

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16267>

EDN: LEIXOB



Экспертные методы установления скорости движения автотранспортного средства в момент столкновения его с пешеходом: современное состояние вопроса (обзор)

А.Ю. Вавилов¹, Д.Н. Васильев², М.И. Тимерзянов²

¹ Ижевская государственная медицинская академия, Ижевск, Россия;

² Республиканское бюро судебно-медицинской экспертизы, Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Знание скорости транспортного средства в момент столкновения его с пешеходом необходимо сотруднику органов следствия и дознания, для того чтобы юридически верно интерпретировать действия водителя в дорожно-транспортном происшествии и факторы, к нему приведшие. Вместе с тем существует лишь небольшое число объективных методов установления скорости движения автомобиля, применимых в экспертной практике.

В статье на основе анализа современной отечественной и зарубежной литературы приведён анализ состояния указанной проблемы. Существующие методы рассмотрены в соответствии с главным принципом, положенным в основу каждого из них. Показано, что объективная оценка скорости транспортного средства в момент столкновения с неподвижной преградой (пешеходом) представляет сложную задачу, требующую применения множества разнообразных подходов, обладающих различной степенью применимости. Сделан вывод о необходимости проведения дальнейших исследований в области «морфологической» диагностики условий и обстоятельств дорожно-транспортных происшествий, связанных со столкновением движущегося автомобиля со стоящим пешеходом, с учётом актуальных конструктивных особенностей современных автотранспортных средств. Это будет способствовать не только всесторонней объективизации расследования дорожно-транспортных происшествий, но и дальнейшему развитию судебно-медицинской науки.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие; автомобиль; пешеход; столкновение; скорость; диагностика; обзор.

Как цитировать:

Вавилов А.Ю., Васильев Д.Н., Тимерзянов М.И. Экспертные методы установления скорости движения автотранспортного средства в момент столкновения его с пешеходом: современное состояние вопроса (обзор) // Судебная медицина. 2025. Т. 11, № 2. С. 155–165. DOI: 10.17816/fm16267 EDN: LEIXOB

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16267>

EDN: LEIXOB

Expert Methods for Determining the Speed of a Vehicle at the Moment of Collision With a Pedestrian: Current State of the Issue (A Review)

Alexey Yu. Vavilov¹, Dmitriy N. Vasilev², Marat I. Timerzyanov²¹ Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, Russia;² Republican Bureau of Forensic Medical Examination, Kazan, Russia

ABSTRACT

Knowing the vehicle's speed at the moment of collision with a pedestrian is essential for investigators and law enforcement officers to lawfully and accurately interpret the driver's actions and contributing factors during a traffic accident. However, only a few objective methods for determining vehicle speed are applicable in expert practice.

This article examines the current state of this issue based on a review of contemporary Russian and international scientific sources. Existing methods are examined based on their core principle. It is shown that objective assessment of a vehicle's speed at the moment of impact with a stationary obstacle (a pedestrian) is a complex task that requires the use of several approaches with varying degrees of applicability. Further research is needed into the morphological analysis of the conditions and circumstances of traffic accidents involving a moving vehicle and a stationary pedestrian, taking into account the design features of modern vehicles. This will contribute not only to a more thorough and objective investigation of road traffic accidents, but also to the advancement of forensic medicine.

Keywords: traffic accident; vehicle; pedestrian; collision; speed; diagnostics; review.

To cite this article:

Vavilov AY, Vasilev DN, Timerzyanov MI. Expert Methods for Determining the Speed of a Vehicle at the Moment of Collision With a Pedestrian: Current State of the Issue (A Review). *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2025;11(2):155–165. DOI: 10.17816/fm16267 EDN: LEIXOB

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16267>

EDN: LEIXOB

机动车在与行人碰撞瞬间行驶速度的鉴定方法：问题的现状综述

Alexey Yu. Vavilov¹, Dmitriy N. Vasilev², Marat I. Timerzyanov²

¹ Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, Russia;

² Republican Bureau of Forensic Medical Examination, Kazan, Russia

摘要

在机动车与行人发生碰撞的道路交通事故中，明确碰撞瞬间的车辆行驶速度对侦查和调查人员依法准确判断驾驶员行为及事故成因具有重要意义。然而，目前适用于鉴定实践的客观测定车辆速度的方法数量有限。

本文基于对俄罗斯及国外文献的综合分析，评述了该问题的研究现状。现有方法根据各自所依据的基本原理进行了分析。研究指出，客观评估车辆在与静止障碍物（如行人）碰撞时的速度是一个复杂任务，需综合运用多种适用性不同的方法。指出有必要在“形态学”诊断领域开展进一步研究，以考虑现代机动车的结构特点，明确与静止行人碰撞的道路交通事故的条件与情形。这不仅有助于实现交通事故调查的全面客观化，也将推动法医学研究的进一步发展。

关键词：道路交通事故；机动车；行人；碰撞；速度；鉴定方法；审查。

引用本文：

Vavilov AY, Vasilev DN, Timerzyanov MI. 机动车在与行人碰撞瞬间行驶速度的鉴定方法：问题的现状综述. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2025;11(2):155–165. DOI: 10.17816/fm16267 EDN: LEIXOB

收到: 07.03.2025

接受: 27.05.2025

发布日期: 25.07.2025

ВВЕДЕНИЕ

Судебно-медицинская экспертиза лиц, пострадавших в результате дорожно-транспортного происшествия — как живых, так и погибших, — неотъемлемая часть практической деятельности судебно-медицинского эксперта.

Использование специальных познаний является одним из основных путей объективизации предварительного расследования, а также получения и расширения его доказательственной базы [1]. Именно поэтому своевременное и качественное выполнение экспертного исследования на всех его этапах имеет важное значение для решения большого числа вопросов следствия, ответы на которые позволяют восстановить дорожно-транспортную ситуацию и разобраться в обстоятельствах гибели человека. Разрешение таких следственных задач, как установление причины смерти, определение связи выявленных телесных повреждений с произошедшим дорожно-транспортным происшествием, а также дифференциация конкретного вида травматизма (автотравма или иное повреждение), как правило, не вызывает затруднений у судебно-медицинского эксперта, в связи с наличием большого количества специальной научной литературы и высоким уровнем развития судебно-медицинской науки [1].

Намного сложнее обстоят дела в случае необходимости определения скорости автомобиля в момент дорожно-транспортного происшествия. Особенно важным этот вопрос представлен в случаях столкновения движущегося автомобиля со стоящим пешеходом, поскольку нередко оно сопровождается гибелью последнего, а второй участник происшествия, являясь лицом, заинтересованным в результатах следствия, может попытаться уйти от ответственности путём введения следователя в заблуждение, занижая реальные показатели скорости автомобиля в своих показаниях.

Актуальность указанной проблемы подтверждается результатами официальной статистики Российской Федерации. Так, по данным Государственного доклада 2023 года¹, 25% (3543) погибших в различных дорожно-транспортных происшествиях были пешеходами. При этом 2/3 всех погибших (63,7%) скончались на местах происшествий до прибытия бригады скорой медицинской помощи. Кроме того, каждый четвёртый пострадавший пешеход — ребёнок.

Задача правильного и объективного установления всех обстоятельств происшествия дополнительно усложняется ещё и тем фактом, что его продолжительность, как правило, исчисляется долями секунд — в среднем 0,729 с [2, 3]. В связи с этим, даже при наличии очевидцев на месте происшествия, их показания могут содержать заблуждения, обусловленные психическими особенностями восприятия,

а также спецификой условий дорожно-транспортного происшествия, такими как уровень освещённости дороги, расстояние до объекта, погодные условия, степень личной вовлечённости в происходящее. При этом представляемая очевидцами информация зачастую воспринимается ими как абсолютно достоверная, несмотря на возможную её неточность [4]. Так, во время первого зафиксированного дорожно-транспортного происшествия со столкновением автомобиля и пешехода, приведшего к его гибели, в Лондоне в 1896 году, очевидцы утверждали, что автомобиль двигался с огромной, небывалой скоростью, однако фактически его движение не превышало 8 миль/ч (12,8 км/ч) [5].

Именно поэтому показания очевидцев невозможно учитывать в качестве источника объективной информации и, в свою очередь, они требуют обязательного подтверждения. В связи с этим для успешного расследования дорожно-транспортного происшествия важное значение приобретает правильное определение скорости движения автомобиля в момент столкновения с пешеходом, установленное с помощью доказательных методов исследования [4].

Для решения указанного вопроса используют данные автотехнической экспертизы. Однако разработано небольшое количество судебно-медицинских методов, кроме того, они изложены в различных научных публикациях, что затрудняет их поиск и практическое использование.

Указанное обстоятельство было основанием для выполнения настоящего литературного обзора, проведённого с целью сбора и систематизации накопленных научных данных, практически применимых в условиях судебно-медицинских экспертиз для объективного определения скорости автотранспортного средства в случаях столкновения его со стоящим пешеходом.

Методология поиска данных

Поиск актуальной литературы осуществляли в электронных базах данных Medline (поисковая система PubMed) и Scopus. Запросы формировали с использованием ключевых слов:

- «car speed determination» (43 966 публикаций);
- «car speed during car accident» (11 776 публикаций);
- «vehicle speed during collision» (10 840 публикаций);
- «car speed road traffic accidents» (5751 публикаций);
- «car-pedestrian collision» (80 публикаций).

Каждый список просматривали на предмет выявления в нём статей, имеющих непосредственное отношение к рассматриваемой теме. Выявленные публикации изучали в варианте полнотекстового доступа (при наличии такового). При невозможности его получить, статью исключали из рассмотрения, поскольку её доступная аннотация не содержит интересующую нас информации

¹ Государственный доклад о состоянии безопасности дорожного движения в Российской Федерации [презентация]. Москва: ГУОБДД МВД России Научный центр БДД МВД России, 2023. Режим доступа: <https://госавтоинспекция.рф/original/downloads/gd2023.pdf.pdf> Дата обращения: 15.02.2025.

в виде описания конкретных методик определения скорости транспортного средства в момент столкновения его с пешеходом и соответствующих формул, используемых для расчёта.

Поиск отечественной литературы проводили с помощью поисковой системы eLibrary. В качестве поисковых запросов использованы следующие ключевые слова:

- «скорость автомобиля» (104 288 публикаций);
- «определение скорости автомобиля» (89 612 публикаций);
- «автомобильная травма» (16 872 публикаций);
- «наезд автомобиля» (11 192 публикаций);
- «повреждения пешехода при наезде» (2431 публикаций).

Кроме того, изучена литература научной библиотеки Ижевской государственной медицинской академии (через электронный научный абонемент библиотеки) и фонд научной литературы кафедры судебной медицины с курсом судебной гистологии факультета повышения квалификации и профессиональной переподготовки указанной медицинской академии. Изучение осуществляли способом, аналогичным тому, который использовали при исследовании зарубежной литературы.

В результате анализа литературных данных выявлены и систематизированы методы определения скорости движущегося автомобиля в момент столкновения его со стоящим пешеходом, которые, по нашему мнению, могут найти своё применение в практике судебно-медицинских экспертиз.

Для удобства все методы, описываемые в настоящем обзоре, мы условно распределили по группам в зависимости от особенностей, определяющих их основную характеристику. Полагаем, что такое деление способствует целям систематизации представляемой информации, облегчая её восприятие и последующее практическое использование.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ СЛЕДОВ ТОРМОЖЕНИЯ

В случае, когда в материалах дела зафиксированы сведения о наличии следов торможения автомобиля и их длине, возможно провести расчёт скорости его движения перед столкновением [6]. Однако необходимо отметить, что указанным методом можно установить только минимальную скорость автомобиля непосредственно перед его затормаживанием, а важнейшим условием, обеспечивающим возможность расчёта, является наличие объективной информации, позволяющей определить расход кинетической энергии транспортного средства с момента его затормаживания до полного прекращения движения [7].

В изученной литературе мы выявили девять методик расчёта скорости автомобиля по следам торможения [8], достаточно давно и успешно применяемых, однако только одна из них позволяет вычислить скорость движения

автомобиля в момент столкновения его с неподвижной преградой:

$$S_T = S_{IO} + \frac{V_a \times T_3}{7,2}, \quad (1)$$

где S_T — путь, пройденный транспортным средством с момента его затормаживания до столкновения с препятствием, м; S_{IO} — продолжительность тормозного следа (юза), м; V_a — скорость движения транспортного средства перед его затормаживанием, км/ч; T_3 — время нарастания замедления при экстренном торможении, с;

$$V_y = \sqrt{V_a^2 - 25,92 \times S_T \times j}, \quad (2)$$

где S_T — путь, пройденный транспортным средством с момента его затормаживания до столкновения с препятствием, м; V_a — скорость движения транспортного средства перед его затормаживанием, км/ч; j — замедление при торможении автомобиля, м/с²; V_y — скорость автомобиля в момент столкновения с преградой, км/ч.

Для выполнения расчёта в данном случае специалист должен обладать определёнными достоверными сведениями, полученными непосредственно с места дорожно-транспортного происшествия. Необходимы значения расстояния (S_T), которое транспортное средство преодолело с момента затормаживания до момента столкновения с неподвижным препятствием, и собственно длина следов торможения (S_{IO}) [8].

Другим математическим выражением, также учитывающим длину следов торможения для расчёта скорости транспортного средства перед столкновением, является следующее [9, 10]:

$$V = \sqrt{254 \times \varphi \times S}, \quad (3)$$

где V — скорость транспортного средства перед столкновением с преградой, км/ч; 254 — коэффициент перевода скорости из транспортного средства; φ — коэффициент сцепления колеса и дорожного покрытия; S — тормозной путь, м.

При этом методе расчёта не принимают во внимание ни модель автомобиля, ни его массу и распределение её по осям. Однако подобные расчёты будут достоверны только при условии, что все колёса автомобиля оснащены тормозами, торможение осуществляется непрерывно до полной остановки и происходит строго в горизонтальной плоскости. Применение данной формулы для определения скорости при столкновении с пешеходом возможно только в случаях, когда энергия, поглощаемая последним, незначительна [9, 10].

Тем не менее представленные способы не являются совершенными, а ограничения возможности их применения детерминированы как конструктивными особенностями актуальных транспортных средств, так и конкретной дорожно-транспортной ситуацией. В частности, если автомобиль оборудован антиблокировочной системой

тормозов, которая в последние годы является обязательным условием безопасной эксплуатации автомобиля, тормозной след на месте происшествия может отсутствовать. Кроме того, если дорожное покрытие влажное или имеет наложения снега, тормозной след может не отобразиться. Продолжительные и интенсивные атмосферные осадки, а также другие участники дорожного движения при его осуществлении на участке местности с дорожно-транспортным происшествием могут уничтожить его следы. Наконец, водитель автотранспортного средства может просто не затормаживать его перед столкновением [6]. Учитывая вышесказанное, в таких ситуациях расчёт скорости движения автомобиля становится невозможным, поскольку будут отсутствовать числовые значения параметров, используемых при вычислении.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО ДЕФОРМАЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ

Метод основан на физических законах теории удара и зависит от геометрии элементов автомобиля, механических свойств его материалов, а также характера и степени деформаций, возникших в результате столкновения. При этом он применим только в отношении собственно автомобиля [11].

Важнейшим условием расчёта скорости транспортного средства в момент столкновения является возможность определения величины затрат кинетической энергии, высвобождаемой при ударе, на деформацию деталей и узлов транспортного средства, что, в свою очередь, устанавливают на основании характера механических повреждений, полученных при ударе о препятствие. Если указанное условие выполняется, скорость автомобиля перед столкновением с препятствием можно рассчитать с помощью следующей формулы [11]:

$$V = 0,5t_3 \times j + \sqrt{2S \times j + \frac{2U}{m - \Delta m} + 19,5 \times \varphi \times S}, \quad (4)$$

где V — скорость транспортного средства перед столкновением с преградой, км/ч; U — потенциальная энергия деформации кузовных деталей и узлов транспортного средства, %; m — масса автотранспортного средства, кг; Δm — часть массы автотранспортного средства, не влияющая на изменение его кинетической энергии при ударе, кг; φ — коэффициент сцепления колёс с дорожным покрытием; S — длина траектории движения центра масс автомобиля после столкновения, м; t_3 — время нарастания замедления при экстренном торможении автотранспортного средства в исследуемых дорожных условиях, с; j — установившееся максимальное замедление при экстренном торможении автотранспортного средства в исследуемых дорожных условиях, м/с².

Как и предыдущий, рассматриваемый метод расчёта скорости транспортного средства в момент столкновения

его с преградой, имеет определённые недостатки. Важнейшим из них является необходимость наличия точных сведений о геометрической форме элементов кузова автомобиля перед их деформацией при столкновении с преградой, а также знание их жёсткости и величины коэффициента восстановления после удара. Указанное условие очень сильно ограничивает применимость метода, поскольку точное знание данных параметров возможно только в отношении абсолютно нового автомобиля. В случае, если транспортное средство подверглось коррозии вследствие длительной эксплуатации либо ранее участвовало в дорожно-транспортных происшествиях с последующим восстановлением деформированных кузовных элементов, применение метода становится невозможным, поскольку установить изменения прочностных характеристик конструкции на практике крайне затруднительно [11].

МЕТОДЫ ВИДЕОФИКСАЦИИ

Использование методов видеофиксации стало возможным в связи с широким распространением камер внешнего наблюдения, личных автомобильных видеорегистраторов и камер мобильных телефонов, с помощью которых очевидцы фиксируют дорожно-транспортные происшествия. Исследование записей приборов видеофиксации позволяет применять прямой способ определения скорости автомобиля, основанный на непосредственном восприятии видеоизображения дорожно-транспортного происшествия на основе законов динамики фиксируемого процесса [12].

Практический расчёт скорости движения автомобиля производят с помощью вычисления его перемещения на расстояние своей длины. Для этого, используя имеющуюся видеозапись, необходимо определить модель автомобиля и установить его технические характеристики (длина автотранспортного средства). В последующем, анализируя видеозапись, выбирают такой её фрагмент, на котором движущееся автотранспортное средство пересекает какой-то неподвижный объект — ориентир. Непременным условием его выбора является возможность установления точных размерных характеристик, поскольку дальнейшие действия эксперта осуществляются именно за счёт соотношения перемещения движущегося автотранспортного средства относительно выбранного неподвижного объекта. Определяют количество кадров, за которое движущийся автомобиль полностью пересекает ориентир, и, исходя из частоты кадров в видеозаписи, рассчитывают скорость движущегося транспортного средства [12]:

$$V = L \times \frac{f_k}{n}, \quad (5)$$

где V — скорость транспортного средства перед столкновением с преградой, км/ч; L — длина транспортного

средства, m ; f_k — частота кадров видеозаписи; n — количество кадров видеозаписи, за которое транспортного средства перемещается на свою длину.

Модификацией указанного метода является расчёт скорости автомобиля с учётом анализа видеозаписи личного автомобильного видеорегистратора [13]. В данном варианте путём визуального анализа видеозаписи необходимо зафиксировать движение автомобиля между двумя стационарными объектами:

- объект № 1 — может быть как предметом дорожной инфраструктуры, так и стоящим автомобилем или деревом у обочины проезжей части;
- объект № 2 — пешеход, которого можно рассматривать как стационарный объект, поскольку зачастую он движется перпендикулярно направлению движения автомобиля (например, при переходе проезжей части), то есть скорость относительно автомобиля равна нулю. Для этого необходимо установить продолжительность видеозаписи, количество и частоту смены кадров видеозаписи (кадров в секунду).

Непосредственно на месте дорожно-транспортного происшествия необходимо измерить расстояние (S) между стационарными объектами, зафиксированными на записи. В последующем при анализе видеозаписи устанавливают количество кадров (n), за которое автомобиль проезжает расстояние между этими объектами.

Зная время отображения кадра (t) на видеозаписи, можно рассчитать скорости движения автотранспортного средства, используя математическое выражение (6), созданное Е.А. Тарасовым [13]:

$$V = 3,6 \times \frac{S}{n} \times t, \quad (6)$$

где V — скорость движения автомобиля, м/с; S — расстояние между объектами, м; t — время отображения кадра, с; n — количество кадров видеозаписи, за которое автомобиль перемещается между зафиксированными стационарными объектами.

В стандарте видеозаписи PAL², получившей наибольшее распространение в мире, частота кадров 25 в секунду — время отображения кадра составляет 0,04 с [14]. Для перевода значения м/с в км/ч полученный результат необходимо умножить на коэффициент 3,6.

Достоинством указанных методов является простота расчёта, однако они также не идеальны, поскольку на месте происшествия видеофиксация не всегда ведётся. Кроме того, дорожные видеокамеры, являющиеся ценным источником информации о произошедших дорожных инцидентах, могут быть ограничены погодными и световыми условиями [15].

УСТАНОВЛЕНИЕ СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПУТЁМ СЧИТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ С ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

Сведения, позволяющие судить о скорости движения автомобиля перед столкновением, могут быть извлечены из модулей управления подушками безопасности [6, 16], тахографов, навигационных систем и оборудования на базе ГЛОНАСС/GPS [17], а также из электронного блока управления двигателем [18].

Электронные блоки управления автомобилем, в частности система управления подушками безопасности (ACU, Airbag Control Unit) [16] и блок управления двигателем (EMC, Engine Control Module) [18], хранят информацию о значениях параметров движения автомобиля в момент записи кода неисправности, которая возникла в момент дорожно-транспортного происшествия.

Указанные электронные блоки в своём конструктиве содержат элементы долговременной памяти, в ячейки которой записывается множество параметров, имеющих непосредственное значение для успешного функционирования двигателя автомобиля с учётом меняющихся внешних и внутренних условий. Одним из таких параметров является скорость движения транспортного средства в определённый момент времени. При наличии специальных технических средств у исследователя, указанная информация из блоков управления транспортным средством может быть извлечена и проанализирована.

Тем не менее данный метод также несовершенен, поскольку автомобиль может отсутствовать на месте происшествия либо получить повреждения, делающие невозможным считывание информации из его блоков управления (например, при возгорании транспортного средства).

Таким образом, все вышеуказанные методы определения скорости движения автомобиля имеют определённые ограничения к их применению. Кроме того, их используют исключительно в условиях автотехнических экспертиз.

Однако не стоит забывать, что есть ещё второй участник дорожно-транспортного происшествия — пешеход, который получил телесные повреждения в момент столкновения с автомобилем.

РАЗРЕШЕНИЕ ВОПРОСА О СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЯ В МОМЕНТ СТОЛКНОВЕНИЯ С ПЕШЕХОДОМ ИСХОДЯ ИЗ СВОЙСТВ АВТОТРАВМЫ

Судебно-медицинская оценка скорости движения автомобиля в зависимости от характера и степени тяжести

² PAL (Phase Alternating Line) — это телевизионный стандарт аналогового цветного видеосигнала, используемый в большинстве стран Европы (включая Россию), Азии, Африки и других регионов.

телесных повреждений пешехода является достаточно сложной проблемой в виду её недостаточной разработанности [19]. В специализированной научной литературе существуют сведения о показателях скорости автомобиля с отношением их к объёму травмы и летальному исходу для пострадавшего, а также некоторые данные, позволяющие установить скорость движения автомобиля по локализации, характеру и морфологическим свойствам телесных повреждений (травм), однако указанные сведения противоречивы, поэтому дать исчерпывающий ответ на указанный вопрос по-прежнему затруднительно [20].

Так, С.А. Смиренин и соавт. [21] полагают, что чаще всего травмы пешеходам причиняют на относительно низких скоростях транспортного средства (25–50 км/ч). А.Г. Ластовецкий и соавт. [22] считают, что выжить пешеходу возможно, когда транспортное средство движется со скоростью не более 15–20 км/ч, тогда как при скорости в 60 км/ч вероятность летального исхода стремиться к 100%.

С.В. Базанов и соавт. [23] проанализировали вероятность получения пешеходами смертельных травм в зависимости от скорости легкового автомобиля в момент его столкновения с пешеходом. Авторы установили прямую зависимость между скоростью автомобиля фиксированной массы и тяжестью полученных травм, вплоть до летального исхода. Так, при скорости легкового автомобиля 5 км/ч в момент столкновения его с пешеходом вероятность получения им травм с летальным исходом составляет 1%, а затем, по мере увеличения скорости, эта вероятность увеличивается в геометрической прогрессии, достигая 100% при скорости автомобиля 90 км/ч.

П.А. Лосев [24] для расчёта скорости столкновения легкового автомобиля со стоящим пешеходом предлагает использовать следующую формулу:

$$V = \sqrt{V_a^2 - 26j \left[S_a - (t_1 + t_2 + 0,5t_3) \frac{V_a}{3,6} \right]}, \quad (7)$$

где V — скорость движения автотранспортного средства в момент столкновения с препятствием, км/ч; j — значение установившегося замедления автомобиля, м; t_1 — дифференцированное значение времени реакции водителя, с; t_2 — нормативное значение времени запаздывания срабатывания тормозного привода транспортного средства, с; t_3 — нормативное значение времени нарастания замедления транспортного средства, с; V_a — скорость движения транспортного средства в момент возникновения опасности, км/ч; S_a — расстояние удаления транспортного средства от места столкновения с пешеходом в объективный момент возникновения опасности, м.

По мнению автора, рассчитанное указанным способом «гипотетическое» значение скорости движения автомобиля в момент столкновения с пешеходом впоследствии может быть использовано работниками следствия и дознания для объективной юридической квалификации

действий водителя. Такая оценка возможна при наличии или отсутствии причинной связи между действиями водителя и характером полученных травм пешеходом в условиях дорожно-транспортного происшествия [24].

Г. Повертовский [25] предлагает вычислять скорость автомобиля с учётом силы удара:

$$V_k - V_p = \frac{F \times t}{m}, \quad (8)$$

где F — сила, кгс; $V_k - V_p$ — падение скорости за 0,0015 с, м/с; m — масса, кгс×с²/м; t — время падения скорости (0,0015), с.

В основе метода лежит положение, что сила удара равна произведению массы объекта на ускорение (время падения скорости — отрезок времени от начальной скорости до конечной) за период времени, равный 0,0015 с [25]. Однако он не всегда позволяет определить скорость автомобиля при столкновении с пешеходом, поскольку установить падение скорости автомобиля в течение 0,0015 с, как правило, невозможно.

А.П. Громов и соавт. [26] для определения травмирующей силы предложил следующую расчётную формулу (9), через которую можно найти скорость транспортного средства (10):

$$T = (1 - K^2) \times \frac{mv_{x_0}^2}{2}, \quad (9)$$

где T — работа удара, кгс×м; K — коэффициент восстановления; m — масса головы, кгс×с²/м; v_{x_0} — скорость соударения в момент удара, м/с;

$$V = \sqrt{\frac{2T}{(1 - K^2) \times m}}, \quad (10)$$

где V — скорость автомобиля, м/с; T — работа удара, кгс×м; K — коэффициент восстановления; m — масса головы, кгс×с²/м.

Однако данный метод можно использовать только при расчёте скорости ударяемого тела (пострадавшего) о неподвижную преграду, например при экспертизе внутрисалонной травмы, поскольку расчёты величины силы удара производились в экспериментах с биоманекеном путём приведения последнего в движение с последующим соударением о неподвижное препятствие [26].

W. Dürwald [27] предполагает, что сила удара автомобиля пропорциональна массе столкнувшихся тел и квадрату скорости и обратно пропорциональна расстоянию отбрасывания тела потерпевшего, а значит квадрат скорости автомобиля это частное произведения расстояния отбрасывания тела на силу удара к массе:

$$V = \sqrt{\frac{2 \times F \times S}{m}}, \quad (11)$$

где V — скорость автомобиля, м/с; F — сила удара, кгс; S — расстояние отбрасывания тела потерпевшего, м; m — масса, кгс×с²/м.

Однако использование такого метода возможно только в случае, когда точно известно расстояние, на которое произошло отбрасывание тела пешехода после удара.

В.К. Стешиц [28] определил травмирующую силу $F_{\text{деф}}$ (часть энергии удара, которая затрачивается на причинение повреждения) через известную скорость, а также массу автомобиля и пешехода. В случае, если на месте происшествия были следы торможения травмирующего автомобиля, скорость его предложил рассчитать следующим образом:

$$v = V_0 \sqrt{1 - \frac{x}{S}}, \quad (12)$$

где V — скорость движения автотранспортного средства в момент столкновения его с неподвижной преградой (пешеходом), м/с; V_0 — исходная скорость движения автомобиля, м/с; x — расстояние от начала торможения до преграды, м; S — полная длина тормозного пути, м.

Исходя из установленной скорости движения автотранспортного средства, возможно рассчитать величину силы, затраченной на деформацию частей автомобиля и формирование повреждений тела пешехода:

$$F_{\text{деф}} = K \times \frac{G \times v^2}{254}, \quad (13)$$

где G — масса автомобиля, кгс $\times$ с²/м; v — скорость автомобиля, м/с; K — отношение массы пешехода к сумме масс пешехода и автомобиля; 254 — коэффициент для перевода скорости из м/с в км/ч с учётом ускорения силы тяжести (3,62 $\times$ г $\times$ 2).

В данном случае, путём сравнительного анализа известных значений скорости автомобиля, соответствующих им травмирующих сил, характера и степени телесных повреждений, а также с учётом массы автомобиля и пешехода можно установить зависимость между степенью травмирования пешехода и скоростью автомобиля.

Однако травмирующую силу автор рассчитывал через известное значение скорости, а не из определения скорости минимально возможной, которая может привести к определённой травме, соответственно, существует вероятность того, что одна и та же травма может быть причинена автомобилем и при меньшей скорости движения [28].

Кроме того, указанный метод расчёта применим только в условиях, если автомобиль находился в процессе торможения, на что указывает наличие коэффициента 254, предназначенного для перевода скорости из м/с и км/ч с учётом ускорения силы тяжести (г, равного 9,8 м/с). В случае равномерного прямолинейного движения автомобиля по горизонтальной поверхности без торможения, применение значения ускорения свободного падения (г) не требуется. Это следует из второго закона Ньютона, согласно которому ускорение прямо пропорционально действующей силе, или, в оригинальной формулировке: «Изменение количества движения пропорционально

приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует» (И. Ньютон) [29]. Если вектора сил, действующих на тело, перпендикулярны друг другу, их совместное действие эквивалентно одной результирующей силе, ориентированной вдоль определённой прямой линии. Таким образом, при движении твёрдого тела в определённом поле его влияние сводится к действию одной силы, «приложенной» в точке с радиус-вектором, например в однородном поле тяжести — свободное падение, постоянным вектором будет ускорение свободного падения (г), а при горизонтальном движении вектором будет скорость (V) [30]. Так, при прямолинейном равномерном движении тела в горизонтальной плоскости (едущий автомобиль с постоянной скоростью), вектор силы тяжести обратно пропорционален вектору силы реакции опоры и перпендикулярен направлению движения тела, поэтому работа силы тяжести равна нулю — она перпендикулярна направлению перемещения, а $\cos(90^\circ)=0$, и соответственно ускорение свободного падения также равно нулю [31]. Таким образом, если автомобиль перед столкновением не тормозил, коэффициент 254 становится неприменимым, и, соответственно, формула (13) не позволяет достаточно объективно определять постоянную скорость автомобиля (двигающегося без его замедления).

Вместе с тем, как мы уже отмечали, отсутствие следов торможения на месте происшествия является основанием, не позволяющим достоверно высказаться о факте применения водителем автомобиля торможения перед столкновением автотранспортного средства с пешеходом.

Определение скорости автомобиля при его столкновении со стоящим пешеходом является сложной задачей, решаемой в условиях комплексной экспертизы с участием судебно-медицинских экспертов, криминалистов и экспертов-автотехников. Это исследование направлено на восстановление механизма «транспортного» преступления путём анализа обстановки места происшествия. На основании изучения следов и повреждений, полученных как автомобилем, так и пешеходом, эксперты восстанавливают картину дорожно-транспортного происшествия [32]. При этом вероятность получения наиболее полного и объективного вывода по вопросам, поставленным следователем на разрешение, будет максимальной только при условии всестороннего, точного и объективного установления всех обстоятельств дорожно-транспортного происшествия [33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, существующие подходы к определению скорости автомобиля при столкновении с пешеходом учитывают в основном технические достижения методов объективной фиксации обстоятельств происшествия. В то же время биологический аспект указанной проблемы разработан недостаточно. Созданные методы, основанные

на анализе телесных повреждений у пострадавшего, определении величины внешней силы, необходимой для их образования, и её соотнесения с параметрами действовавшего автомобиля с последующим расчётом его скорости, пока не позволяют с достаточной точностью и объективностью выполнять указанные вычисления.

Следует признать актуальным проведение дальнейших исследований в области «морфологической» диагностики условий и обстоятельств транспортных происшествий, связанных со столкновением движущегося автомобиля со стоящим пешеходом, с учётом актуальных конструктивных особенностей современных автотранспортных средств.

Мы полагаем, что проведение таких исследований будет способствовать не только всесторонней объективизации расследования дорожно-транспортных происшествий, но и дальнейшему развитию судебно-медицинской науки.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Ю. Вавилов — концепция работы, редактирование текста рукописи; Д.Н. Васильев — концепция работы, сбор и анализ литературных данных, написание текста рукописи; М.И. Тимерзянов — анализ литературных данных, редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими

лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали один внешний рецензент и член редакционной коллегии журнала.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.Yu. Vavilov: conceptualization, writing—review & editing; D.N. Vasilev: conceptualization, investigation, writing—original draft; M.I. Timerzyanov: investigation, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published materials (text, figures, or data) were used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved one external reviewer and a member of the editorial board.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Mishin AV. *Forensic Examination in Pre-Trial Proceedings in a Criminal Case: A Textbook*. Kazan: Publishing house of Kazan (Volga Region) Federal University; 2017. (In Russ.) EDN: XYHTVJ
2. Gerondo K. *Road Safety: Past, Present, Future*. Moscow: Legal Literature; 1983. Available from: <https://search.rsl.ru/record/01001150766?ysclid=mdcse37lj617587037> (In Russ.)
3. Kogutich II. *Forensic Science: Lecture Course*. Kiev: Atika, 2008.
4. Akmatova AT. Organization and Conduct of Interrogation of Participants in a Road Accident. *Agrarian and Land Law*. 2023;(1):120–124. doi: 10.47643/1815-1329_2023_1_120 EDN: URSKHA
5. Ostrobodov VV, Rykunova AY. *Forensic Medicine: Course of Lectures*. Barnaul: Barnaul Law Institute; 2020. (In Russ.) ISBN 978-5-94552-426-2 EDN: ZLMUNQ
6. Golovchansky AV. Speed Detection Vehicle Motion at the Time of Accident. *Scientific portal of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2014;(1):32–39. EDN: STCPDH
7. Kristi NM. *Guidelines for the Production of Automotive Technical Expertise*. Moscow; 1971. P. 67–70. Available from: <https://search.rsl.ru/record/01007365541?ysclid=mdcsx8kav3803279099> (In Russ.)
8. *Determining the Speed of Vehicles Before Braking by the Brake Trace (Skid) of the Wheels*. Information Letter No. 16. Moscow; 1965. P. 190–209. Available from: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_INFOCOMM19_1000035848/ (In Russ.)
9. Collins JC, Morris JL. *Analysis of Road Accidents*. Moscow: Transport; 1971. Available from: https://rusneb.ru/catalog/002178_000020_BGUNB/ (In Russ.)
10. Collins JC, Morris JL. *Highway Collision Analysis*. Illinois: Springfield; 1967. Available from: <https://www.librarything.com/work/9088691>
11. Denega AI, Yaksanov O.V. Taking Into Account the Potential Energy Of Deformation When Determining the Speed of a Car at the Time of an Accident. *Vestnik Severo-Kavkazskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya "Estestvenno-nauchnaya"*. 2003;(1):73–76. (In Russ.)
12. Stalmakhov AV, Trubitsyn RYu. *Methods for Determining the Speed and Location of Objects From Video Recordings: A Scientific and Practical Guide*. Saratov; 2013. Available from: <https://obuchalka.org/20211009137231/> (In Russ.)
13. Tarasov EA. Determining the Speed of a Car From by DVR recording. *Vysokie tehnologii v stroitel'nom komplekse*. 2020;(2):39–44. EDN: YEXWNT
14. Kaganov Ash, Nazin LF. *Forensic Studies of Video and Sound Recordings*. Moscow: Izdatel'stvo "Jurlitinform"; 2014. (In Russ.) ISBN: 978-5-4396-0509-5 EDN: SYKGIN
15. Fakhoury S, Ismail K. Improving Pedestrian Safety Using Ultra-Wideband Sensors: A Study of Time-to-Collision Estimation. *Sensors*. 2023;23(8):4171. doi: 10.3390/s23084171 EDN: DMYFMX
16. Golovchansky AV. The Using of Data of Electronic Control Systems in the Investigation of Road accidents Traffic Offences. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2014;(3):165–170. EDN: SNQXPJ
17. Yashina MV, Tatashev AG, Fomina MJ. Approximation of the vehicle speed correlation function using GPS/Glonass data.

Proceedings of Moscow Institute of Physics and Technology. 2021;13(1):47–54. doi: 10.53815/20726759_2021_13_1_47 EDN: EQFBQW

18. Krivitski AM, Zaluzhny GI, Zaluzhnaya OG, Zasimovich EA. Car Electronic Systems Diagnostics. *Issues of Criminology, Criminalistics and Forensic Examination*. 2017;(1):160–164. EDN: YRGXOZ

19. Liu W, Su S, Qiu J, et al. Exploration of Pedestrian Head Injuries — Collision Parameter Relationships through a Combination of Retrospective Analysis and Finite Element Method. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016;13(12):1250. doi: 10.3390/ijerph13121250

20. Halari MM, Shkrum MJ. Fatal Motor Vehicle-Pedestrian Collision Injury Patterns—A Systematic Literature Review. *Academic Forensic Pathology*. 2020;10(3–4):144–157. doi: 10.1177/1925362120986059 EDN: BZWCCS

21. Smirenin SA, Fetisov VA, Grigoryan VG, et al. The significance of the results of crash-tests with the use of the models of the pedestrians' lower extremities for the prevention of the traffic road accidents. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2017;60(3):13–18. doi: 10.17116/sudmed201760313-18 EDN: YUBYWN

22. Lastovetsky AG, Deineko DA, Lebedev M.V. Identifying Some Mechanisms of Damaging Factor at Auto-Pedestrian Accident During Forensic Examination. *Social Aspects of Population Health*. 2013;3:13. EDN: QINGIN

23. Bazanov SV, Potapenko LV. Dependence of the Probability of Pedestrians Receiving Fatal Injuries in Road Accidents on the Speed of the Vehicle. *International Journal of Experimental Education*. 2016;(5–2):219–220. (In Russ.) EDN: VUTWIT

24. Losev PA. Investigation of the "Hypothetical" Value of the Vehicle Speed at the Moment of Hitting a Pedestrian When the Driver Applies Braking at a Given Moment of Danger Occurrence. *Bulletin of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2021;(2):193–195. doi: 10.24412/2073-0454-2021-2-193-195 EDN: FSTTEA

25. Povertovsky G. *Frontofacial Injuries. Mechanism, Pathology and Principles of Surgical Treatment*. Warsaw: Polish State Medical Press; 1968. P. 26–37. Available from: <https://www.forens-med.ru/book.php?id=3079> (In Russ.)

26. Gromov AP, Antufyev II, Saltykova OF, et al. An Experimental Study of Cranial Injuries Caused by Dosated Hits. *Forensic Medical Examination*. 1967;(3):14–20. Available from: <https://www.forens-med.ru/book.php?id=5151>

27. Dürwald W. *Gerichtsmedizinische Untersuchungen bei Verkehrsun-fällen*. Leipzig: Thieme; 1966. (In German)

28. Steshin VK. *Forensic Medical Examination in Road Traffic Accidents*. Minsk: Belarus; 1976. Available from: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007003031?ysclid=mdcwwd79p3i100943579> (In Russ.)

29. Kantarovich SS, Permikin DV. *General Physics: Mechanics: Study guide*. Yekaterinburg: Publishing house of the Ural University; 2012. Available from: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/45615/1/978-5-7996-0721-0_2012.pdf?ysclid=mdcwfwwxy46834720368 (In Russ.)

30. Landau LD, Lifshits EM. *Theoretical Physics: Textbook. Manual for Universities. Vol. I. Mechanics. 5th ed., stereot*. Moscow: FIZMATLIT; 2004. Available from: [https://publ.lib.ru/ARCHIVES/L/LANDAU_Lev_Davidovich_\(fizik\)/](https://publ.lib.ru/ARCHIVES/L/LANDAU_Lev_Davidovich_(fizik)/) (In Russ.)

31. Ivanov EM. Work at Horizontal Movement of a Body. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2011;(3):49–50. EDN: NCJIRF

32. Yudenkova VN, Krasilova VA. Possibilities of a Comprehensive Medical-Autotechnical Examination in the Investigation of Crimes Involving Motor Vehicles. In: *Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference "Scientific Research and Innovation"*. Moscow: "KDU", "Dobrosvet"; 2021. P. 209–215. (In Russ.) EDN: VPVKNJ

33. Sretentsev AN, Badikov DA. Some Aspects of the Use of Modern Technical Means Of Recording When Inspecting the Scene of a Road Accident. *Central Russian Journal of Social Sciences*. 2014;(4):79–82. EDN: TAQKOZ

ОБ АВТОРАХ

* **Вавилов Алексей Юрьевич**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 426034, Ижевск, ул. Коммунаров, д. 281;
ORCID: 0000-0002-9472-7264;
eLibrary SPIN: 3275-3730;
e-mail: izhsudmed@hotmail.com

Васильев Дмитрий Николаевич;
ORCID: 0009-0009-2561-2517;
e-mail: animat20@yandex.ru

Тимерзянов Марат Исмагилович, д-р мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-3918-8832;
eLibrary SPIN: 7054-5195;
e-mail: Marat.Timerzyanov@tatar.ru

AUTHORS' INFO

* **Alexey Yu. Vavilov**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 281 Kommunarov st, Izhevsk, Russia, 426034;
ORCID: 0000-0002-9472-7264;
eLibrary SPIN: 3275-3730;
e-mail: izhsudmed@hotmail.com

Dmitriy N. Vasilev;
ORCID: 0009-0009-2561-2517;
e-mail: animat20@yandex.ru

Marat I. Timerzyanov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0003-3918-8832;
eLibrary SPIN: 7054-5195;
e-mail: Marat.Timerzyanov@tatar.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author