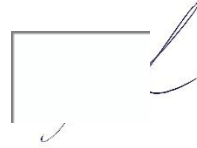


*На правах рукописи*



**Ворожейкин Игорь Вячеславович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ  
СРЕДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

Специальность: 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Евтюков Сергей Аркадьевич**

Официальные оппоненты: **Новиков Иван Алексеевич**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
транспортно-технологический институт,  
директор;

**Дорохин Сергей Владимирович**  
доктор технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, автомобильный факультет, декан;

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».**

Защита состоится «30» мая 2024 года в 11.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.05 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория № 220). Тел./Факс: (812) 316-58-73; E-mail: rector@spbgasu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/vorozheykinigor-vyacheslavovich>.

Автореферат разослан «15» апреля 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Е.В. Куракина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В 2022 году на территории Российской Федерации (РФ) зарегистрировано более 126 тыс. дорожно-транспортных происшествий (ДТП), что на 5% меньше, чем в предыдущем году, но аварийность до сих пор находится на достаточно высоком уровне. Несоблюдение скоростного режима является одной из основных причин ДТП. При проведении дорожно-транспортных экспертиз (ДТЭ) требуется установить фактическую скорость движения транспортных средств (ТС) для определения технической возможности предотвращения ДТП и дальнейшей оценки действий водителя на соответствие требованиям правил дорожного движения (ПДД). Для определения скорости движения (ОСД) ТС часто используются видеозаписи, полученные с различных средств видеосъемки, таких как дорожное видеонаблюдение и видеорегистраторы, которые получают все большее применение на территории РФ. Исследование показало, что 30% ДТП фиксируется видеозаписывающим устройством, и в 56% случаев экспертам требуется ОСД ТС по этим видеозаписям. При этом, отсутствуют единые требования к видеозаписям, по которым возможно ОСД ТС. Кроме этого, при проведении ДТЭ по видеозаписям, экспертами не всегда учитываются особенности взаимоположения видеозаписывающего устройства и ТС, все это вносит значительные погрешности в определяемые значения скорости движения ТС, как следствие, получение неверных выводов при установлении технических возможностей у участников ДТП предотвратить аварийную ситуацию. Исходя из этого становится очевидно, что необходимо совершенствование существующего метода ОСД ТС по видеозаписи, что позволит уменьшить погрешность определения фактических скоростей движения ТС в момент ДТП и повысить точность результатов ДТЭ.

**Степень разработанности темы исследования.** В области обеспечения безопасности дорожного движения, реконструкции и экспертизы ДТП большой вклад внесли такие ученые, как: А.Н. Новиков, А.Г. Шевцова, И.А. Новиков, С.В. Дорохин, С.А. Евтюков, А.И. Рябчинский, В.В. Сильянов, С.В. Жанказиев, П.А. Кравченко, Е.В. Куракина, Э.Р. Домке, А.С. Афанасьев, В.Н. Добромиров, А.В. Терентьев, В.В. Зырянов, А.В. Шемякин, Л.С. Трофимова, В.М. Курганов, В.И. Рассоха, Н.С. Захаров, Ю.В. Трофименко, Д.В. Капский, В.Ф. Бабков, В.Э. Клявин, И.Н. Пугачев, А.И. Федотов, С.С. Евтюков, Я.В. Васильев, а также зарубежные ученые: G.Ginzburg, M. Abramowski, P. Kizemien, R. Gruzewski, Z. Witkowski, J. Vrabel, L. Gardynski, J. Caban, A. Nieoczum, S. Tarkowski и другие. Анализ научных работ известных ученых показал, что ОСД ТС по видеозаписям является перспективным направлением, которое требует совершенствования.

**Цель исследования** – повышение эффективности ДТЭ за счет совершенствования метода ОСД ТС по видеозаписям.

**Задачи исследования:**

1. Определить способы достижения необходимого уровня точности определяемой по видеозаписи скорости ТС для последующего расчета скорости при ДТЭ.

2. Получить расчетные эмпирические зависимости для ОСД ТС по видеозаписям с учетом угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и осью направления движения ТС и расстояния, преодолеваемого ТС за один кадр в зависимости от частоты кадров видеозаписи.

3. Разработать уточненный метод и блок-схему процесса ОСД ТС по видеозаписям при перемещении на расстояние известной длины относительно статического видеозаписывающего устройства.

4. Разработать алгоритмы ОСД ТС при его перемещении относительно статического и динамического видеозаписывающих устройств.

**Объект исследования** – проведение ДТЭ.

**Предмет исследования** – научные подходы к ОСД ТС.

**Рабочая гипотеза** – определение и учет угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и осью направления движения ТС и использование полученных значений длин мерных объектов в зависимости от частоты кадров видеозаписи может быть использовано в ДТЭ как инструмент повышения эффективности экспертного анализа причин ДТП, за счет снижения погрешности существующего метода по ОСД ТС в различных стадиях механизма ДТП.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Способы достижения необходимого уровня точности определяемой по видеозаписи скорости ТС для последующего расчета скорости при ДТЭ.

2. Расчетные эмпирические зависимости для ОСД ТС по видеозаписи с учетом угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и осью направления движения ТС и расстояния, преодолеваемого ТС за один кадр в зависимости от частоты кадров видеозаписи.

3. Уточненный метод и блок-схема процесса ОСД ТС по видеозаписям при перемещении на расстояние известной длины относительно статического видеозаписывающего устройства.

4. Алгоритмы ОСД ТС при его перемещении относительно статического и динамического видеозаписывающих устройств.

**Научная новизна исследования:**

1. Установлены способы достижения необходимого уровня точности определяемой по видеозаписи скорости ТС для последующего расчета скорости при ДТЭ.

2. Получены эмпирические зависимости для ОСД ТС по видеозаписи с учетом угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и осью направления движения ТС и расстояния, преодолеваемого ТС за один кадр в зависимости от частоты кадров видеозаписи.

3. Разработаны уточненный метод и блок-схема процесса ОСД ТС по видеозаписям при перемещении на расстояние известной длины относительно статического видеозаписывающего устройства.

4. Разработаны алгоритмы ОСД ТС при его перемещении относительно статического и динамического видеозаписывающих устройств.

**Методология и методы исследования** основаны на анализе результативности применения существующих способов ОСД ТС при ДТП и перспективах использования для этих целей видеозаписей, экспериментальной проверке теоретических предположений с использованием нашедших широкое применение приёмов планирования эксперимента и обработки полученных данных.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в обосновании практических рекомендаций по организации процесса реконструкции ДТП при проведении ДТП с использованием видеозаписей, обеспечивающих достижение необходимого уровня точности ОСД ТС с учетом влияния различных факторов.

**Практическая значимость** в возможности применения автотехническими экспертами усовершенствованного метода ОСД ТС при проведении ДТП, обеспечивающего получение более достоверных значений скоростей движения ТС в различных стадиях механизма ДТП по видеозаписям фиксации событий реконструируемых ДТП.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, а именно: п.6 «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и п.9 «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности».

**Степень достоверности результатов** обоснована применением общепринятых методов проведения экспериментальных исследований; подтверждена экспериментальной проверкой и последующим практическим применением; обеспечена использованием апробированных методов при обработке результатов экспериментальных исследований.

**Реализация результатов исследований.** Используются в экспертной практике ООО «Деловой Эксперт», Института безопасности дорожного

движения СПбГАСУ, при подготовке обучающихся по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства и аспирантов по направлению подготовки 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта в учебной деятельности ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

**Апробация результатов.** Результаты работы представлены на следующих конференциях: 6-ой, 8-ой и 9-ой Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орёл, 2020, 2022, 2023 гг.), 14-ой и 15-ой Международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах», (Санкт-Петербург, 2020, 2022 г.), Международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» - ИИТТ (Липецк, 2022 г.), 76-ой Научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета «Архитектура – Строительство – Транспорт» СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 2022 г.).

Работа выполнена в рамках конкурса УМНИК «Автонет» 2020 г., конкурса грантов для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, 2020 г., конкурса студенческих грантов СПбГАСУ 2019 г.

**Публикации.** Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 17 печатных работах, 9 из которых приведены в научных изданиях, рецензируемых ВАК, 1 опубликована в научном журнале, индексируемом Scopus, получены 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертационной работы.** Работа изложена на 171 странице печатного текста и состоит из следующих частей: введение, четыре главы, заключение, 8 приложений, список литературы из 98 источников, а также 19 таблиц, 60 иллюстраций и 73 формулы.

*Во введении* представлены: актуальность, задачи и цели исследования, научная новизна, практическая и теоретическая значимость.

*В первой главе* выполнен анализ уровня аварийности на автомобильных дорогах РФ. В результате исследования получена динамика роста ДТП по причине нарушения участниками движения скоростного режима. Изучено влияние скорости на безопасность дорожного движения (ДД), рассмотрены методы ОСД ТС при проведении ДТЭ, а также тенденции развития видеозаписывающих устройств на дорожной сети РФ. Описаны основные возможные пути повышения уровня достоверности ОСД ТС на основе видеозаписей при проведении ДТЭ.

Во второй главе изучены методы обработки видеозаписей, используемые при проведении экспертных исследований. Рассмотрены виды геометрических искажений, способы их устранения, а также выполнены экспериментальные исследования по оценке влияния геометрических искажений на расчетное значение скорости движения ТС по видеозаписям. Изучены процедуры ОСД ТС по видеозаписям в зависимости от взаимоположения записывающего устройства и исследуемого ТС. Выполнено сопоставление расчетных значений скоростей движения ТС при переменной и постоянной частотах видеозаписей, на основании чего определено влияние режима частоты кадров на погрешность ОСД ТС по видеозаписям.

В третьей главе проведены экспериментальные исследования по ОСД ТС при перемещении последнего относительно статического и динамического видеозаписывающих устройств. Установлены факторы, оказывающие влияние на расчетное значение скорости движения ТС по видеозаписям. Определены значения длин мерных объектов в зависимости от частоты кадров видеозаписи и ее минимальное значение, при котором возможно производить расчет скорости движения ТС. Получены эмпирические зависимости для ОСД ТС по видеозаписям с учетом угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и осью направления движения ТС и расстояния, преодолеваемого ТС за один кадр в зависимости от частоты кадров видеозаписи. Разработана блок-схема процесса ОСД ТС по видеозаписи при его перемещении относительно статического видеозаписывающего устройства. Разработан алгоритм уточненного метода ОСД ТС по видеозаписи при его перемещении относительно статического видеозаписывающего устройства. Разработаны алгоритмы ОСД ТС на основе обнаружения и сегментации движущихся объектов и с учетом скорости движения видеозаписывающего устройства на основе распознавания четырехугольных объектов.

В четвертой главе выполнена оценка эффективности разработанных научных решений.

В заключении сформулированы ключевые выводы проведенной работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### **1. Способы достижения необходимого уровня точности определяемой по видеозаписи скорости ТС для последующего расчета скорости при ДТЭ**

Скорость, рассчитанная по видеозаписи ( $V_B$ ), имеет значительно меньшие отклонения в сравнении со скоростями, определенными по спидометру ( $V_C$ ) и по GPS ( $V_G$ ), от расчетного значения скорости движения ТС на экспериментальном участке ( $V_y$ ), что показано в табл. 1. Для определения  $V_y$

установлено два видеозаписывающих устройства, одно из которых в начале участка, а второе в конце. Длина данного участка 50 метров (определена лазерным дальномером GLM50, имеющим свидетельство о поверке), два видеозаписывающих устройства вели синхронную запись, а въезд и выезд исследуемого ТС на мерный участок фиксировались при помощи звукового сигнала. При каждом экспериментальном исследовании получено расчетное значение скорости движения ТС.

Таблица 1

**Сопоставление полученных значений при проведении  
экспериментальных исследований**

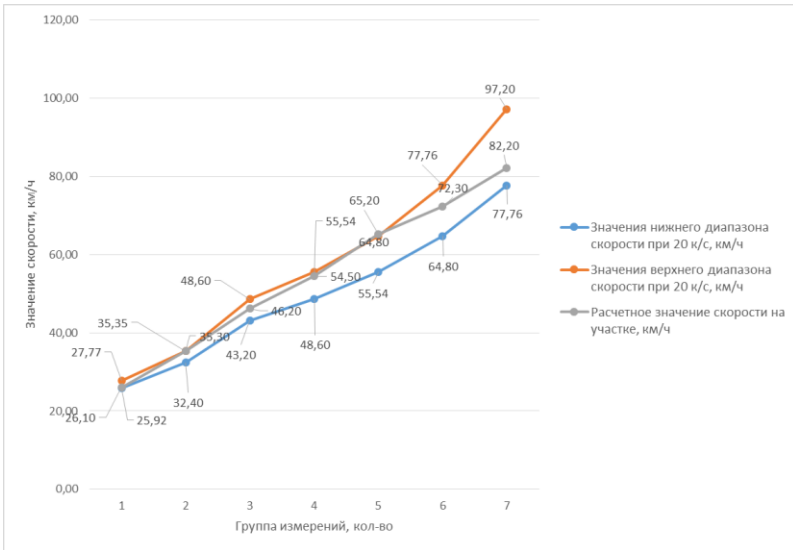
$V_y$ , км/ч	$V_G$ , км/ч	Отклоне- ние $V_G$ от $V_y$ , %	$V_c$ , км/ч	Отклонение $V_c$ от $V_y$ , %	Отклонение $V_c$ от $V_G$ , %
26,10	29,00	11,11	30,00	14,94	3,45
35,30	39,00	10,48	40,00	13,31	2,56
46,20	48,00	3,89	50,00	8,22	4,17
54,50	58,00	6,42	60,00	10,09	3,45
65,20	68,00	4,29	70,00	7,36	2,94
72,30	77,00	6,50	80,00	10,65	3,90
82,20	87,00	5,84	90,00	9,49	3,45

где  $V_y$  – рассчитанное значение скорости ТС на экспериментальном участке,  $V_G$  – скорость ТС на основании GPS,  $V_c$  – скорость ТС на основании спидометра

На основании проведенных исследований установлено, что  $V_b$  имеет наименьшее отклонение от  $V_y$  в сравнении с другими способами (спидометр, GPS) измерения данного значения скорости, при определении которыми погрешность может достигать порядка 20%, что является неприемлемым при реконструкции ДТП. На рисунках 1-2 приведены результаты сопоставлений  $V_b$  с различными значениями частот кадров в сравнении с  $V_y$ .



а)



б)

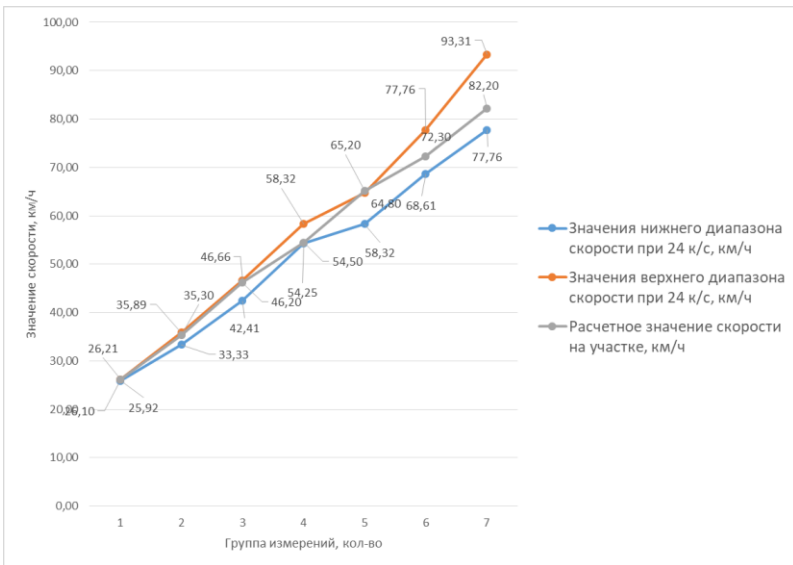
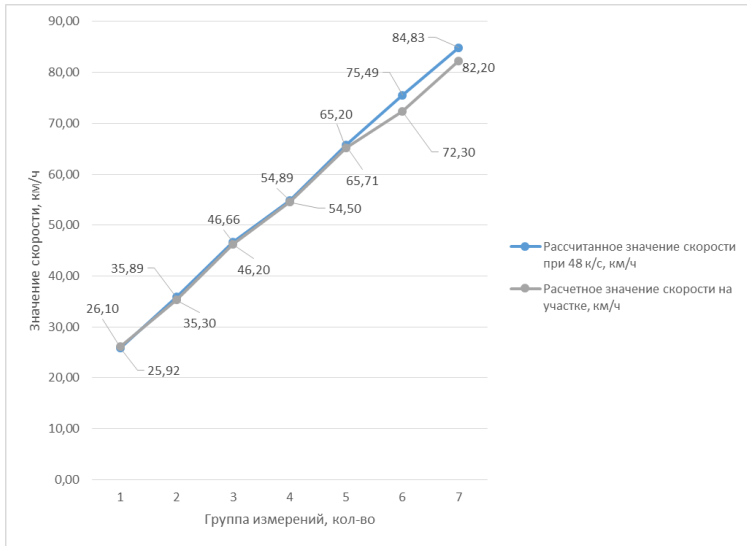


Рис. 1. Результаты сопоставлений  $V_b$  с разными частотами кадров при перемещении на расстояние колесной базы в сравнении с  $V_y$  (а – 20 к/с, б – 24 к/с)

а)



б)

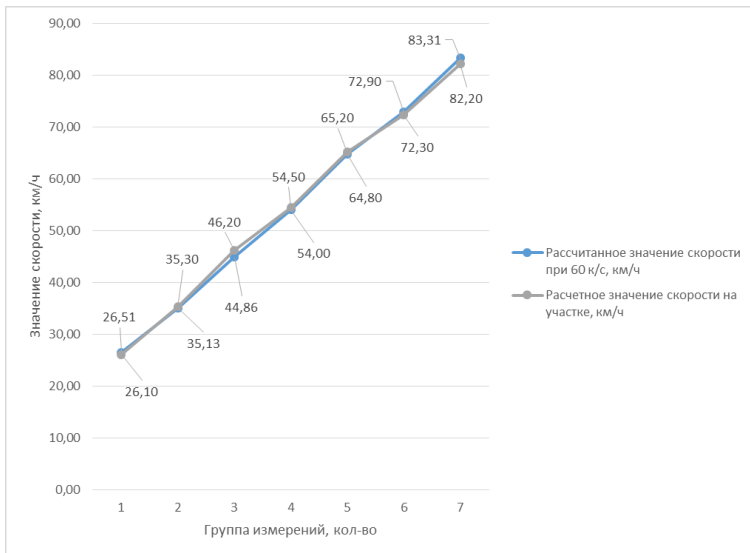


Рис. 2. Результаты сопоставлений  $V_b$  с разными частотами кадров при перемещении на расстояние колесной базы в сравнении с  $V_y$  (а – 48 к/с, б – 60 к/с)

При проведении исследований по определению влияния угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и направлением движения ТС записывающее устройство устанавливалось под разными углами относительно проезжей части. При определенном угле выполнялись заезды ТС с разными скоростями движения и частотами кадров видеозаписи. (рис. 3).

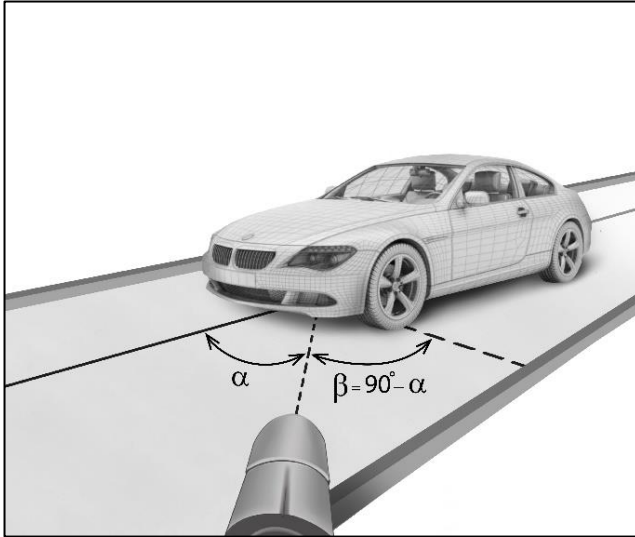


Рис. 3. Принципиальная схема установки видеозаписывающего устройства под углом относительно оси направления движения исследуемого ТС (где  $\alpha$  – угол между оптической осью видеозаписывающего устройства и направлением движения ТС;  $\beta$  – угол между осью колес и оптической осью видеозаписывающего устройства)

Уменьшение угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и направлением движения ТС способствует увеличению погрешности ОСД ТС по видеозаписи. Если данный угол составляет более  $75^\circ$ , то его влияние незначительно. Помимо этого, количество кадров, за которое ТС преодолевает мерный участок, имеет наибольшую связь с частотой кадров исследуемой видеозаписи, следовательно, чем больше будет составлять мерный объект, относительно которого перемещается исследуемое ТС, тем выше достоверность полученных значений скорости движения ТС. При этом, если частота кадров видеозаписи  $< 20$  к/с – расстояние, преодолеваемое ТС за один кадр, слишком велико, что делает невозмож-

ным фиксацию габаритных точек ТС относительно контрольных точек мерного объекта. На основании этого было установлено, что минимальная частота кадров видеозаписи, по которой возможно ОСД ТС, составляет 20 к/с. Для остальных частот кадров видеозаписей определены значения длин мерных объектов таким образом, чтобы максимальное отклонение  $V_b$  от  $V_y$  составляло не более 5%. Для этого на дорожном полотне нанесены линии с шагом 0,25 м (рис. 4, табл. 2).

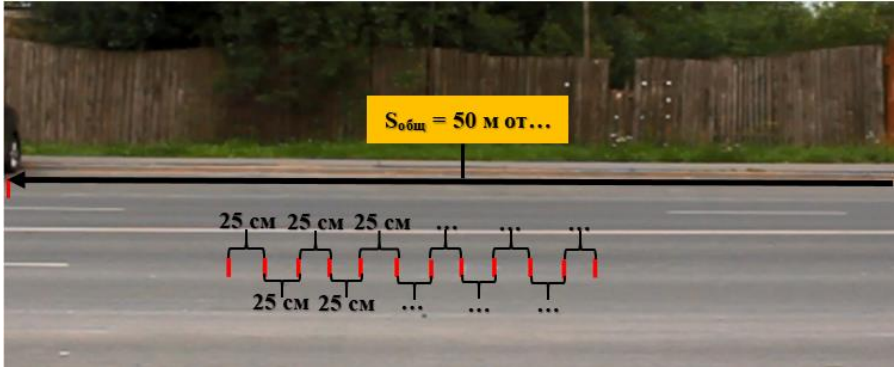


Рис. 4. Мерный участок длиной 50 м, разделенный метками с шагом 0,25 м

Таблица 2

**Значения длин мерных объектов в зависимости от частоты кадров видеозаписи**

Частота кадров видеозаписи, к/с	Длина мерного объекта, м	Минимальное количество кадров, за которое ТС должно преодолеть мерный объект, шт
20	7,75	7
24	6,50	7
25	6,25	7
30	5,25	6

**2. Расчетные эмпирические зависимости для ОСД ТС по видеозаписи с учетом угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и осью направления движения ТС и расстояния, преодолеваемого ТС за один кадр в зависимости от частоты кадров видеозаписи**

Проведенные исследования подтвердили, что точность определения скорости ТС по видеозаписи зависит от угла между осью направления движения ТС и оптической осью видеозаписывающего устройства. Следовательно, для вычисления скорости важно учитывать  $\angle\alpha$  и расстояние, преодолеваемое ТС за один кадр в зависимости от частоты кадров видеозаписи:

$$V = L_a \times \frac{f_k}{n} \times K_{af} \quad (1)$$

где  $L_a$  – длина мерного объекта;  $f_k$  – частота кадров видеозаписи;  $n$  – количество кадров, за которое ТС преодолевает длину мерного объекта;  $K_{af}$  – коэффициент, учитывающий угол между осью направления движения ТС и оптической осью видеозаписывающего устройства, и расстояние, преодолеваемое ТС за один кадр в зависимости от частоты кадров видеозаписи.

На рис. 5 показан пример определения  $\angle\beta$  при проведении экспериментальных исследований.

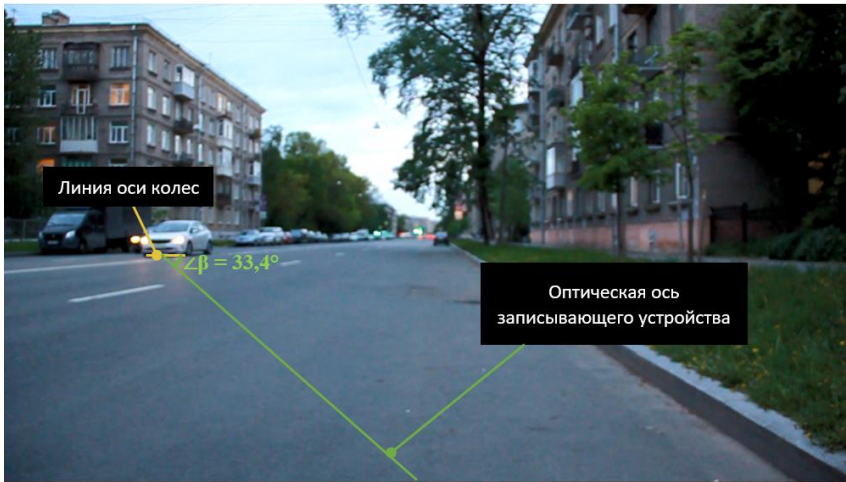
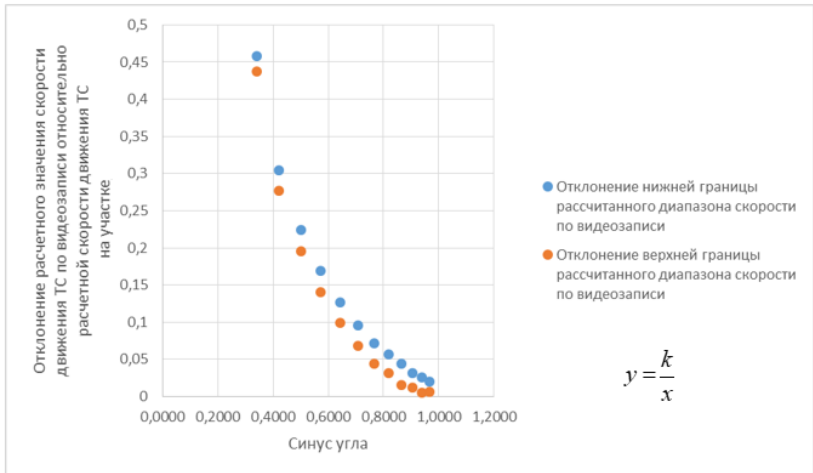


Рис. 5. Определение  $\angle\beta$  между осью колес ТС и оптической осью записывающего устройства

По результатам экспериментальных исследований получены разные значения отклонений  $V_b$  от  $V_y$  при одном и том же значении синуса угла в зависимости от частоты кадров видеозаписи (рис. 6).

а)



б)

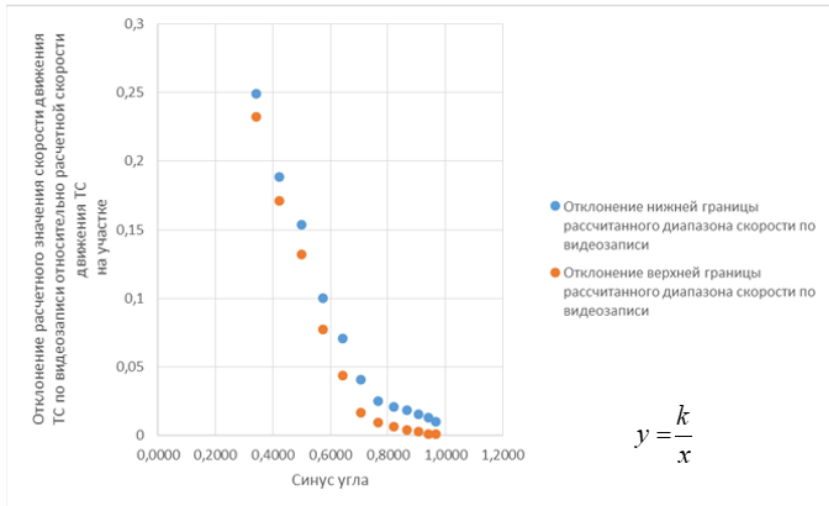


Рис. 6. Отклонение  $V_v$  в сравнении с  $V_y$  (26,1 км/ч) от угла между оптической осью видеозаписывающего устройства и направлением движения ТС (а – 20 км/с, б – 30 км/с)

Полученные зависимости подтверждают значимость многофакторных экспериментов для каждой частоты кадров видеозаписи. Уравнения регрессии получены для нижнего и верхнего значений диапазона скорости, для частот кадров видеозаписи от 20 до 30 к/с (табл. 3).

Таблица 3

### Результаты регрессионного анализа

Частота кадров видеозаписи, к/с	Достоверность аппроксимации, $R^2$	Средняя ошибка аппроксимации, %	F (критерий Фишера)
20 – нижняя граница диапазона	0,9442	4,93	625,52
20 – верхняя граница диапазона	0,9461	4,88	649,46
24 – нижняя граница диапазона	0,9489	4,11	687,07
24 – верхняя граница диапазона	0,9516	4,07	727,46
25 – нижняя граница диапазона	0,9587	3,99	858,88
25 – верхняя граница диапазона	0,9593	3,95	872,09
30 – нижняя граница диапазона	0,9681	3,51	1122,87
30 – верхняя граница диапазона	0,9622	3,43	941,83
48	0,9641	2,39	993,64
60	0,9746	1,51	1419,69

Следовательно, скорость движения ТС определяется на основании полученных уравнений в зависимости от частоты кадров видеозаписи:

при частоте кадров видеозаписи 20 к/с:

$$V = \begin{cases} 84,65 - \frac{37,24}{x_1} + \frac{414,36}{x_2} - \frac{261,75}{x_3}, & \text{если } V \rightarrow \min \\ 59,19 - \frac{33,12}{x_1} + \frac{401,41}{x_2} - \frac{93,27}{x_3}, & \text{если } V \rightarrow \max \end{cases} \quad (2)$$

где  $x_1$  – значение синуса угла  $\alpha$ ,  $x_2$  – количество кадров, за которые ТС преодолевает мерный объект, шт.,  $x_3$  – длина мерного объекта, м.

При частоте кадров видеозаписи 24 к/с:

$$V = \begin{cases} 106,14 - \frac{43,19}{x_1} + \frac{406,11}{x_2} - \frac{301,49}{x_3}, & \text{если } V \rightarrow \min \\ 115,84 - \frac{41,07}{x_1} + \frac{398,72}{x_2} - \frac{375,49}{x_3}, & \text{если } V \rightarrow \max \end{cases} \quad (3)$$

При частоте кадров видеозаписи 25 к/с:

$$V = \begin{cases} 113,27 - \frac{38,72}{x_1} + \frac{345,12}{x_2} - \frac{313,76}{x_3}, & \text{если } V \rightarrow \min \\ 99,94 - \frac{33,69}{x_1} + \frac{317,85}{x_2} - \frac{251,20}{x_3}, & \text{если } V \rightarrow \max \end{cases} \quad (4)$$

При частоте кадров видеозаписи 30 к/с:

$$V = \begin{cases} 128,98 - \frac{46,03}{x_1} + \frac{436,90}{x_2} - \frac{365,86}{x_3}, & \text{если } V \rightarrow \min \\ 121,25 - \frac{44,06}{x_1} + \frac{442,59}{x_2} - \frac{339,03}{x_3}, & \text{если } V \rightarrow \max \end{cases} \quad (5)$$

При частоте кадров видеозаписи 48 к/с:

$$V = 82,87 - \frac{31,94}{x_1} + \frac{390,56}{x_2} - \frac{113,82}{x_3} \quad (6)$$

При частоте кадров видеозаписи 60 к/с:

$$V = 132,18 - \frac{29,31}{x_1} + \frac{367,29}{x_2} - \frac{379,11}{x_3} \quad (7)$$

На основании уравнений регрессий 2-7 получены значения корректирующего коэффициента ( $K_{af}$ ), рассчитанного для разных значений длин мерных объектов, количества кадров, за которые ТС преодолевает мерный объект, а также частот кадров видеозаписи. В табл. 4 приведены полученные значения  $K_{af}$  для нижней и верхней границ диапазона скорости для длины объекта, равной 7,75 м и частоты кадров видеозаписи 20 к/с.



Таблица 4

## Значения корректирующего коэффициента для нижней и верхней границ диапазона скорости

 $K_{af}$  для нижней границы диапазона скорости

$n, шт$	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
$\sin\alpha$														
25	0,52	0,51	0,51	0,49	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,49	0,48	0,49	0,47	0,48
30	0,57	0,56	0,55	0,52	0,52	0,50	0,49	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,47
35	0,64	0,62	0,60	0,61	0,59	0,54	0,54	0,56	0,55	0,54	0,52	0,51	0,50	0,50
40	0,68	0,66	0,63	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,63	0,62	0,64
45	0,70	0,67	0,68	0,71	0,72	0,71	0,70	0,71	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72	0,71
50	0,71	0,70	0,71	0,72	0,74	0,76	0,76	0,77	0,75	0,76	0,77	0,76	0,76	0,75
55	0,72	0,72	0,73	0,75	0,78	0,80	0,81	0,81	0,80	0,81	0,82	0,81	0,82	0,82
60	0,74	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,83	0,84	0,85	0,86	0,85	0,84	0,86	0,85
65	0,79	0,80	0,80	0,81	0,83	0,84	0,84	0,84	0,85	0,88	0,88	0,89	0,90	0,92
70	0,80	0,81	0,81	0,82	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94
75	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96

 $K_{af}$  для верхней границы диапазона скорости

$n, шт$	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
$\sin\alpha$														
25	0,54	0,52	0,50	0,50	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49
30	0,59	0,58	0,57	0,55	0,53	0,50	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,45
35	0,68	0,66	0,64	0,62	0,61	0,60	0,60	0,59	0,57	0,56	0,54	0,54	0,53	0,53
40	0,74	0,72	0,71	0,70	0,68	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63
45	0,75	0,74	0,72	0,73	0,72	0,70	0,72	0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70	0,69
50	0,72	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78	0,79	0,82
55	0,76	0,73	0,74	0,75	0,76	0,79	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83	0,84
60	0,78	0,76	0,78	0,79	0,81	0,84	0,83	0,82	0,82	0,84	0,84	0,85	0,86	0,86
65	0,79	0,79	0,80	0,80	0,82	0,84	0,83	0,84	0,86	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90
70	0,80	0,80	0,81	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93
75	0,80	0,81	0,82	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,87	0,92	0,90	0,92	0,94	0,95

### **3. Уточненный метод и блок-схема процесса ОСД ТС по видеозаписям при перемещении на расстояние известной длины относительно статического видеозаписывающего устройства**

Результаты экспериментальных исследований позволили структурировать блок-схему процесса ОСД ТС по видеозаписям при перемещении на расстояние известной длины относительно статического видеозаписывающего устройства. Применение усовершенствованного метода позволяет экспертам исследовать только те видеозаписи, на которых преодолеваемое расстояние ТС за один кадр не столь значительно и возможно произвести фиксацию габаритных точек ТС относительно контрольных точек мерного объекта. Эксперты выбирают объекты, относительно которых выполняется расчет, чтобы погрешность ОСД ТС была минимальной и ТС преодолевало мерный участок за минимальное допустимое количество кадров. Это обеспечивает повышение уровня достоверности выводов при ДТЭ путем получения более точных расчетов диапазонов скоростей участников ДТП и дальнейшего определения их технических возможностей предотвратить сложившуюся ДТС. Помимо этого, блок-схема процесса ОСД ТС (рис. 7) способствует уменьшению необходимого времени для экспертов на ОСД ТС по видеозаписям. В случае отсутствия необходимого мерного участка в кадре или слишком маленького значения угла между ТС и видеозаписывающим устройством, а также невозможности использования разработанного программного обеспечения (ПО), эксперты не смогут производить расчет скорости движения ТС. Причиной этому являются недостоверные данные для ДТЭ.

Сравнение существующего метода и усовершенствованного привело к результату, позволяющему судить, находится ли изменение скорости движения ТС в причинной связи с произошедшим ДТП (табл. 5.)

В результате анализа установлено – изменение скорости движения ТС находится в причинной связи с произошедшими ДТП в 46 % рассматриваемых случаев. Этот факт подтверждает достоверность результатов исследования и получение более точных значений скорости движения ТС, и как следствие, повышение уровня объективности экспертных выводов при проведении ДТЭ.



## Оценка эффективности полученного результата с произошедшими ДТП

Вид экспертной задачи	Диапазон скорости ТС, рассчитанный существующим методом, км/ч		Диапазон скорости ТС, рассчитанный усовершенствованным методом, км/ч		Изменение $\Delta V_{\text{в}}$ в причинной связи
А1	65,38	67,76	61,01	63,34	Нет
	89,36	98,36	74,36	82,13	Да
	93,23	101,22	81,26	90,02	Да
	72,06	79,36	65,36	71,98	Нет
	68,98	77,26	60,11	69,78	Да
А2	67,36	73,21	58,36	64,11	Нет
	81,28	87,98	73,36	78,96	Да
	90,36	96,76	74,28	80,21	Да
	71,28	86,41	58,36	72,18	Нет
	71,01	76,39	67,38	72,17	Нет
А3	66,36	78,12	59,28	70,66	Да
	76,21	81,43	67,21	72,11	Нет
	58,38	67,28	54,24	63,65	Нет
	71,31	82,12	60,38	71,43	Да
	58,36	66,31	52,28	60,31	Нет

где А1 – ОСД ТС при попутном столкновении, А2 – ОСД ТС при наезде на пешехода; А3 – ОСД ТС при перекрестном столкновении

#### 4. Алгоритмы ОСД ТС при его перемещении относительно статического и динамического видеозаписывающих устройств

Зачастую при проведении ДТЭ на исследуемых видеозаписях отсутствуют объекты привязки, относительно которых требуется произвести расчет скорости движения ТС. При некоторых частотах кадров видеозаписи ОСД ТС относительно габаритной длины или колесной базы невозможно, так как границы диапазона рассчитанного значения скорости по видеозаписи будут слишком велики. Для автоматического расчета скорости движения ТС разработано ПО, выполняющее расчет скорости движения ТС на основе пикселей изображения. Эксперт интегрирует видеозапись в ПО и обозначает промежуток времени между кадрами для ОСД ТС, а также изображает область мерного объекта – колесная база (габаритная длина) ТС. Применение ПО минимизирует ошибки, но при этом скорость движения ТС возможно определить только на расстоянии до 25 метров от видеозаписывающего устройства. Интерфейс пользователя и блок-схема (алгоритм ПО) приведены на рис. 8 и 9 соответственно.

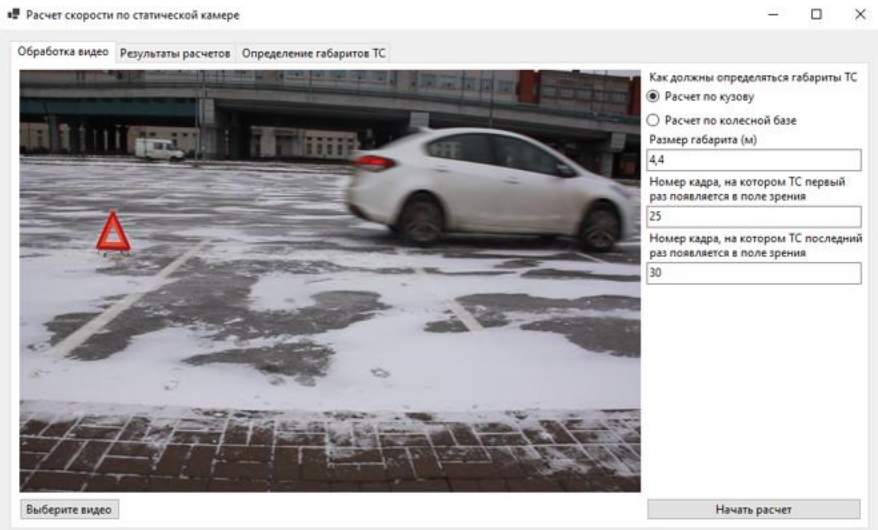


Рис. 8. Интерфейс пользователя разработанного программного обеспечения

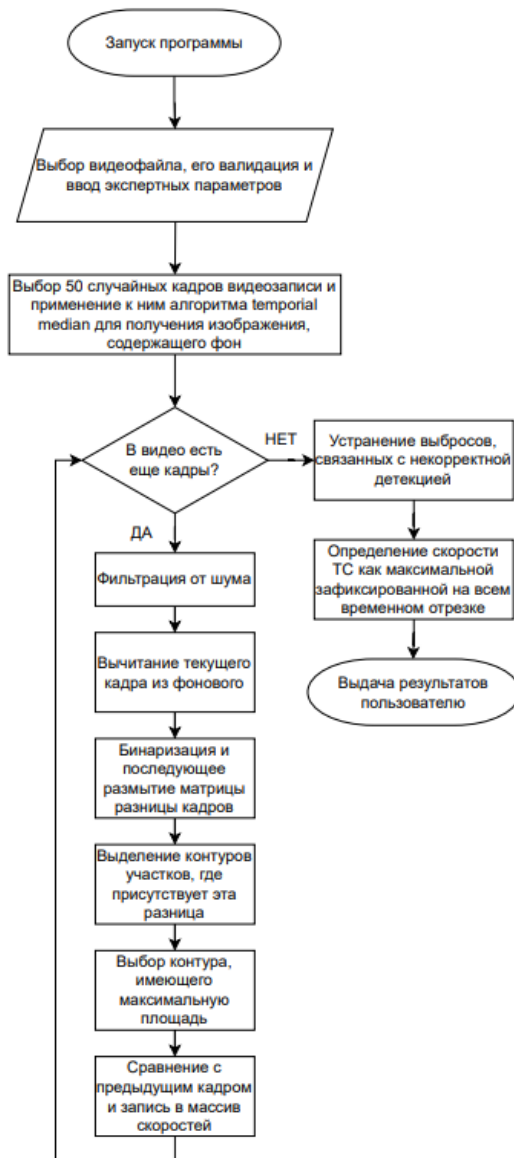


Рис. 9. Блок-схема ПО на основе обнаружения и сегментации движущихся объектов с использованием метода разделения кадров, и суммирования при перемещении ТС относительно статического видеозаписывающего устройства

Для повышения достоверности результатов ОСД ТС с учетом скорости движения видеозаписывающего устройства разработано новое решение, обеспечивающее ОСД ТС на основе распознавания четырехугольных объектов и требующее:

- детектирования ГРЗ исследуемого ТС на кадрах видеозаписи;
- вычисления расстояния от видеозаписывающего устройства до ГРЗ исследуемого ТС, размеры которого соответствуют ГОСТ Р 50577-2018.

В данном случае вычисление расстояния от видеозаписывающего устройства до ГРЗ исследуемого ТС производится по формуле:

$$d = \frac{f \times H \times h_i}{h \times H_s} \quad (8)$$

где  $f$  – фокусное расстояние, мм;  $H$  – фактический размер объекта в вертикальной плоскости, мм;  $h_i$  – высота изображения, пикс;  $h$  – высота объекта на матрице, пикс;  $H_s$  – высота матрицы сенсора, мм.

Для применения разработанного программного обеспечения требуются следующие данные:

- технические характеристики видеозаписывающего устройства;
- геометрические размеры одного из объектов, зафиксированного на кадрах видеозаписи и расстояние до него.

На рис. 10 изображена блок-схема (алгоритм ПО). Посредством разработанного программного обеспечения возможно:

- загружать исследуемую видеозапись;
- обозначать расстояние между объектами;
- вносить параметры записывающего устройства;
- обозначать геометрические размеры объектов;
- выполнять калибровку видеозаписи;
- задавать временной интервал.

Эксперт обозначает ГРЗ исследуемого ТС путем выделения его границ линиями на кадрах видеозаписи, в результате получает значение скорости исследуемого ТС на заданном временном участке.

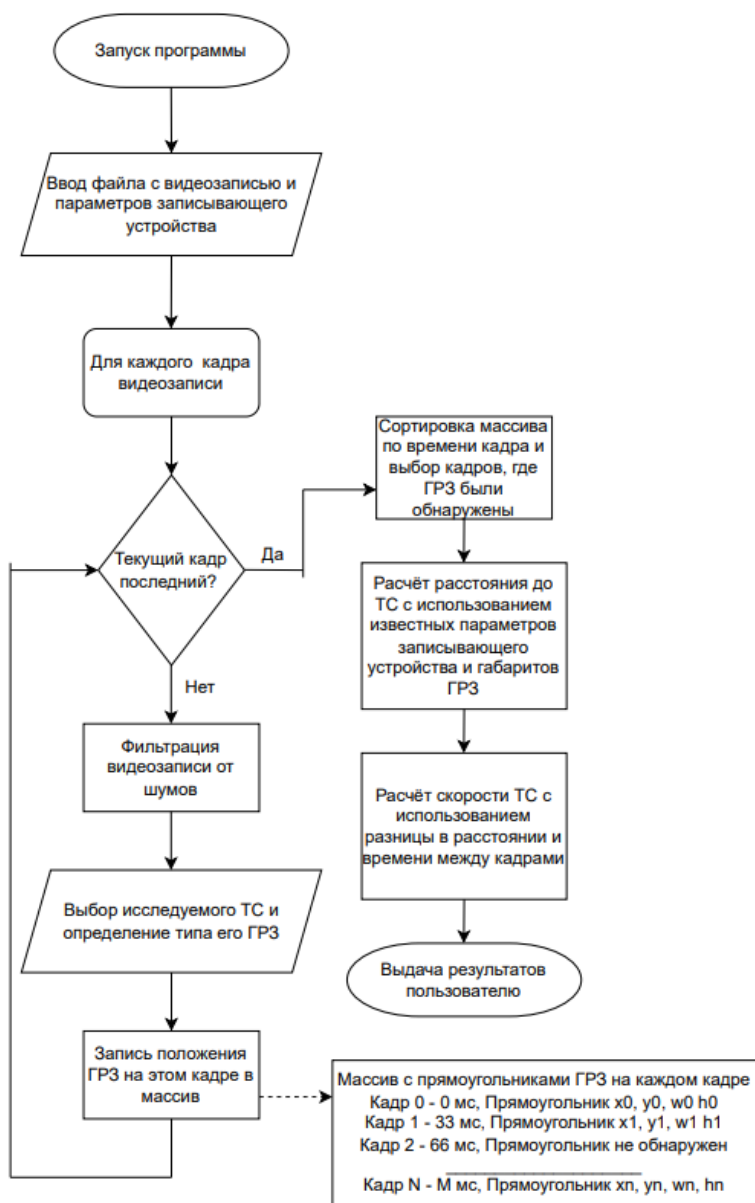


Рис. 10. Блок-схема ПО на основе учета скорости движения записывающего устройства и распознавания четырехугольных объектов



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования были получены следующие результаты:

1. Установлено, что увеличение значения частоты кадров способствует снижению уровня погрешности при ОСД ТС по видеозаписи в среднем на 14%.

2. Экспериментально определены значения длин мерных объектов в зависимости от частоты кадров видеозаписи и ее минимальное значение, при котором возможно производить расчет скорости движения ТС.

3. Разработаны и обоснованы эмпирические зависимости, обеспечивающие снижение погрешности в среднем на 15-20% расчетного значения скорости движения ТС по видеозаписи при его нахождении под углом относительно оптической оси статического видеозаписывающего устройства при проведении ДТЭ.

4. Усовершенствован метод и разработана блок-схема процесса ОСД ТС при перемещении относительно объекта известной длины при нахождении видеозаписывающего устройства в статическом состоянии, позволяющие сократить трудозатраты экспертов на 16% и повысить производительность на 18% при проведении ДТЭ.

5. Разработаны алгоритмы ОСД ТС на основе обнаружения и сегментации движущихся объектов, и по ОСД ТС с учетом скорости движения записывающего устройства на основе распознавания ГРЗ.

## СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Ворожейкин И.В. Совершенствование метода определения скорости движения ТС по видеоматериалам при проведении дорожно-транспортных экспертиз / Грузовик. – 2023. – № 9. – С. 28–33. (0,6 п.л.).

2. Ворожейкин И.В. Методы расчета скорости движения ТС по фото- и видеоматериалам при реконструкции ДТП / И. В. Ворожейкин, С. А. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 3. – С. 137–145. (0,5 п.л./0,3 п.л.)

3. Ворожейкин И.В. Совершенствование метода определения скорости движения ТС по видеоматериалам при проведении дорожно-транспортных экспертиз / И. В. Ворожейкин, С. А. Евтюков, С. С. Евтюков // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3–5. – С. 92–99. (0,5 п.л./0,3 п.л.).

4. Ворожейкин И.В. Применение методов расчета скорости движения ТС по фото- и видеоматериалам при реконструкции ДТП / И. В. Ворожейкин, С. А. Евтюков // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-2. – С. 95–103. (0,5 п.л./0,3 п.л.).

5. Ворожейкин И.В. Совершенствование метода определения расстояния между транспортными средствами по фотографическим снимкам при реконструкции ДТП / И. В. Ворожейкин, С. А. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 1. – С. 140–148. (0,5 п.л./0,3 п.л.).

6. Ворожейкин И.В. К вопросу определения расстояния до объекта по фотографическим снимкам при реконструкции ДТП / И. В. Ворожейкин, С. А. Евтюков, С. С. Евтюков // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 2. – С. 63–69. (0,4 п.л./0,2 п.л.).

7. Ворожейкин И.В. Методологический подход к формированию и оценке системы автоматизированного контроля транспортных средств / И. В. Ворожейкин, М. А. Керимов, Р. Н. Сафиуллин // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1. – С. 246–252. (0,4 п.л./0,2 п.л.).

8. Ворожейкин И.В., Обоснование выбора средств автоматической фиксации контроля нарушений правил дорожного движения / И. В. Ворожейкин, А. В. Марусин, Ю. Г. Котиков // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 6. – С. 238–241. (0,3 п.л./0,1 п.л.).

9. Ворожейкин И.В. Перспективные технические решения контроля движения транспортных средств при перевозках / И. В. Ворожейкин, А. В. Марусин, И. К. Данилов, А. В. Марусин // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6. – С. 285–291. (0,4 п.л./0,2 п.л.).

### **Программы для ЭВМ, имеющие государственную регистрацию**

1. Ворожейкин И.В., Евтюков С.А., Евтюков С.С. Определение скорости движения автомобиля по видеозаписи, движущегося относительно статического запи-сывающего устройства: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663850: дата гос. регистрации: 28.06.2023.

2. Ворожейкин И.В. Программный продукт для выполнения автотехнической экспертизы на основе фото и видеоматериалов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: 2023614579: дата гос. регистрации: 02.03.2023.

### **В изданиях, индексируемых в Scopus**

1. I. Vorozheikin. Digital Technologies and Complexes for Provision of Vehicular Traffic Safety / I. Vorozheikin, A. Marusin, I. Danilov, A. Marusin. // Proceedings of the International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure, 2019, ISBN 978-94-6252-799-7 DOI 10.2991/icdtli-19.2019.67 (0,2 п.л./0,3 п.л.).

### **Публикации в других изданиях**

1. Ворожейкин И.В. Применение методов расчета скорости движения ТС по фото- и видеоматериалам при реконструкции ДТП / И. В. Ворожейкин, С. А. Евтюков // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» – ИИТТ. – Липецк: Изд-во Липецкого гос. техн. ун-та, 2022. – С. 33–39 (0,4 п.л./0,2 п.л.).

2. Ворожейкин И.В. Совершенствование контрольных функций средств автоматической фотовидеофиксации административных нарушений автомобильного транспорта / И. В. Ворожейкин, М. А. Керимов, Р. Н. Сафиуллин // Материалы X международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д.т.н., профессора Л.Г. Резника. – Тюмень: Изд-во Тюменского инд. ун-та, 2017. – С. 387–393 (0,4 п.л./0,2 п.л.).

3. Ворожейкин И.В. Сущность функционирования средств автоматической фотовидеофиксации контроля нарушений правил дорожного движения как фактор обеспечения безопасности дорожного движения / И. В. Ворожейкин, А. В. Марусин // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий». – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. лес.техн. ун-та, 2016. – С. 294–299 (0,4 п.л./0,2 п.л.).

4. Ворожейкин И.В. Перспективы развития автоматизированной системы фотовидеофиксации административных нарушений в РФ с целью создания информационно-аналитической системы взаимодействия с интеллектуальными бортовыми транспортными системами / И. В. Ворожейкин, Р. Н. Сафиуллин // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий». – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. лес.техн. ун-та, 2016. – С. 342–346 (0,2 п.л./0,1 п.л.).

5. Ворожейкин И.В. Анализ зависимости выявляемых административных правонарушений средствами автоматической фотовидеофиксации на снижение аварийности / И. В. Ворожейкин, А. В. Марусин, Д. И. Кононенко // Сборник трудов по результатам конференции АМФ СГТУ. - Саратов: Изд-во Саратовского гос. техн. ун-та, 2016. – С. 334–339. (0,4 п.л./0,2 п.л.).

---

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 22.03.2024. Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ . Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ 35.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А