

ТРАНСПОРТ

УДК 629.331

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: s.a.evt@mail.ru

© С. Н. Глаголев, д-р экон. наук, профессор

© И. А. Новиков, д-р техн. наук, профессор

© Д. А. Лазарев, канд. техн. наук, доцент

(Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова)

E-mail: rector@intbel.ru, ooows@mail.ru,

avtotech31@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-4-108-116

© S. A. Evtiukov, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: s.a.evt@mail.ru

© S. N. Glagolev, Dr. Sci. Ec., Professor

© I. A. Novikov, Dr. Sci. Tech., Professor

© D. A. Lazarev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Belgorod State Technological University
named after V. G. Shukhov)

E-mail: rector@intbel.ru, ooows@mail.ru,

avtotech31@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПО ПОЛУЧЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ ПРИ КОНТАКТЕ С ОБЪЕКТОМ МАЛОЙ МАССЫ ПРИ ДОРОЖНО- ТРАНСПОРТНОМ ПРОИСШЕСТВИИ

IMPROVEMENT OF CALCULATION METHODOLOGY OF VEHICLE'S DRIVING SPEED BASED ON THE DEFORMATIONS THE VEHICLE RECEIVES WHEN COLLIDING WITH A LOW-MASS OBJECT IN A ROAD TRAFFIC ACCIDENT

Одним из перспективных направлений дорожно-транспортной экспертизы, связанным с расчетом скорости движения ТС, является расчет скорости по затратам кинетической энергии на деформацию кузовов ТС. Рассмотрена существующая методика расчета скорости движения транспортных средств по полученным ими деформациям. Обосновано отсутствие возможности применения данной методики при отсутствии следов перемещения объектов после контакта, когда наезд совершен на малогабаритный объект с массой, значительно меньшей массы ТС. Предложено решение данной проблемы путем введения в расчет принципа относительности Галилея, которое было апробировано на примере реального ДТП.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, автомобиль, пешеход, малая масса, скорость, деформации, экспертиза.

One of the promising directions of road traffic accident examination related to the calculating of vehicle's driving speed is the speed calculation based on the efforts of motional energy for the deformation of vehicle bodies. The currently used technique of calculating vehicles' road speed based on the vehicle's deformations is considered. There is substantiated lack of possibility for applying this technique in the absence of traces of objects' movement in case of a collision with a small-sized object with a mass much less than the mass of the vehicle. The authors offer using the Galileo's principle of relativity when looking for the solution of this problem. The proposed solution was tested on the example of a real road traffic accident.

Keywords: road traffic accident, car, pedestrian, low mass, speed, deformations, road traffic examination.

Введение

С увеличением количества транспортных средств на дорогах общего пользования возрастает количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), и соответственно тяжесть последствий от их совершения. Расследование ДТП является процессом, связанным с такой отраслью народного хозяйства, как дорожное движение [1]. Важное звено в процессе расследования указанной категории дел — этап проведения дорожно-транспортной экспертизы. Зачастую на данном этапе следственным органам необходимо установить скорость движения транспортного средства (ТС), участвовавшего в ДТП. Очень часто требуется определить скорость движения ТС до происшествия. Наиболее распространенный способ расчета скорости подразумевает использование значений, характеризующих затраты кинетической энергии транспортного средства с момента начала торможения до остановки [2]. К таковым можно отнести численные значения длины следов торможения, следов бокового скольжения, возникших в результате торможения, и т. д. (при этом центр тяжести ТС перемещается прямолинейно либо по траектории, близкой к прямолинейной). Однако данный способ предполагает допущение, что полученное значение скорости движения ТС до торможения будет минимальным, поскольку не учитывает потери кинетической энергии на деформацию кузова при столкновении двух объектов. Кроме того, следует отметить, что на месте происшествия не всегда могут быть оставлены или обнаружены следы перемещения объектов при ДТП до контакта и после него, что исключает использование данного способа в принципе [3]. Это особенно актуально в тех случаях, когда одним из контактирующих объектов является малогабаритный и маловесный объект, например пешеход или велосипедист. Однако при контакте данные объ-

екты также оставляют следы своего взаимодействия с автомобилем на его кузове [4].

В экспертной практике известен способ расчета скорости движения автомобилей по полученным их кузовами в результате ДТП повреждениям, предложенный В. А. Огородниковым, В. П. Байковым, В. Б. Киселевым, К. А. Любарским и отраженный в патенте Российской Федерации №2275612 [5]. Для решения поставленной задачи авторы определяют работы деформаций поврежденных деталей каждого транспортного средства, участвовавшего в столкновении, которые суммируют с соответствующими работами сил сопротивления их перемещениям в плоских движениях, а определение линейных скоростей отбрасывания производят с учетом суммарных энергетических затрат. Для определения работы деформаций поврежденных деталей каждого из i -х транспортных средств, участвовавших в столкновении, определяют пределы текучести σ_T , пределы прочности σ_B , интенсивности деформаций ε_{iT} и ε_{iB} , соответствующие пределам текучести и прочности, показатели m упрочнения материала, из которых изготовлены поврежденные детали транспортных средств, и с учетом вышеуказанных показателей находят усредненную удельную работу деформаций ω_j для каждой j -й поврежденной детали по соотношению

$$\omega_j = \sigma_T \left[\frac{\varepsilon_{iT}}{2} + \frac{\left(\frac{\varepsilon_{iT} + \varepsilon_{iB}}{2} \right)^{m+1} - \varepsilon_{iT}^{m+1}}{\varepsilon_{iT}^m (m+1)} \right], \quad (1)$$

где σ_T — предел текучести деформированного материала; ε_{iT} — интенсивность деформации, соответствующая пределу текучести деформированного материала; ε_{iB} — интенсивность деформации, соответствующая пределу прочности деформированного материала; m — показатель упрочнения деформированного материала.

Далее измеряют объем V_{defj} деформированных и разрушенных частей каждой j -й поврежденной детали и определяют работу деформаций w_{defj} каждой j -й детали по соотношению

$$w_{defj} = \omega_j \cdot V_{defj}, \quad (2)$$

где ω_j — удельная работа деформаций для каждой j -й поврежденной детали; V_{defj} — объем деформированных и разрушенных частей каждой j -й поврежденной детали.

После этого определяют работу деформаций W_{defi} каждого из i -х транспортных средств, участвовавших в столкновении, по соотношению

$$W_{defi} = \sum_{j=1}^n w_{defj}, \quad (3)$$

где n — количество поврежденных деталей в каждом из транспортных средств.

Суммарные энергетические затраты включают работы по деформированию кузовов транспортных средств и работы сил сопротивления по их перемещениям в процессе отбрасывания. Зная эти затраты, можно определить скорость отброса каждого из транспортных средств после контакта, а именно:

$$V_a = 3,6 \sqrt{\frac{2(W_{def} + W_k)}{m_a}}, \quad (4)$$

где m_a — масса деформируемого транспортного средства; W_k — работа на перемещение деформируемого транспортного средства после контакта; W_{def} — работа на деформирование транспортного средства в процессе контакта.

Зная эту скорость и используя ее в законе сохранения импульса, можно определить скорость движения транспортного средства до столкновения с иным транспортным средством.

Однако данный способ позволяет рассчитать скорость движения ТС по их повреждениям только в том случае, когда данные ТС имели перемещение после контакта, а их массы примерно соотносимы между собой.

Это условие очень важно, поскольку если один из контактирующих объектов будет иметь массу значительно меньшую, чем масса второго объекта (автомобиля), то объект с меньшей массой не сможет кардинально повлиять на направление перемещения более тяжелого объекта, такого как автомобиль. Таким маловесным объектом может быть пешеход, велосипедист или водитель самоската, которые имеют массу на порядок ниже, чем масса автомобиля. В этом случае автомобиль может и не поменять своего направления и режима движения после контакта, так как имеет значительно более высокую массу и скорость, однако он сообщает свое направление и скорость перемещения контактирующему объекту (например, пешеходу). Следует также учитывать, что маловесный объект (пешеход) также оставит на кузове автомобиля следы от контакта с ним, которые можно использовать для определения скорости движения автомобиля в момент контакта.

Представим систему *пешеход–автомобиль* при контакте как замкнутую, т. е. не подверженную внешним воздействиям. Автомобиль имеет более высокую массу и скорость, доминируя в этой системе. Пешеход имеет значительно меньшую массу и статичное положение (например, движется с малой скоростью в поперечном направлении). Чтобы изменить скорость (или направление) движения автомобиля, необходимо приложить некоторую силу, причем сила эта должна быть соизмерима с силой инерции автомобиля (первый закон Ньютона). Очевидно, что пешеход в данном случае не обладает силой инерции, достаточной для уравновешивания силы инерции автомобиля. Ориентируясь на третий закон Ньютона, можно утверждать, что пешеход при контакте с массой автомобиля приобретает его силу инерции и начинает перемещаться в заданном направлении, одновременно воздействуя на кузов автомобиля своей массой [6]. При

этом автомобиль после контакта не останавливается и не изменяет направление движения, двигаясь под действием силы инерции без существенного изменения его модуля. Для этой замкнутой системы из двух объектов характерен и применим принцип относительности Галилея или равноправия выбора системы отсчета: при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой такие величины, как время, масса, ускорение, скорость и сила, остаются неизменными, т. е. инвариантными [7–9].

Равноправие инерциальных систем отсчета, устанавливаемое принципом относительности, выражается в следующем:

1. Законы механики в инерциальных системах отсчета одинаковы. Это значит, что уравнение, описывающее некоторый закон механики, будучи выражено через координаты и время любой другой инерциальной системы отсчета, будет иметь один и тот же вид.

2. По результатам механических опытов невозможно установить, покоится ли данная система отсчета или движется равномерно и прямолинейно. Поэтому ни одна из них не может быть выделена как преимущественная система, скорости движения которой мог быть придан абсолютный смысл. Физический смысл имеет лишь понятие относительной скорости движения систем, так что любую систему можно признать условно неподвижной, а другую — движущейся относительно нее с определенной скоростью.

3. Уравнения механики неизменны по отношению к преобразованиям координат при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, т. е. одно и то же явление можно описать в двух разных системах отсчета внешне по-разному, но физическая природа явления остается при этом неизменной.

Это означает, что можно представить замкнутую систему из автомобиля и пешехода относительно скорости движения автомобиля через другую систему отсчета. Так, условно автомобиль будет находиться в состоянии

покоя, а пешеход будет перемещаться навстречу ему со скоростью, с которой перемещался автомобиль в нашей системе. При таких условиях взаимодействующий с кузовом автомобиля пешеход оставит на нем эквивалентный объем повреждений, затратив при этом на деформацию эквивалентную работу.

Исходя из вышеизложенного, скорость движения транспортного средства в момент контакта можно рассчитать, ориентируясь только на работу по деформации элементов его кузова при контакте с пешеходом, поскольку скорость входа в контакт автомобиля и выхода из него практически не изменяется, а пешеход приобретает скорость, эквивалентную скорости движения автомобиля. Данное утверждение выражается в соотношении

$$V_a = 3,6 \sqrt{\frac{2 \cdot W_{def}}{m_{п}}}, \quad (5)$$

где $m_{п}$ — масса пешехода; W_{def} — работа на деформирование транспортного средства в процессе контакта.

При отсутствии возможности определения характера перемещения пешехода после контакта работой на перемещение тела пешехода можно пренебречь, так как основная часть кинетической энергии контакта переходит в работу деформации кузова, чего в данном случае будет достаточно для определения минимального порога скорости движения автомобиля, что допустимо при проведении автотехнических экспертиз.

С целью проверки предложенной модели рассмотрим ДТП с участием автомобиля Honda CR-V и малолетнего ребенка на электрическом самокате.

Краткая фабула происшествия: «На пересечении улиц мкр. Таврово-7 с. Таврово Белгородского района Белгородской области автомобиль Honda CR-V, двигавшийся по ул. Строителей, совершил наезд на электросамокат Kugoo M4 под управлением несовершеннолетнего, двигавшегося по

ул. Урожайная в поперечном направлении относительно автомобиля Honda CR-V слева направо. В результате ДТП несовершеннолетний скончался на месте происшествия».

Автомобиль Honda CR-V был помещен на специализированную стоянку и предоставлен к осмотру. На рис. 1 представлен общий вид данного автомобиля с повреждениями кузова.

После визуального осмотра автомобиля его поврежденные детали были демонтированы с целью исследования свойств материала в лабораторных условиях с использованием специализированного оборудования.

Далее проводилось измерение объема деформаций поврежденных деталей автомобиля. Для этого была проведена фотосъемка повреждений с мерным объектом (криминалистической и нивелирной линейками), и в графическом редакторе CorelDraw версии X6 проводилась разметка деформируемых частей с целью определения искомым размеров и вычисления объема деформаций.

Находим объем деформаций для первого объекта — усилителя бампера (рис. 2), который в поперечном сечении представляет собой швеллер высотой h , равной 77 мм, шириной полок b , равной 24 мм, толщиной стенки и полок δ , равной 1,35 мм. Длина зоны интенсивных деформаций l равна 400 мм.

Отсюда получаем объем деформированной части:

$$V_{def1} = \delta(h + 2 \cdot b)l = 1,35(77 + 2 \cdot 24)400 = 67\,500 \text{ мм}^3.$$

Находим объем деформаций для второго объекта — верхней поперечины (рис. 3), которая представляет собой коробчатую конструкцию, имеющую в поперечном сечении тонкостенный прямоугольник высотой h и шириной b , равных 30 мм, толщиной стенок δ , равной 1 мм. Длина зоны интенсивных деформаций l равна 65 мм.

Отсюда получаем объем деформированной части:

$$V_{def2} = 2 \cdot \delta \cdot (h + b) \cdot l = 2 \cdot 1 \cdot (30 + 30) \cdot 65 = 7800 \text{ мм}^3.$$

Находим объем деформаций для третьего объекта — нижней переборки (рис. 4), которая представляет собой две спаянные между собой пластины толщиной δ , равной 0,64 мм. Площадь деформированной части определяется высотой h , равной 50 мм, и длиной l , равной 190 мм.

Отсюда получаем объем деформированной части:

$$V_{def3} = 2 \cdot \delta \cdot h \cdot l = 2 \cdot 0,64 \cdot 190 \cdot 50 = 12\,160 \text{ мм}^3.$$

Находим объем деформаций для четвертого объекта — капота (рис. 5), который представляет собой две спаянные между собой пластины толщиной δ , равной 0,64 мм. Площадь деформированной части определяется площадью сложной фигуры, состоящей из более простых геометрических фигур [10].

Для определения общей площади фигуры необходимо определить площади простых фигур, из которых составлена зона повреждений [9]:

$$S_1 = S_{\text{АБВГ}} = \text{АБ} \cdot \text{АВ} = 594 \cdot 261 = 155\,034 \text{ мм}^2;$$



Рис. 1. Вид поврежденных деталей кузова автомобиля



Рис. 2. Вид и размеры поврежденной части усилителя бампера



Рис. 3. Вид и размеры поврежденной части верхней поперечины



Рис. 4. Вид и размеры поврежденной части нижней переборки



Рис. 5. Вид и размеры поврежденной части капота

$$S_2 = S_{ВЕЖГ} = \frac{1}{2} (ВГ + ЕЖ) ЕД =$$

$$= \frac{1}{2} (594 + 439) 145 = 74\,892,5 \text{ мм}^2;$$

$$S_3 = S_{БЖЗ} = \frac{1}{2} БЖ \cdot ЖЗ = \frac{1}{2} 135 \cdot 406 = 27\,405 \text{ мм}^2;$$

$$S_4 = S_{ИЕЗ} = \frac{1}{2} ИК \cdot ЕЗ = \frac{1}{2} 280 \cdot 574 = 80\,360 \text{ мм}^2.$$

Общая площадь фигуры капота

$$S_{def \text{ капота}} = \sum S_i =$$

$$= 155034 + 74892,5 + 27405 + 80360 = 337\,691,5 \text{ мм}^2.$$

Отсюда получаем объем деформированной части:

$$V_{def 4} = 2 \cdot S_{def \text{ капота}} \cdot \delta =$$

$$= 337\,691,5 \cdot 2 \cdot 0,64 = 432\,245,1 \text{ мм}^3.$$

Искомые значения пределов прочности и текучести, интенсивностей деформаций и показателей упрочнения были получены в ходе испытаний в специализированной лаборатории образцов материала (рис. 6, 7), изъятых с деформированных деталей автомобиля Honda CR-V [11–12].

Проводились испытания образцов № 1 и № 2, изъятых с усилителя бампера (рис. 6, а), образцов № 3 и № 4 с верхней поперечины (рис. 6, б), образца № 5 с нижней переборки (рис. 6, в) и образцов № 6 и № 7 с капота (рис. 6, г).

При этом, помимо искомых значений пределов прочности и текучести, интенсивностей деформаций и показателей упрочнения, были получены значения удельной работы деформаций w_j для каждой из перечисленных поврежденных деталей, поэтому проводить расчет по формуле (1) не требуется.

Значения удельной работы деформаций для каждой из перечисленных деталей составляют: для образцов № 1 и № 2 — 42 и 37 МДж/м³; № 3 и № 4 — 22 и 27 МДж/м³; № 5 — 28 МДж/м³; № 6 и № 7 — 40 и 41 МДж/м³.

Далее определяем работу деформации каждой детали по формуле (2):

$$w_{def1} = (42 \div 37) 67\,500 =$$

$$= 2\,835\,000 \div 2\,497\,500 \text{ Н} \cdot \text{мм} =$$

$$= 2835 \div 2497,5 \text{ Дж};$$

$$w_{def2} = (22 \div 27) \cdot 7800 = 171\,600 \div 210\,600 \text{ Н} \cdot \text{мм} =$$

$$= 171,6 \div 210,6 \text{ Дж};$$

$$w_{def3} = 30 \cdot 12160 = 364\,800 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 364,8 \text{ Дж};$$

$$w_{def4} = (40 \div 41) \cdot 432\,245,1 =$$

$$= 17\,289\,805 \div 17\,722\,050 \text{ Н} \cdot \text{мм} =$$

$$= 17\,289,8 \div 17\,722, \text{ Дж},$$

а также общую работу деформации для поврежденных зон автомобиля Honda CR-V по формуле (3):

$$W_{def} = \sum w_{defj} = 20\,661,9 \div 20\,795,7 \text{ Дж}.$$

Затем, ориентируясь на закон сохранения энергии, необходимо определить скорость движения автомобиля. Однако в данном случае система из двух контактирующих объектов состоит из объекта, имеющего от-

носительно высокую скорость движения и относительно высокую массу (автомобиль Honda CR-V), и объекта, имеющего в момент контакта скорость, равную нулю, и относительно невысокую массу (несовершеннолетний на электросамокате). При этом второй объект, вступая в контакт с первым, оставляет на элементах кузова повреждения, а первый передает скорость своего перемещения второму. При этом первый объект после контакта не останавливается и не изменяет направление движения. Для этой системы

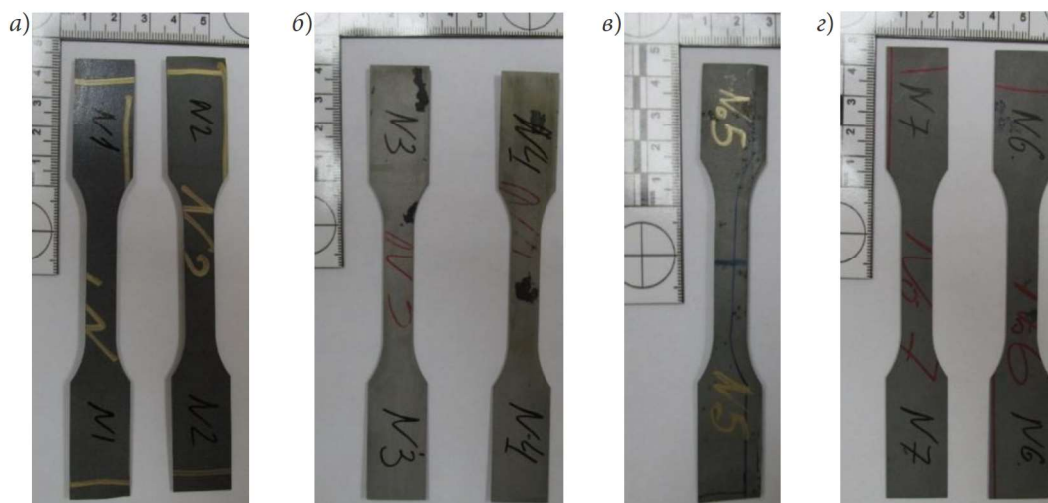


Рис. 6. Образцы материала, изъятые с деформированных деталей автомобиля



Рис. 7. Испытания образцов материала, изъятых с деформированных деталей автомобиля

характерен и применим принцип относительности Галилея или равноправия выбора системы отсчета, описанный выше.

Согласно данному принципу, скорость движения автомобиля в момент образования повреждений можно выразить через соотношение (5):

$$V_a = 3,6 \sqrt{\frac{2 \cdot W_{def}}{m_n}},$$

где m_n — масса несовершеннолетнего с электросамокатом, кг: $42 + 25 = 67$,

$$V_a = 3,6 \sqrt{\frac{2 \cdot (20661,9 \div 20795,7)}{67}} = 89,4 \div 89,7 \text{ км/ч},$$

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать вывод, что скорость движения автомобиля Honda CR-V, исходя из его повреждений, перед контактом составляла величину около $89,4 \div 89,7$ км/ч.

В результате исследований разработана методика расчета скорости движения транспортного средства по повреждениям с учетом принципа относительности Галилея (равноправия выбора системы отсчета), которая позволяет получать значения скорости, близкие к фактическим, в случаях, когда деформируемый объект имеет относительно невысокую массу. Предложенное решение позволяет рассчитывать скорость движения автомобилей при контакте с пешеходами, велосипедистами, водителями самокатов, электросамокатов и т.д.

Несмотря на положительные результаты проведенной работы, необходимо продолжить совершенствование методик исследования в области расчета скорости движения транспортного средства по деформациям кузова в различных дорожно-транспортных ситуациях с целью повышения качества проведения автотехнической экспертизы.

Библиографический список

1. Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle characteristic of

a road vehicle. *Transportation Research Procedia*, 36, 2018. Pp. 149–156. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.057/>

2. Novikov I. A., Lazarev D. A. Experimental Installation for Calculation of Road Adhesion Coefficient of Locked Car Wheel. *International Journal «Transportation Research Procedia»*. 2017. Vol. 20 Pp. 463–467.

3. Суворов Ю. Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП. М.: Экзамен; Право и закон, 2004. 208 с.

4. Novikov I. A., Lazarev D. A. and Kudinov D. V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 21. Pp. 42721–42724.

5. Способ определения скоростей движения транспортных средств при столкновении : патент на изобретение № 2275612 РФ / Байков В. П., Киселев В. Б., Любарский К. А.; заявл. 01.03.2001 : опубл. 27.04.2006.

6. Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы). Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 204 с.

7. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 1. Механика. М.: Физматлит, 2005. 560 с.

8. Грабовский Р. И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1980. 607 с.

9. Трофимова Т. И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1977. 542 с.

10. Киселев А. П. Геометрия / под. ред. Н. А. Глаголева. М.: Физматлит, 2004. 328 с.

11. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. Часть первая. Деформация и разрушение. М.: Машиностроение, 1974. 472 с.

12. Селиванов В. В. Механика разрушения деформируемого тела. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. 420 с.

References

1. Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle characteristic of a road vehicle. *Transportation Research Procedia*, 36, 2018, pp. 149–156. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.057/>

2. Novikov I. A., Lazarev D. A. Experimental installation for calculation of road adhesion coefficient of locked car wheel. *Transportation Research Procedia*, 2017, vol. 20, pp. 463–467.

3. Suvorov Yu. B. *Sudebnaya dorozhno-transportnaya ekspertiza. Sudebno-ekspertnaya otsenka deystviy voditeley*

i drugikh lits, otvetstvennykh za obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, na uchastkakh DTP [Forensic road traffic expertise. Forensic evaluation of actions of drivers and other persons responsible for ensuring road safety at road accident sites]. Moscow, Ekzamen; Pravo i zakon Publ., 2004, 208 p.

4. Novikov I. A., Lazarev D. A., Kudinov D. V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 21, pp. 42721–42724.

5. Baykov V. P., Kiselev V. B., Lyubarskiy K. A. *Sposob opredeleniya skorostey dvizheniya transportnykh sredstv pri stolknovenii* [Method of determination of the vehicle's speed at collision]. Patent RF, no. 2275612, 2006.

6. Ogorodnikov V. A., Kiselev V. B., Sivak I. O. *Energiya. Deformatsii. Razrushenie (zadachi avtotekhnicheskoy ekspertizy)* [Energy. Deformations. Fracture (Problems

of autotechnical examination)]. Vinnitsa, UNIVERSUM-Vinnitsya Publ., 2005, 204 p.

7. Sivukhin D. V. *Obshchiy kurs fiziki. Pt. 1. Mekhanika* [General course of physics. Pt. 1. Mechanics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2005, 560 p.

8. Grabovskiy R. I. *Kurs fiziki* [Course of physics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 607 p.

9. Trofimova T. I. *Kurs fiziki* [Course of physics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ. 1977, 542 p.

10. Kiselev A. P. *Geometriya* [Geometry]. Ed. by Glagolev N. A. Moscow, Fizmatlit, 2004, 328 p.

11. Fridman Ya. B. *Mekhanicheskie svoystva metallov. Chast' pervaya. Deformatsiya i razrushenie* [Mechanical properties of metals. Part I. Deformation and fracture]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974, 472 p.

12. Selivanov V. V. *Mekhanika razrusheniya deformiruemogo tela* Fracture mechanics of deformed body]. Moscow, MGTU im. N. E. Baumana Publ., 1999, 420 p.