустимой величины буксования движителей, обеспечивающее уменьшение их вредного воздействия на почву : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : дисс. канд. техн. наук / Черников Олег Николаевич. - Кинель, 2001. - 192 с.
79. Чудаков, Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля [Электронный ресурс] / Д. А. Чудаков. - Режим доступа: <https://profspo.ru/books/144440> (дата обращения: 19.08.2025).
80. Энергоэффективность и ресурсосбережение автотракторной техники / О. Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, Н.Н. Пуляев, Н.А. Большаков // Известия Международной академии аграрного образования. - 2023. - № 67. - С. 38-43.
81. Яблонский, О. В. К совершенствованию конструкции и эксплуатации колесных сельскохозяйственных тракторов с целью работы с буксованием не выше предельно-допустимого / О. В. Яблонский // Сб. науч. тр. Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. - зерноград, 1978. - Вып. 21. - С. 114-121.
82. Яблонский, О. В. Предельное буксование ведущего колеса / О. В. Яблонский // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1974. - № 9. - С. 32-34.
83. A device to measure wheel slip to improve the fuel efficiency of off road vehicles / A. A. Kumar, V. K. Tewari, C. Gupta, C. M. Pareek // Journal of Terramechanics. – 2017. – Vol. 70. – Pp. 1-11.
84. A low-cost wheel slip measurement device for agricultural tractors / A. Mahore, H. L. Kushwaha, A. Kumar, T. K. Khura // The Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2022. – Vol. 92(3). – Pp. 334-338.

85. Abrahám, R. Comparison of tractor slip at three different driving wheels on grass / R. Abrahám, R. Majdan, R. Drlička // *Agronomy Research* 2017. – 15(4). – Pp. 1441-1454. – doi.org/ 10.15159/AR.17.001/
86. Automatic tractor slip-draft embedded control system. / C. Gupta, V. K. Tewari, A. A. Kumar, P. Shrivastava // *Computers and Electronics in Agriculture*. - 2019. - Vol. 165. - Pp. 104947.
87. Automatic wheel slip control system in field operations for 2WD tractors / P. K. Pranav, V. K. Tewari, K. P. Pandey, K. R. Jha // *Computers and electronics in agriculture*. – 2012. – Vol. 84. – Pp. 1-6.
88. Autonomous Tractors for Sustainable Farming [Электронный ресурс] / R. Sivasubramaniam, K. Ramasamy, A. Surendrakumar, D. Perumal. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/383749734_Autonomous_Tractors_for_Sustainable_Farming.
89. Burt, E. C. Load and inflation pressure effects on tyres / E. C. Burt, A. C. Bailey // *Trans. ASAE*. - 1982. - Vol. 25 (4). - Pp. 881-884.
90. Development of a deterministic autonomous tractor [Электронный ресурс] / S. Blackmore, H. W. Griepentrog, H. Nielsen, M. Nørremark, J. Resting-Jeppesen. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/257157920_Development_of_a_deterministic_autonomous_tractor.
91. Embedded digital display and warning system of velocity ratio and wheel slip for tractor operated active tillage implements / E. Nataraj, P. Sarkar, H. Raheman, G. Upadhyay // *Journal of Terra mechanics*. - 2021. - Vol. 97, - Pp. 35-43.
92. EMBEDDED SYSTEM FOR REAL-TIME MONITORING OF AGRICULTURAL TRACTORS SLIPPING AND FUEL CONSUMPTION / Delorme Corrêa Júnior, Bruno H. G. Barbosa, Aldir C. Marques Filho [et al.] // *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*. – 2024. – Vol. 44. – Pp. 20240038. – doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v44e20240038/2024>.
93. Exmor RS [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Exmor> (дата обращения: 10.09.2025).

94. Frank, M. Zoz. Traction and Tractor Performance / Frank M. Zoz, Robert D. Grisso // ASAE distinguished lecture series. Tractor Design. - 2003. - No. 27. - 48 p.
95. Influence of mass affecting tractor's rear axle and rigidity of tires on the control coefficient / G. D. Voropaev, V. N. Sidorov, K. Yu. Maksimovich [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 16–19 июня 2021 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Vol. Volume 839. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 52047. – DOI 10.1088/1755-1315/839/5/052047.
96. Influence of tractor slip on some physical properties of the soil and fuel consumption at varying tillage depths and speed / Al Aridhee, J. K., Abood, A. M., Kassar, F. H., Lysiak, G. Dakhil, // Plant Arch. - 2020. - No. 20. - Pp. 141-145.
97. Ivanov, A. B. Practical assessment of agricultural tractor wheel slip using a single-frequency GNSS receiver using direct Doppler measurements / A. B. Ivanov, D. A. Petukhov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Dushanbe, Virtual, 27-29 Oct 2021. - Dushanbe: IOP Publishing Ltd. - 2022. - Vol. 1010. - P. 012153.
98. Ivanov, A. B. The concept of a personal information system to improve the efficiency of agricultural tractor management / A. B. Ivanov, V. E. Tarkivsky, N. V. Trubitsin // Proc. SPIE. - 2022. - 12296. - P. 2643112.
99. Janulevičius, A. The slippage of the driving wheels of a tractor in a cultivated soil and stubble / A. Janulevičius, K. Giedra // Transport. – 2009. – No. 24(1). Pp 14-20.
100. Jebur, H. Study of the soil moisture content and the tractor speed on the performance efficiency of the machinery unit / H. Jebur, Y. Alsayyah // J. Agric. Vet. Sci. - 2017. - No. 10(5). Pp. 65-70.

101. Karimi, H. R. (2012) Signal Reconstruction, Modeling and Simulation of a Vehicle Full-Scale Crash Test Based on Morlet Wavelets / H. R. Karimi, W. Pawlus, K. G. Robbersmyr // *Neurocomputing*. - 2012. - Vol. 93. - Pp. 88-99.
102. Kevin, F. How to maximize surveillance camera lifespan [Электронный ресурс] / F. Kevin // *JER Technology*. - 18.06.2025. - Режим доступа: <https://jer-tech.com/how-to-maximize-surveillance-camera-lifespan/> (дата обращения: 08.07.2025).
103. Kumar, A. A. Embedded digital draft force and wheel slip indicator for tillage research / A. A. Kumar, V. K. Tewari, B. Nare // *Computers and Electronics in Agriculture*. - 2016. - Vol. 127. - Pp. 38-49.
104. Mamkagh, A. M. Effect of soil moisture, tillage speed, depth, ballast weight and used implement on wheel slippage of the tractor / A. M. Mamkagh // *A review. Asian J. Adv. Agric. Res.* - 2019. - No. 9(1). Pp. 1-7. - doi. org/ 10. 9734/ AJAAR/ 2019/ 46706.
105. Marenče, J. Effect of Transmission Type on Wheel Slip under Overload – Presented on the Example of the AGT 835 T Tractors [Электронный ресурс] / J. Marenče // *Croat. j. for. eng.* – 2014. – No. 35(2). – Pp. 221-231. – Режим доступа: <https://crojfe.com/site/assets/files/3989/marence.pdf>.
106. Markus, H. Hochdämpfende Polyurethan-Elastomere / H. Markus, S. Markus, L. Harald // *GAK Gummi Fasern Kunststoffe*. – 2020. – 471 p.
107. Measuring method of slip ratio for tractor driving wheels based on machine vision / S. Zhu, L. Wang, Z. Zhu, E. Mao, Y. Chen, Y. Liu, X. Du // *Agriculture*. - 2022. - Vol. 12(2). - Pp. 292.
108. Modular design of diesel-electric tracked tractor with high degree of automation / R. Solovyev, A. Kolomeichenko, S. Cheranov [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series, Novorossiysk, Virtual, 15–16 июня 2021 года.* – Novorossiysk, Virtual, 2021. – P. 012051. – DOI 10.1088/1742-6596/2061/1/012051.
109. Naji Mordi Naji Al-Dosary. Estimation of wheel slip in 2WD mode for an agricultural tractor during plowing operation using an artificial neural

- network / NajiMordiNaji Al-Dosary, Fai'z Mohammed Alnajjar, Abd El Wahed Mohammed Aboukarima // Natureportfolio. Scientific Reports. – 2023. – No. 13:5975. – Pp. 16. – doi.org/10.1038/s41598-023-32994-7.
110. Pranav, P. K. Digital wheel slipmeter for agricultural 2WD tractors / P. K. Pranav, K. P. Pandey, V.K. Tewari // Computers and electronics in agriculture. - 2010. - Vol. 73. - Pp. 188-193.
 111. Raheman, H. Wheel slip measurement in 2WD tractor / H. Raheman, S. Jha, J. K. // Terramech. - 2007. - No. 44(1). - Pp. 89-94. - doi. org/ 10. 1016/j. jterra.2006. 03. 001.
 112. Reed, J. Slip measurement using dual radar guns, in An ASAE/CSAE Meeting Presentation / J. Reed, P. E. Turner // ASAE, Paper. - 1993. - No. 93-1031.
 113. Reina, G. Methods for wheel slip and sinkage estimation in mobile robots / G. Reina // Robot Localization and Map Building. - 2010. - March. - Pp. 561-578. - doi: 10.5772/9279.
 114. Rovira-Más, F. Sensor architecture and task classification for agricultural vehicles and environments / F. Rovira-Más // Sensors. – 2010. – No. 10 (12). – Pp. 11226-11247. – doi:10.3390/s101211226.
 115. Saykin, A. M. The analysis of technical vision problems typical for driverless vehicles / A. M. Saykin, S. E. Buznikov, K. E. Karpukhin // Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences. - 2016. - No. 7 (4). - Pp. 2053-2059.
 116. Shropshire, G. J. A Microprocessor based Instrumentation System for Traction Studies / G. J. Shropshire, G. R. Woerman, L. L. Bashford // ASAE Paper. - 1983. - No. 83. - Pp. 1048.
 117. Sky-RouteSonyExmor [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://sky-route.ru/sony-exmor/> (дата обращения: 10.09.2025).
 118. Soylu, S. Fuzzy logic based automatic slip control system for agricultural tractors / S. Soylu, K. Çarman // Journal of Terramechanics. – 2021. – Vol. 95. – Pp. 25-32.

119. Stanley, F. R. Wheel slip in tractor operation / F. R. Stanley // J. Dep. Agric. Western Aust. Ser. - 1955. - No. 4(1). - Pp. 39-41.
120. Szegedi, A. Energy Condition of Gear Shifting under Load in Commercial Vehicles / A. Szegedi, I. Zsombok // Acta Polytechnica Hungarica. - 2024. - Vol. 21, No. 7. - Pp. 67-85.
121. Tayel, M. Y. Effect of plowing conditions on the tractor wheel slippage and fuel consumption in sandy soil / M. Y. Tayel, S. M. Shaaban, H. A. Mansour // Int. J. ChemTech Res. - 2015. - No. 8(12). - Pp. 51-159.
122. The Need for Creation of High-tech Tractors of 0.6-2 Traction Classes with High Degree of Automation / R. Solovyev, S. Cheranov, S. Karyakin [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Automobile Scientific Forum, IASF 2019 "Technologies and Components of Land Intelligent Transport Systems", Moscow, 16–18 октября 2019 года. Vol. 819. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012026. – DOI 10.1088/1757-899X/819/1/012026.
123. Theoretical study of the conditions of the maximum allowable slipping of wheel tractors / V. Bulgakov, O. Chernysh, V. Adamchuk, V. Nadykto, M. Budzanivskyi, J. Olt // Agronomy Research. - 2023. - No. 21(1). Pp. 28-38. - doi.org/10.15159/AR.23.009.
124. Zoz, F. M. Predicting tractor field performance / F. M. Zoz // Trans. ASAE. - 1972. - Vol. 15 (2). - Pp. 249-255.

Приложения

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора института механики
и энергетики имени В.П. Горячкина
д.т.н., профессор

Арженовский А.Г./
«26» 2025г.

АКТ

о внедрении результатов исследований, полученных в кандидатской диссертации ассистента кафедры тракторов и автомобилей института механики и энергетики имени В.П. Горячкина Куриленко Алексея Викторовича на тему «Разработка способа определения действительной скорости трактора видеорегистрацией опорной поверхности»

Комиссия в составе: председателя – академика РАН, д.т.н., профессора, заведующего кафедрой тракторов и автомобилей Дидманидзе О.Н. и членов комиссии: к.т.н., доцента Пуляева Н.Н., к.т.н., доцента Гузалова А.С., д.т.н., доцента Евграфова А.В. установила, что следующие материалы кандидатской диссертации аспиранта кафедры тракторов и автомобилей Куриленко А.В. внедрены на кафедре тракторов и автомобилей в учебный процесс при подготовке по направлениям 35.03.06 и 35.04.06 «Агроинженерия» и при выполнении научно-исследовательской работы по договорной теме:

- Зависимость взаимосвязи относительной касательной силы колеса с величиной буксования - при курсовом и дипломном проектировании.
- Метод определения действительной скорости трактора на основе видеорегистрации опорной поверхности - в работах по НИР.

Председатель комиссии:
академик РАН, д.т.н., профессор
заведующий кафедрой

Члены комиссии:
к.т.н., доцент

к.т.н., доцент

д.т.н., доцент

Дидманидзе О.Н.

Пуляев Н.Н.

Гузалов А.С.

Евграфов А.В.

Приложение 2. Заявление о подаче патента на изобретение

Форма № 94 ИЗ, ПМ, ПО-2016

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Федеральное государственное бюджетное учреждение

 «Федеральный институт промышленной собственности»
(ФИПС)

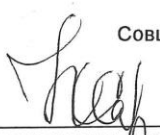
Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993

Телефон (8-499) 240-60-15 Факс (8-495) 531-63-18

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПРИЕМЕ И РЕГИСТРАЦИИ ЗАЯВКИ

05.09.2025	057860	2025124528
<i>Дата поступления</i>	<i>Входящий №</i>	<i>Регистрационный №</i>

ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНО (дата регистрации) оригинал документа, прилагаемого к заявке на выдачу патента на изобретение (заполняется Роспатентом)		(21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № (заполняется Роспатентом)	ВХОДЯЩИЙ № (заполняется Роспатентом)
ЧИСЛО ЛА17 (86) (регистрационный номер международной заявки и дата международной подачи, установленное международным ведомством) (87) (номер и дата международной публикации международной заявки) (96) (номер европейской заявки и дата ее подачи) (97) (номер и дата публикации европейской заявки)		(85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ (указывается адрес, фамилия, имя, отчество (при наличии) или полное (сокращенное (при наличии) наименование юридического лица) 127434, г. Москва, улица Тимирязевская, дом 49, РГАУ - МСХА имени К.А.Тимирязева, Управление научной и инновационной деятельности Адрес электронной почты (при наличии): Телефон (при наличии): 8 499 976 07 48 доб.3 Факс (при наличии): КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СВЯЗИ С ЗАЯВИТЕЛЕМ (ПАТЕНТООБЛАДАТЕЛЕМ) (для предоставления третьим лицам, для публикации) АДРЕС ДЛЯ СЕКРЕТНОЙ ПЕРЕПИСКИ (заполняется при подаче заявки на выдачу патента на секретное изобретение)	
ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента на изобретение		В Федеральную службу по интеллектуальной собственности (Роспатент) Бережковская наб., д. 30, корп. 1, г. Москва, Г-59, ГСП-3, 125993, Российская Федерация	
(54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ Способ определения действительной скорости мобильных средств			
(71) ЗАЯВИТЕЛЬ (указывается фамилия, имя, отчество (при наличии) физического лица или полное наименование юридического лица (основное наименование документа), адрес места жительства или адрес в пределах места нахождения, название страны и почтовый индекс) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А.Тимирязева) 127434, г. Москва, улица Тимирязевская, дом 49 ☐ изобретение создано за счет средств федерального бюджета Заявитель является: ☐ государственным заказчиком ☐ муниципальным заказчиком работ (указать полное наименование работ) ☐ исполнителем по: ☐ государственному контракту ☐ муниципальному контракту ☐ соглашению о предоставлении субсидия ☐ гранту ☐ государственному заданию ☐ инициативному заданию Заказчик работ (указать полное наименование)		ИДЕНТИФИКАТОРЫ ЗАЯВИТЕЛЯ ОГРН 1037735630697 КПП (при наличии) 771301001 ИНН (при наличии) 7713080682 СНИЛС (при наличии): ДОКУМЕНТ, удостоверяющий личность (вид, серия и номер) КОД СТРАНЫ (если он установлен) RU	

Общее количество документов в листах	22	Лицо, зарегистрировавшее документы
Из них: - количество листов комплекта изображений изделия (для промышленного образца)	0	 Совцо Ю.Д.
Количество платежных документов	1	
Сведения о состоянии делопроизводства по заявкам размещаются в Открытых реестрах на сайте ФИПС по адресу: www.fips.ru/registers-web		