

УДК 656.131

© Е. В. Голов, канд. техн. наук, ст. преподаватель

© Я. В. Васильев, канд. техн. наук, доцент

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор

© В. Р. Шпет, студент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: egorgoloff@yandex.ru, xen2k@rambler.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-3-105-113

© E. V. Golov, PhD in Sci. Tech., senior lecturer

© Y. V. Vasiliev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© S. A. Evtukov, Dr. Sci. Tech., Professor

© V. R. Shpet, student

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia)

E-mail: egorgoloff@yandex.ru, xen2k@rambler.ru

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОЙ КАРТЫ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ЖЕСТКОСТИ КУЗОВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО СЕТОЧНОМУ ПРИНЦИПУ

### FORMALIZATION OF THE HEAT MAP CHART OF DIFFERENTIATED STIFFNESS OF THE MOTOR VEHICLE`S BODY ACCORDING TO THE GRID PRINCIPLE

Методика проведения дорожно-транспортной экспертизы включает в себя метод определения скорости столкновения транспортных средств исходя из полученных автомобилем деформаций. Необходимые для таких расчетов коэффициенты в справочной литературе имеют усредненные значения, но фактически в различных сечениях жесткость кузова автомобиля значительно отличается. В статье представлена методика, позволяющая определить жесткостные особенности локальных зон автомобиля и на ее основе построить сетчатую тепловую карту коэффициентов жесткости, позволяющую повысить точность расчетов в рамках автотехнических экспертиз.

*Ключевые слова:* дорожно-транспортное происшествие, реконструкция ДТП, экспертиза ДТП, жесткость автомобиля, безопасность дорожного движения, столкновение транспортных средств.

The methodology of the road transport examination includes a technique of assessing the speed of vehicles during collision based on the deformations received by the vehicle. The coefficients, which are necessary for such calculations, have averaged values in the reference literature, but, in fact, the stiffness of the car body differs significantly in different sectors. The article presents a technique that allows assessing the stiffness features of local zones of the car and, basing on it, there is constructed a heat map chart of stiffness coefficients, which allows increasing the accuracy of calculations in automotive technical examinations.

*Keywords:* road traffic accident, road traffic accident reconstruction, accident examination, vehicle`s stiffness, road traffic safety, vehicle collision.

#### Введение

Производство автомобильного транспорта не стоит на месте и постоянно совершенствуется, вместе с этим повышаются требования и точность проведения дорожно-транспортной экспертизы. Развитие этого направления позволяет повысить безопасность как самих автомобилей, так и дорожного движения [1–5], а также качество и точность результатов реконструкции дорожно-транспортных происшествий [6–9]. В связи с чем исследование методики диф-

ференцирования жесткости кузова автомобиля для определения уникальных значений показателей сопротивления деформации в локальных зонах является потенциальным инструментом повышения качества доказательной базы при реконструкции дорожно-транспортных происшествий [10–12].

Область применения методики не ограничивается лабораторными испытаниями оценки влияния конструктивных особенностей на жесткость транспортного средства (в рамках которых была подтверждена



ее точность), но может быть использована и при проведении дорожно-транспортной экспертизы с последующим определением скорости движения участников ДТП в момент их столкновения [13].

В рамках исследования данной методики был использован известный, но редко применяемый в связи с его сложностью метод: в лабораторных условиях производится испытание на столкновение (фронтальное, боковое и пр.) и устанавливаются величины деформаций в различных точках ударяющего и ударяемого объекта, после чего результаты анализируются. Апробация и оценка применимости такого подхода исследована на основе результатов краш-теста, произведенного Национальным управлением безопасностью движения на трассах Министерства Транспорта Соединенных Штатов Америки (США) (National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA) [14].

В качестве исследуемого автомобиля был использован Ford Focus 2017 года выпуска, в боковую часть кузова которого был совершен удар на скорости 56 км/ч лабораторной тележкой MDB (Moving Deformable Barrier), имитирующей удар легковым ТС с заданными параметрами жесткости в контактной зоне. На рис. 1 и 2 представлены изображения автомобиля до и после проведения натурного теста.

Исходя из известной жесткости лабораторной тележки MDB и ее неоднородной

фактической деформации, дифференцированно возможно установить жесткость боковой части автомобиля для частных условий дорожно-транспортного происшествия (рис. 3).

### Методы

Для производства расчетов был использован алгоритм установления дифференцированных жесткостных характеристик, предложенный Дж. Нептуном и Дж. Флинном [15], а позже исследованный В. Н. Никоновым [16].

Для применения данного метода должны выполняться следующие условия:

1. Известны коэффициенты жесткости деформирующего транспортного средства.
2. Известны профили деформации обоих участников происшествия.
3. Деформированные профили обоих автомобилей можно разделить на зону непосредственного контакта и зоны вторичных деформаций.
4. Зона непосредственного контакта на обоих транспортных средствах имеет одинаковую ширину.
5. Зону непосредственного контакта на обоих автомобилях можно разделить на одинаковые по ширине соответствующие участки так, чтобы во время деформации каждый участок одного автомобиля контактировал с соответствующим участком другого автомобиля [15, 16].



Рис. 1. Автомобиль до проведения натурного теста



Рис. 2. Автомобиль после проведения натурного теста



Алгоритм метода заключается в следующем:

1. Зоны контакта разделяются на участки так, чтобы участки деформируемого и деформирующего транспортных средств совпадали.

2. Для каждого участка зоны непосредственного контакта ударяющего автомобиля определяются силы удара в соответствии со следующей формулой:

$$F_{bi} = \frac{L_{bi}}{\cos(\alpha_b)} \left( A_{bi} + \frac{B_{bi}}{2} (C_{bi} + C_{bi+1}) \right),$$

где  $F_{bi}$  — сила удара на  $i$ -ом участке кузова (максимальная) ТС;  $L_{bi}$  — длина участка кузова ТС;  $i$  — номер участка «пятна» контакта;  $\alpha_b$  — угол между нормалью и направлением силы удара;  $A_{bi}$  — коэффициент жесткости кузова ТС, Н/м;  $B_{bi}$  — коэффициент жесткости кузова ТС, Н/м<sup>2</sup>;  $C_{bi}$ ,  $C_{bi+1}$  — значения деформаций на границах  $i$ -го участка кузова ТС.

3. Согласно третьему закону Ньютона, сила удара для каждого участка зоны деформирующего автомобиля равняется силе удара для каждого участка деформируемого транспортного средства. Затем по формуле определяются коэффициенты  $b_{1vi}$  каждого участка:

$$b_{1vi} = \frac{-b_{0vi} + \sqrt{b_{0vi}^2 + \frac{2 \cdot 3,6^2 \cdot L \cdot F_i}{L_i \cdot m_v} (C_{vi} + C_{vi+1})}}{C_{vi} + C_{vi+1}},$$

где  $b_{0vi}$  — максимальная пороговая скорость, до величины которой объемная деформация на  $i$ -ом участке автомобиля не наступает;  $L$  — ширина зоны непосредственного контакта;  $L_i$  — ширина  $i$ -го участка;  $F_i$  — сила удара на  $i$ -ом участке (максимальная);  $m_v$  — масса автомобиля;  $C_{vi}$ ,  $C_{vi+1}$  — значения деформаций на границах  $i$ -го участка автомобиля.

4. Для каждого участка зоны непосредственного контакта дифференцированно определяются значения коэффициентов жесткости ударяемого автомобиля [15, 16]:

$$A_{vi} = \frac{m_v \cdot b_{0vi} \cdot b_{1vi}}{3,6^2 \cdot L},$$

$$B_{vi} = \frac{m_v \cdot b_{1vi}^2}{3,6^2 \cdot L}.$$

### Результаты

В рамках показанного в данной статье исследования с применением представленного алгоритма было выполнено дифференцирование жесткости транспортного средства с разбиением на зоны [17] не только по ширине деформирования, но и по высоте [18–21]

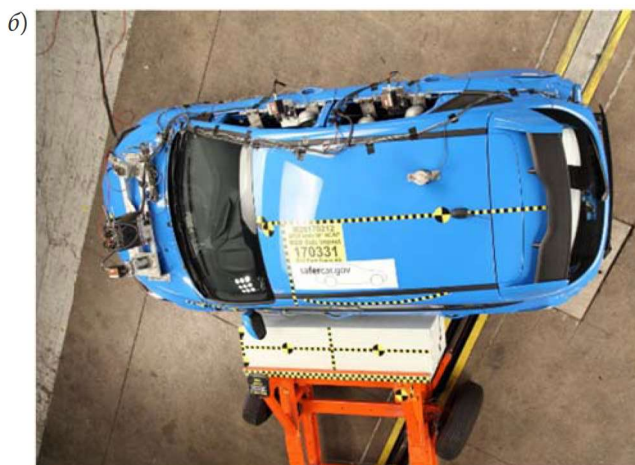
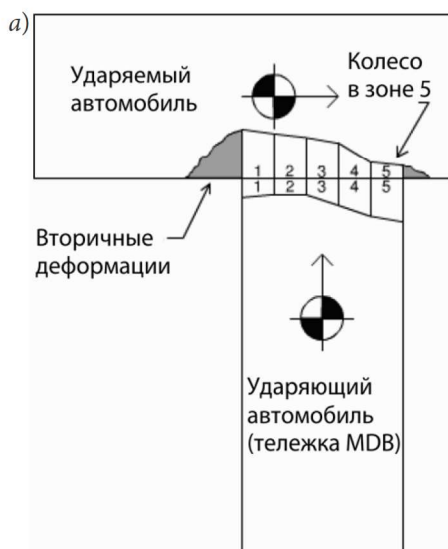


Рис. 3. Испытание на боковое столкновение автомобиля Ford Focus 2017 года выпуска: а — схема проведения испытания; б — проведение испытания

(основываясь на конструкционных особенностях транспортного средства [22]). В результате была установлена пространственная зональная локализация жесткости боковой части кузова транспортного средства [23–26].

Для построения пространственной сетки зон локальной жесткости объект исследования был разделен на 4 уровня по высоте:

- первый уровень — порог автомобиля;
- второй — место расположения сиденья водителя или пассажира;
- третий — нижняя часть окна по вертикали;
- четвертый — подоконная часть кузова.

По ширине объект исследования разделили на 5 уровней:

- первый уровень — передняя стойка;
- второй — водительская дверь;
- третий — центральная стойка;
- четвертый — пассажирская дверь;
- пятый — задняя стойка (рис. 4).

В результате произведенных расчетов по факту исследуемого происшествия были определены соответствующие коэффициенты каждой локальной зоны боковой части кузова автомобиля Ford Focus 2017 года выпуска:

$A$  — удельная сила, которую выдерживает передняя часть автомобиля без остаточной (пластической) деформации, Н/м;

$B$  — жесткость внутренней структуры автомобиля, или величина дополнительной

удельной силы, требующейся для производства деформации единичной длины, Н/м<sup>2</sup>;

$G$  — упругая энергия конструкции, Н.

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Необходимо учесть, что усредненные значения коэффициента Гука и модуля упругости  $I$  рода, полученные при использовании стандартной методики, соответственно равны  $A = 30869,4$  Н/м,  $B = 456200$  Н/м<sup>2</sup>.

С целью адаптации и наглядности разницы значений коэффициентов жесткости в табл. 2 представлено их процентное соотношение.

На основании полученных данных становится возможным использование методики определения локальных коэффициентов жесткости исходя из процентного отношения к общей жесткости транспортного средства. Чтобы наглядно [27, 28] представить зоны локальной жесткости, была составлена тепловая карта расположения зон локальной жесткости боковой части кузова автомобиля (рис. 5).

### Обсуждение

Для повышения практической применимости составленного цветового изображения зон с ее фактическим значением была разработана схема с соответствующими значениями коэффициентов Гука и модуля упругости  $I$  рода в процентном соотношении (рис. 6 и 7).

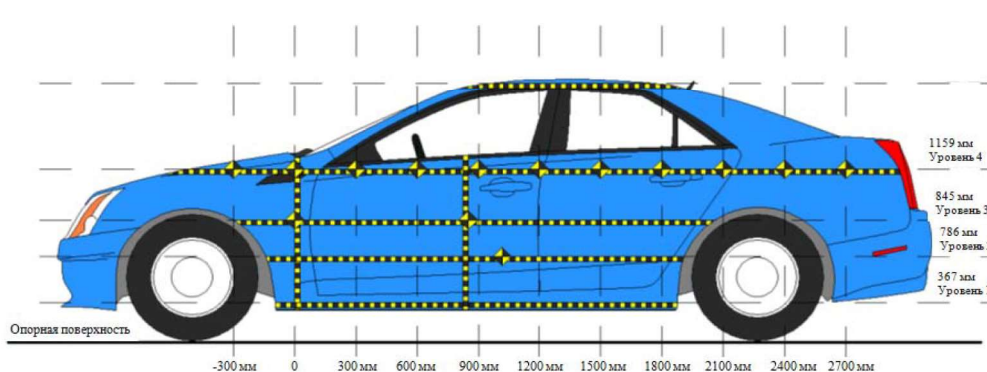


Рис. 4. Пространственная сетка зон локальной жесткости боковой части кузова автомобиля



Таблица 1

**Дифференцированные по ширине и высоте коэффициенты жесткости боковой части кузова автомобиля**

Коэффициент жесткости	Уровень	1 (передняя стойка)	2 (водительская дверь)	3 (центральная стока)	4 (пассажирская дверь)	5 (задняя стойка)
Коэффициент Гука, Н/м	4 (подоконная часть автомобиля)	54610,07	39368,5	36974,11	35449,7	37051,62
	3 (нижняя часть окна по вертикали)	34477,39	26252,22	24938,5	24909,73	26592,38
	2 (место расположения сиденья водителя или пассажира)	32940,06	23666,11	21117,91	19774,39	23431,8
	1 (порог транспортного средства)	38852,97	30714,28	29788,64	28138,83	28338,14
Модуль упругости I рода, Н/м <sup>2</sup>	4 (подоконная часть автомобиля)	1338918	695834,6	613767,4	564200,5	616343,3
	3 (нижняя часть окна по вертикали)	533675,2	309414,3	279221,6	278577,7	317484,7
	2 (место расположения сиденья водителя или пассажира)	487143,6	251456,1	200221,2	175555,5	246501,5
	1 (порог транспортного средства)	677730,3	423534,8	398391,2	355484,3	360537,9

Таблица 2

**Процентное соотношение значений дифференцированных коэффициентов жесткости**

Коэффициент жесткости	Уровень	1 (передняя стойка)	2 (водительская дверь)	3 (центральная стока)	4 (пассажирская дверь)	5 (задняя стойка)
Коэффициент Гука	4 (подоконная часть автомобиля)	177 %	128 %	120 %	115 %	120 %
	3 (нижняя часть окна по вертикали)	112 %	85 %	81 %	81 %	86 %
	2 (место расположения сиденья водителя или пассажира)	107 %	77 %	77 %	68 %	76 %
	1 (порог транспортного средства)	126 %	99 %	96 %	91 %	92 %
Модуль упругости	4 (подоконная часть автомобиля)	293 %	153 %	135 %	124 %	135 %
	3 (нижняя часть окна по вертикали)	117 %	68 %	61 %	61 %	70 %
	2 (место расположения сиденья водителя или пассажира)	107 %	55 %	44 %	38 %	54 %
	1 (порог транспортного средства)	149 %	93 %	87 %	78 %	79 %

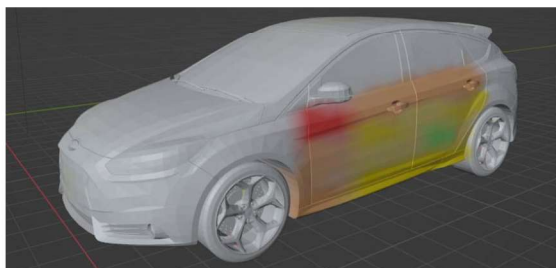


Рис. 5. Тепловая карта жесткости боковой части кузова автомобиля

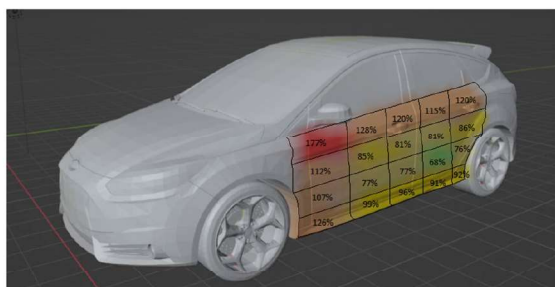


Рис. 6. Процентное изображение коэффициента Гука по типу цветовой карты

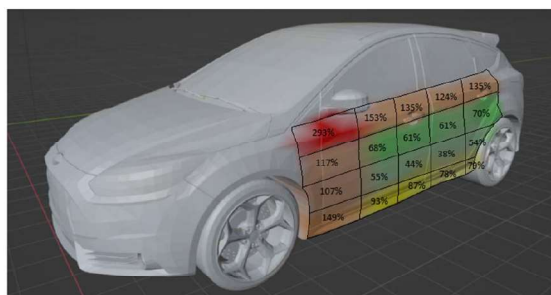


Рис. 7. Процентное изображение модуля упругости по типу цветовой карты

## Выводы

Проанализировав полученные результаты применения предлагаемого алгоритма, его апробации и его модификации, подтверждаем гипотезу о том, что данная методика позволяет с высокой долей точности определить скорость движения автомобиля в момент его столкновения, тем самым совершенствуя существующие методы оценки обстоятельств происшествия.

Представленный метод особенно актуален в таких дорожно-транспортных ситуациях, как нецентральный удар с наличием вторичных повреждений, где затруднено

установление индивидуальных показателей, необходимых для проведения автотехнической экспертизы. Таким образом, необходимо изучать и исследовать уникальные характеристики кузовов автомобилей для проведения экспертиз в случаях, когда существующие методики не предоставляют возможности расчета однозначного и обоснованного результата.

## Библиографический список

1. Comparative research of orderliness dynamics of road safety systems in the volga federal district and the Russian Federation / A. I. Petrov, V. I. Kolesov, S. A. Evtuykov, D. A. Petrova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroyneh – 2019, ISM 2019, Kazan, 12–13 сентября 2019 года. Vol. 786. Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012084. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012084. EDN OZJOSB.
2. Evtukov S. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles / S. Evtukov, E. Golov, T. Sazonova // MATEC Web of Conferences, Novosibirsk, 16–19 мая 2018 года. Vol. 239. Novosibirsk: EDP Sciences, 2018. P. 04018. DOI: 10.1051/mateconf/201823904018. EDN DRLXDH.
3. Evtukov S. S. Innovative safety systems for modern vehicles / S. S. Evtukov, E. V. Golov, N. A. Ivanov // T-Comm. 2019. Vol. 13, No. 6. Pp. 71–76. DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10283. EDN UVIVAU.
4. Коломеец А. А., Куракина Е. В. Возможности совершенствования обеспечения автоматизированного управления при подготовке водителей транспортных средств // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). С. 215–221.
5. Куракина Е. В., Склярова А. А. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе «Участник дорожного движения – Транспортное средство – Дорога – Внешняя среда» // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17, № 4 (74). С. 488–499.
6. Indicators of Road Safety as a Phenomenon of National Security of the State / A. Kvitchuk, M. Kvitchuk, S. Evtuykov, E. Golov // Conference “INTERAGROMASH 2021”. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Volume 2: Conference proceedings, Ростов-на-Дону, 24–26 февраля 2021 года. Ростов-на-Дону: Springer, 2022. P. 159–168. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1\_16. EDN TKDFDL.



7. Голов Е. В. Фактор скорости в системе безопасности дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 3 (86). С. 139–148.
8. Евтюков С. А., Лукашов Б. В. Исследование подсистемы выявления инцидентов интеллектуальной транспортной системы // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 1 (90). С. 136–142.
9. Шевцова А. Г. Валидность закона Смита в условиях реализации программы Vision Zero // Мир транспорта и технологических машин. 2021. № 4 (75). С. 49–57.
10. Евтюков С. С., Голов Е. В. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения в Ленинградской области // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 85–89.
11. Петров А. И., Евтюков С. А. Сравнительная энтропийная оценка состояния (2021) дорожно-транспортной аварийности в крупных городах России // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т., Тюмень, 21 апреля 2022 года. Т. II. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. С. 118–121.
12. Ризаева Ю. Н., Клявин В. Э., Погодина Е. К. О скоростном режиме на дорогах России // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. В 2 т. Орел, 18–19 мая 2021 года. Т. 1. Орел: Орловский государственный университет, 2021. С. 372–381.
13. Автотехнические судебные экспертизы. URL: [https://pravorub.ru/articles/yekspertnaj\\_dejtelnost/avtotehnicheskie\\_sudebnye\\_ykspertizy](https://pravorub.ru/articles/yekspertnaj_dejtelnost/avtotehnicheskie_sudebnye_ykspertizy)
14. Никонов В. Н. Реконструкция обстоятельств ДТП: Введение в современные методы экспертных исследований. Использование краш-тестов. Уфа, 2017. 126 с.
15. A Method for Determining Crush Stiffness Coefficients from Offset Frontal and Side Crash Test / Neptune J., Flynn J. // Accident Reconstruction: Technology and Animation VII-SP-1319, SAE 1998. Transactions – Journal of Passenger Cars-V107-6
16. Никонов В. Н. Алгоритм CRASH3. Удар сбоку — как определить жесткость автомобиля. URL: <https://pravorub.ru/articles/41861.html>
17. Evtukov S. Improving the accuracy of stiffness coefficient calculation when estimating the kinetic energy spent on vehicle deformation / S. Evtukov, E. Golov, Ja. Rajczyk // Architecture and Engineering. 2020. Vol. 5, No. 1. Pp. 45–50. DOI 10.23968/2500-0055-2020-5-1-45-50. EDN LYNZDZ.
18. Белехов А. А., Капенкова А. И., Евтюков С. С. Оценка возможности установки систем сбора и накопления энергии на транспортные средства, находящиеся в эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 6 (95). С. 134–140.
19. Васильев Я. В., Воронин В. В. Применение коэволюционных генетических алгоритмов в задачах установления места контакта объектов исследования в экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 4 (87). С. 113–121.
20. Голов Е. В., Евтюков С. С. Исследование закономерностей изменения коэффициентов жесткости автомобилей категории М1 в зависимости от года выпуска и в соответствии с классификацией Euro NCAP // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3–3 (78). С. 10–20.
21. Голов Е. В. Повышение точности расчета скорости движения в момент ДТП при столкновениях с неполным перекрытием части кузова автомобиля // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18, № 3 (79). С. 306–316.
22. Евтюков С. С., Голов Е. В. Выбор коэффициентов при определении затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1 (72). С. 152–157.
23. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622677 Российская Федерация. База данных жесткостных характеристик автомобилей категории М1 для проведения дорожно-транспортных экспертиз: № 2021622611: заявл. 18.11.2021 : опубл. 29.11.2021 / Е. В. Голов, Я. В. Васильев, С. С. Евтюков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».
24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662158 Российская Федерация. Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учетом полученных деформаций : № 2021661136 : заявл. 14.07.2021 : опубл. 23.07.2021 / Е. В. Голов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».
25. Сараев А. В., Новописный Е. А., Новиков И. А., Дорохин С. В. Современные подходы в исследовании обстоятельств дорожно-транспортных происшествий. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2016. 105 с.
26. Голов Е. В., Евтюков С. А., Андреев А. П., Сорокина Е. В. Формирование трехмерной пространственной базы исходных данных с использованием сканирующих беспилотных летательных аппаратов и ее интеграция в модельно-ориентированную реконструкцию дорожно-транспортных происшествий // Транспорт Урала. 2022. № 1 (72). С. 74–79.
27. Добромиров В. Н., Евтюков С. С., Голов Е. В. Современные технологии первичного осмотра места



дорожно-транспортного происшествия // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2 (61). С. 232–239.

28. Новиков А. Н., Новиков И. А., Лазарев Д. А., Махонин В. Л. Исследование сложного перемещения транспортного средства при проведении дорожно-транспортной экспертизы // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3–3 (78). С. 53–59.

## References

1. Petrov A. I., Kolesov V. I., Evtyukov S. A., Petrova D. A. Comparative research of orderliness dynamics of road safety systems in the Volga Federal District and the Russian Federation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, International Scientific Conference Interstroyemeh – 2019, ISM 2019, Kazan, September 12–13, 2019, vol. 786. Kazan, Institute of Physics Publ., 2020, pp. 012084. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012084. EDN OZJOSB.

2. Evtukov S., Golov E., Sazonova T. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles. *MATEC Web of Conferences*, Novosibirsk, May 16–19, 2018, v ol. 239. Novosibirsk, EDP Sciences, 2018, pp. 04018. DOI: 10.1051/mateconf/201823904018. EDN DRLXDH.

3. Evtukov S. S., Golov E. V., Ivanov N. A. Innovative safety systems for modern vehicles. *T-Comm.*, 2019, vol. 13, no. 6, pp. 71–76. DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10283. EDN UVIVAU.

4. Kolomeets A. A., Kurakina E. V. *Vozmozhnosti sovershenstvovaniya obespecheniya avtomatizirovannogo upravleniya pri podgotovke voditeley transportnykh sredstv* [Possibilities of improving the provision of automated control in the training of drivers of vehicles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 2 (85), pp. 215–221.

5. Kurakina E. V., Sklyarova A. A. *Povyshenie urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v sisteme "Uchastnik dorozhnogo dvizheniya - Transportnoe sredstvo - Doroga - Vneshnyaya sreda"* [Improvement of road safety in the system "Road User – Vehicle – Road – External Environment"]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta – Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*, 2020, vol. 17, no. 4 (74), pp. 488–499.

6. Kvitchuk A., Kvitchuk M., Evtyukov S., Golov E. Indicators of road safety as a phenomenon of national security of the state. *Proceedings of the conference INTERAGROMASH 2021. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry*, vol. 2. Rostov-on-Don, February 24–26, 2021. Springer Publ., 2022, pp. 159–168. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1\_16. EDN TKDFDI..

7. Golov E. V. *Faktor skorosti v sisteme bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Speed factor in the system of road

safety]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 3 (86), pp. 139–148.

8. Evtyukov S. A., Lukashov B. V. *Issledovanie podsistemy vyyavleniya intsidentov intellektual'noy transportnoy sistemy* [Investigation of the subsystem for detecting incidents of the intelligent transport system]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 1 (90), pp. 136–142.

9. Shevtsova A. G. *Validnost' zakona Smida v usloviyakh realizatsii programmy VisionZero* [Validity of Smid's law under the conditions of VisionZero program implementation]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2021, no. 4 (75), pp. 49–57.

10. Evtyukov S. S., Golov E. V. *Audit bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na avtomobil'nykh dorogakh regional'nogo znacheniya v Leningradskoy oblasti* [Audit of road traffic safety on regional roads in the Leningrad Region]. *Transport Urala – Transport of the Urals*, 2017, no. 2 (53), pp. 85–89.

11. Petrov A. I., Evtyukov S. A. *Sravnitel'naya entropiynaya otsenka sostoyaniya (2021)dorozhno-transportnoy avariynosti v krupnykh gorodakh Rossii* [Comparative entropic assessment of the state of (2021) road accident rate in major cities of Russia]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy"* [Proceedings of the International scientific and technical conference "Transport and transport-technological systems"]. In 2 vols. Vol. II. Tyumen, Tyumen Industrial University Publ., 2022, pp. 118–121.

12. Rizaeva Yu. N., Klyavin V. E., Pogodina E. K. *O skorostnom rezhime na dorogakh Rossii* [Concerning the speed mode on the roads of Russia]. *Trudy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte"* [Proceedings of the VII International scientific-practical conference "Information technologies and innovations on transport"]. In 2 vols. Vol. 1. Orel, Orlovskiy gosudarstvenniy universitet Publ., 2021, pp. 372–381.

13. *Avtotekhnicheskie sudebnye ekspertizy* [Autotechnical forensic examinations]. Available at: [https://pravorub.ru/articles/yekspertnaj\\_dejtelnost/avtotekhnicheskie\\_sudebnye\\_ykspertizy](https://pravorub.ru/articles/yekspertnaj_dejtelnost/avtotekhnicheskie_sudebnye_ykspertizy)

14. Nikonov V. N. *Rekonstruktsiya obstoyatel'stv DTP: Vvedenie v sovremennye metody ekspertnykh issledovaniy* [Reconstruction of the circumstances of a traffic accident: Introduction to modern methods of expert examinations]. *Ispol'zovanie krash-testov* [In: The use of crash tests]. Ufa, 2017, 126 p.

15. Neptune J., Flynn J. A method for determining crush stiffness coefficients from offset frontal and side crash test. *Accident Reconstruction: Technology and Animation*,



Vii-SP-1319, SAE 1998 Transactions – Journal of Passenger Cars-V107-6.

16. Nikonov V. N. *Algoritm CRASH3. Udar sboku — kak opredelit' zhestkost' avtomobilya* [Algorithm CRASH3. Side impact - how to determine the stiffness of the car]. Available at: <https://pravorub.ru/articles/41861.html>

17. Evtyukov S., Golov E., Rajczyk Ja. Improving the accuracy of stiffness coefficient calculation when estimating the kinetic energy spent on vehicle deformation. *Architecture and Engineering*, 2020, vol. 5, no. 1, pp. 45-50. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-45-50. EDN LYNZDZ.

18. Belekhov A. A., Kapenkova A. I., Evtyukov S. S. *Otsenka vozmozhnosti ustanovki sistem sbora i nakopleniya energii na transportnye sredstva, nakhodyashchiesya v ekspluatatsii* [Evaluation of the possibility of installing energy collection and storage systems on vehicles in service]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 6 (95), pp. 134–140.

19. Vasil'ev Ya. V., Voronin V. V. *Primenenie koevolutsionnykh geneticheskikh algoritmov v zadachakh ustanovleniya mesta kontakta ob'ektov issledovaniya v ekspertize DTP* [Application of coevolutionary genetic algorithms in the problems of establishing the contact location of the objects of investigation in the examination of road traffic accidents]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 4 (87), pp. 113–121.

20. Golov E. V., Evtyukov S. S. *Issledovanie zakonomernostey izmeneniya koeffitsientov zhestkosti avtomobiley kategorii m1 v zavisimosti ot goda vypuska i v sootvetstviy s klassifikatsiyey Euro NCAP* [Study of regularities of changes in the stiffness coefficients of m1 cars depending on the year of manufacture and in accordance with the Euro NCAP classification]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2022, no. 3–3 (78), pp. 10–20.

21. Golov E. V. *Povyshenie tochnosti rascheta skorosti dvizheniya v moment DTP pri stolknovenyakh s nepolnym perekrytiem chasti kuzova avtomobilya* [Increasing the accuracy of calculation of speed at the time of an accident in collisions with incomplete overlapping of the car body part]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta – Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*, 2021, vol. 18, no. 3 (79), pp. 306–316.

22. Evtyukov S. S., Golov E. V. *Vybor koeffitsientov pri opredelenii zatrat kineticheskoy energii na deformatsiyu avtomobilya* [Choice of coefficients in determining the costs of kinetic energy for vehicle deformation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 1 (72), pp. 152–157.

23. Golov E. V., Vasil'ev Ya. V., Evtyukov S. S. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2021622677 Rossiyskaya Federatsiya. Baza dannykh*

*zhestkostnykh kharakteristik avtomobiley kategorii M1 dlya provedeniya dorozhno-transportnykh ekspertiz no. 2021622611* [Certificate of state registration of database 2021622677 Russian Federation. Data base of stiffness characteristics of M1 category automobiles for motoring survey no. 2021622611]. Applied November 18, 2021, published on November 29, 2021. Applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering”.

24. Golov E. V. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2021662158 Rossiyskaya Federatsiya. Programma rascheta skorosti avtomobilya-uchastnika DTP v moment stolknoveniya s uchyotom poluchennykh deformatsiy no. 2021661136* [Certificate of State Registration of Computer Programmes No 2021662158, Russian Federation. The program of calculation of the velocity of a car which was involved in an accident at the moment of collision, taking into account the obtained deformations, no. 2021661136]. Applied 14.07.2021. Published on July 23, 2021. Applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering”.

25. Saraev A. V., Novopisniy E. A., Novikov I. A., Dorokhin S. V. *Sovremennyye podkhody v issledovanii obshchey dorozhno-transportnykh proisshestviy* [Modern approaches in the study of the circumstances of road accidents]. Voronezh, Voronezh State Forestry University, G.F. Morozov Publ., 2016, 105 p.

26. Golov E. V., Evtyukov S. A., Andreev A. P., Sorokina E. V. *Formirovanie trekhmernoy prostranstvenno-sledovoy bazy iskhodnykh dannykh s ispol'zovaniem skaniruyushchikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov i ee integratsiya v model'no-orientirovannuyu rekonstruktsiyu dorozhno-transportnykh proisshestviy* [Formation of a three-dimensional spatial and trace database of raw data using scanning drones and its integration into model-oriented reconstruction of road accidents]. *Transport Urala – Transport of the Urals*, 2022, no. 1 (72), pp. 74–79.

27. Dobromirov V. N., Evtyukov S. S., Golov E. V. *Sovremennyye tekhnologii pervichnogo osmotra mesta dorozhno-transportnogo proisshestiya* [Modern technologies of primary inspection of the scene of a road accident]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 2 (61), pp. 232–239.

28. Novikov A. N., Novikov I. A., Lazarev D. A., Makhonin V. L. *Issledovanie slozhnogo peremeshcheniya transportnogo sredstva pri provedenii dorozhno-transportnoy ekspertizy* [Investigation of complex displacement of a vehicle during road traffic examination]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2022, no. 3–3 (78), pp. 53–59.