

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА РИСКА ПОЛУЧЕНИЯ ТРАВМ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ

### METHODOLOGY FOR EVALUATING THE RISK OF INJURY IN RECONSTRUCTION OF ROAD TRAFFIC ACCIDENTS INVOLVING PEDESTRIANS

В производстве дорожно-транспортных экспертиз в РФ на настоящий момент нет современных комплексных исследований, научно-практических решений и методик, посвященных оценке риска получения травм различной степени тяжести участниками дорожного движения. В отличие от оценки травмирования при разработке мер пассивной безопасности в экспертных исследованиях индексы травмирования на практике не применяются, что приводит к отсутствию категоричных выводов в целом ряде экспертных задач. Целью данной статьи является определение методического подхода к решению специализированных задач дорожно-транспортной экспертизы и экспертной профилактики дорожно-транспортных происшествий в целом, связанных с оценкой риска травмирования пешехода. В статье представлены результаты анализа дорожно-транспортных экспертиз, изложена методика расчета риска травмирования пешеходов при первичном и вторичном травмировании (при ударе о транспортное средство и при падении на проезжую часть), показаны пути ее дальнейшего применения в практике производства экспертных исследований и при разработке мероприятий в рамках экспертной профилактики дорожно-транспортных происшествий.

*Ключевые слова:* дорожно-транспортное происшествие, пешеход, индекс травмирования, травмирование, риск, логит-модель, дорожно-транспортная экспертиза, экспертная профилактика ДТП.

At present, in road traffic examinations (RTE) carried out in the Russian Federation, there are no modern comprehensive studies, scientific and practical solutions and methods which would be dedicated to assessing the risk of obtaining injuries of varying severity by road traffic participants. In contrast to injury assessment in the development of passive safety measures, injury indices in practice are not used in RTE, which leads to a lack of categorical conclusions in a number of expert tasks. The purpose of this study is to define a methodological approach to the solution of specialized tasks of road traffic accident examination and expert prevention of road traffic accidents in general related to the assessment of the risk of pedestrian injury in a road traffic accident. The article presents the analysis results of road traffic accident examinations. The methodology for evaluating the risk of pedestrian injuries in primary and secondary injuries (when being hit by the vehicle and when falling on the roadway) is outlined. The ways of this methodology's further use in the practice of road traffic accident examinations, as well as in the development of measures within the expert prevention of traffic accidents, are shown.

*Keywords:* road traffic accident, pedestrian, injury index, injuries, risk, logit-model, road traffic accident examination, expert road traffic accident prevention.

#### Введение

Методология производства дорожно-транспортной экспертизы (ДТЭ) и экспертной профилактики (ЭП) дорожно-транс-

портных происшествий (ДТП) с участием пешеходов на настоящий момент в РФ не имеет готовых решений по формированию единой цифровой платформы для производ-

ства экспертного анализа и профилактики ДТП. При этом следует обратить внимание, что уровень цифровой инфраструктуры в области ДТЭ и ЭП ДТП в целом следует отнести к незрелому уровню, так как фактически мы имеем дело с несвязанной инфраструктурой, в которой практически нет цифровизации даже отдельных процессов. Таким образом, можно сказать, что в РФ на настоящий момент в области экспертной деятельности по ДТП (производство ДТЭ и выполнение экспертной профилактики ДТП) еще не завершился полностью этап автоматизации отдельных процедур исследования, который является необходимой ступенью в переходе к цифровизации и от нее к цифровой трансформации. В этой связи переход к модельно-ориентированной реконструкции (МОР) существенно ограничен в текущих условиях и сильно сдерживается отсутствием комплексных научно-методических решений не только по цифровизации процедур МОР, но и в области разработки новых подходов при решении частных задач ДТЭ.

Анализ системных процессов внутри границ системы *Участник(-и) дорожного движения – Транспортное средство – Дорога – Среда* опирается на множество математических моделей, находящихся как в различном уровне детализации, так и в различном временном масштабе. Эволюционный переход через МОР механизма ДТП как вид человеко-машинной системы в сочетании с развитием теории и методологии машинного обучения, анализа больших объемов данных и других тенденций, лежащих в переходе к Индустрии 4.0, формирует условия для перехода к интеллектуальным системам, реализующим многомасштабные модели и новые методы решения экспертных задач в ДТЭ и в ЭП ДТП.

Для этого в практику исследований, проводимых при производстве ДТП, а также в практику выбора, обоснования и реализации мер в рамках ЭП ДТП следует ввести

следующие понятия: «цифровая модель механизма травмирования пострадавшего в ДТП» — модель, выполненная в специализированном программном обеспечении и представляющая собой совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными, реализующая все стадии перемещений тела пострадавшего внутри пространства моделирования, а также позволяющая оценить достигнутые фактически в ДТП значения индексов травмирования, где, соответственно, понятие «индекс травмирования» — это один из видов ранжирования тяжести травмы или политравмы человека, используемый для оценки вероятности травмирования или оценки полученных травм водителем, пассажиром или пешеходом при экспертном причинном анализе и экспертной профилактике ДТП.

#### Методы

Результаты статистического анализа эффективности (категоричности) ДТЭ и ЭП ДТП были представлены ранее в [1, 2] за период с 2011 по 2021 гг. В данной выборке рассматривались следующие случаи: наезд (Н), наезд с повторным наездом при падении/отбросе тела (Н+Н) и столкновение транспортных средств (ТС) с последующим наездом на пешехода (или на группу пешеходов, например, на стоявших в ожидании разрешающего сигнала светофора на пешеходном переходе или ожидавших маршрутные ТС на остановках общественного транспорта) одним из ТС, участвовавших в столкновении (С+Н). По всем случаям Н, Н+Н и С+Н рассматривались задачи определения тяжести первичного и вторичного травмирования пешеходов с учетом фактической и максимально допустимой скорости движения ТС. Было установлено, что только в 27 % от общего числа исследованных ДТЭ экспертами был дан категоричный вывод, в 18 % были даны вероятностные выводы и в 60 % был дан отказ от вывода по причинам отсутствия методики расчета и/или из-за недостаточности

сти объема представленных следствием или судом исходных данных.

Здесь следует отметить, что на настоящий момент в сфере производства ДТЭ по ДТП с участием пешеходов и по экспертной профилактике таких ДТП сохраняется существенный объем неразрешенных методических задач, отсутствие методов решения по которым не позволяет устранить возникающую напряженность между аргументами защиты и обвинения в суде, а также между мерами по предотвращению ДТП с участием пешеходов и реальной статистикой таких ДТП.

Помимо изложенного, в рамках исследуемой выборки также было определено распределение частоты однородных видов действий пешеходов (рис. 1), предшествовавших наезду на них ТС для всех возрастных групп.

В рамках данного исследования зафиксированные в судебно-медицинских заключениях травмы пешеходов оценивались по шкале AIS (Abbreviated Injury Score — сокращённая шкала оценки телесных повреждений) по [3].

На основе использования в качестве базового индекса травмирования индекса AIS были получены графики распределения количества ДТП (средневзвешенно) с различными видами AIS в зависимости от скорости в момент наезда для пешеходов (рис. 2).

Учитывая ранее опубликованные [4, 5] оценки вероятности наступления летального исхода в зависимости от скорости движения ТС в момент наезда (на пешехода) на основе используемой выборки по ДТЭ было произведено разделение пострадавших на возрастные группы, что позволило уточнить графики распределения вероятности. Полученные графики изменения вероятности летального исхода у пешеходов показаны на рис. 3.

Далее были отобраны ДТЭ, в которых скорость движения ТС в момент наезда была определена категорично, при этом пострадавшими являлись взрослые лица старше 18 лет. Из выборки были попутно исключены случаи ухудшения тяжести по причинам дополнительных факторов, возникающих в связи с ДТП, например, заражение крови сразу после ДТП при попадании пешехода

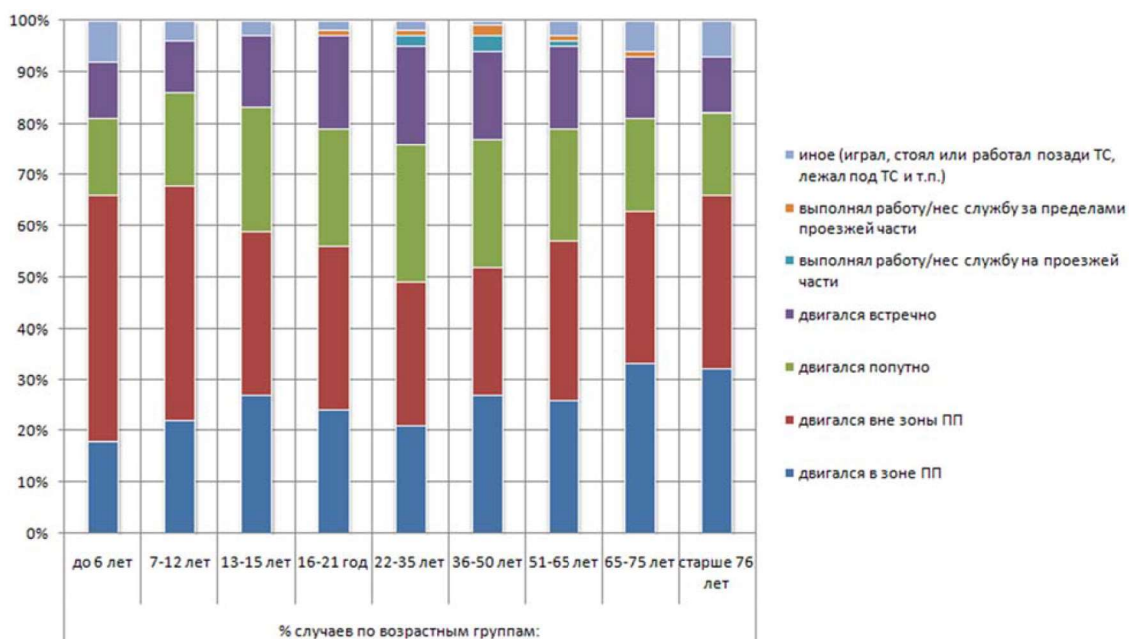


Рис. 1. Распределение частоты случаев различных видов действий пешеходов до ДТП

в кювет со стоячей водой и т. п., при этом отбирались случаи, в которых по данным судебно-медицинской экспертизы (СМЭ) было возможно категорично разделить локализации телесных повреждений на первичные (от удара о ТС) и вторичные (от падения/волочения после сброса с ТС). Всего было отобрано 348 материалов ДТЭ по наездам на пешеходов.

**Результаты**

В результате на базе полученных подвыборок были получены:

1. Зависимость изменения значения индекса AIS от скорости в момент наезда для пешеходов при первичном травмировании (рис. 4, а):

$$AIS = 2,09651e^{0,0154V}. \quad (1)$$

Полученная зависимость (1) имеет классический экспоненциальный вид (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,921$ ).

2. Зависимость изменения значения индекса AIS от скорости в момент наезда для пешеходов при вторичном травмировании (рис. 4, б):

$$AIS = 1E-05V^3 - 0,0017V^2 + 0,0738V + 1,6297. \quad (2)$$

Полученная зависимость (2) имеет полиномиальный вид третьего порядка (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,908$ ).

Среди уже известных работ по применению логит-моделей, показанных в [6, 7, 8], при оценке риска наступления летального исхода ранее использовались существенно меньшие выборки, при этом базовый компонент риска чаще всего изложен к более общему индексу MAIS, что снижает точность оценки. При оценке получения критических или летальных значений индексов травмирования (включая оценки таких индексов, как Nij, NIC и ISS [9]), полученные зависимости можно применять в качестве базового компонента риска для логит-моделей, описываемых в виде выражения

$$\ln \frac{p}{(1-p)} = \sum_{i=1}^n (\beta_0 + \beta_i X_i), \quad (3)$$

где  $\ln$  — знак натурального логарифма;  $p$  — вероятность тяжелой травмы пешехода с индексом AIS = 3, 4, 5, 6 (AIS3+);  $p/(1-p)$  — вероятность легкой травмы пешехода по срав-

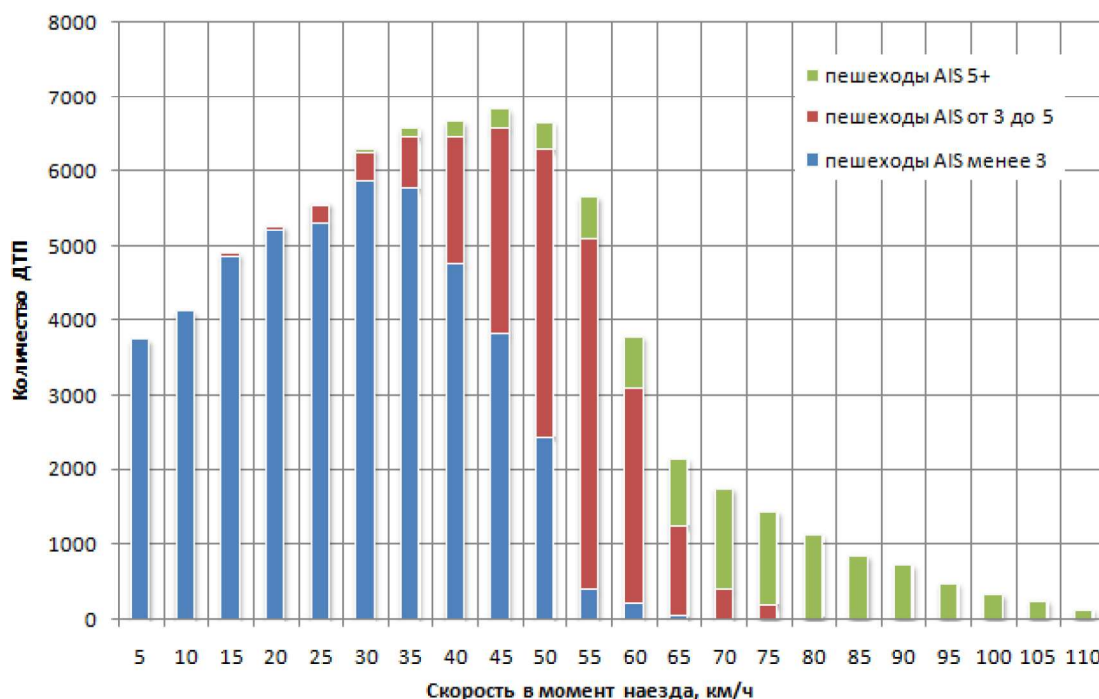


Рис. 2. Распределение количества ДТП (средневзвешенно) с различными видами AIS в зависимости от скорости в момент наезда для пешеходов

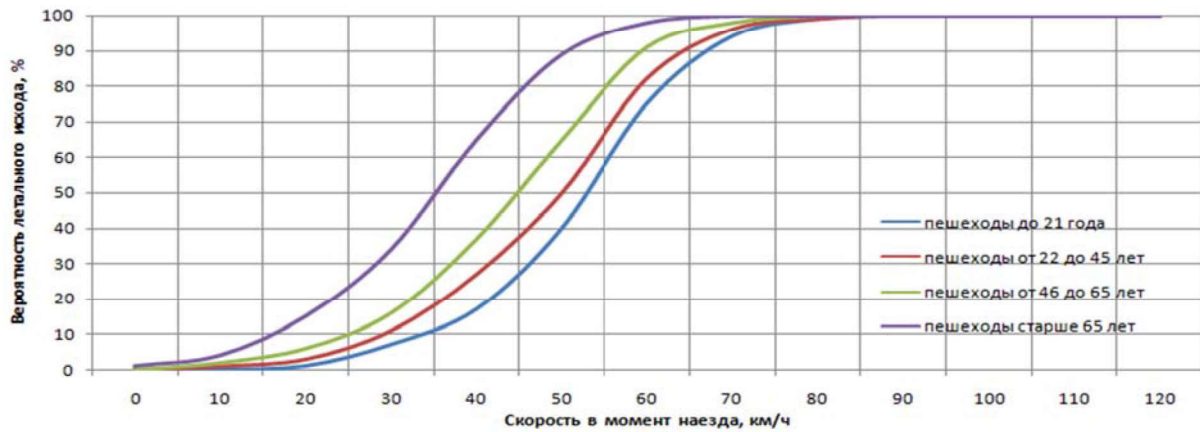


Рис. 3. Вероятность летального исхода в зависимости от скорости в момент наезда для пешеходов по возрастным группам

нению с тяжелой (с индексом AIS = 0, 1, 2);  $\beta_0$  — базовый компонент риска, в качестве которого может использоваться оценка по полученным выше зависимостям;  $\beta_i$  — весовые коэффициенты  $i$ -го бинарного фактора;  $X_i$  —  $i$ -й бинарный фактор (по принципу да/нет) риска, оказывающий влияние на травмирование (например, возраст, наличие рюкзака на спине и т. п.).

### Обсуждение

Показанный в настоящей статье метод реализации статистического моделирования был осуществлен в программном обеспечении MatLab2021b с использованием процедуры Survey Logistic. Предложенная методи-

ка расчета риска травмирования пешеходов в составе программной реализации в MatLab 2021b была включена в цифровую модель механизма травмирования пострадавшего в ДТП при решении задач оценки травмирования (первичного и/или вторичного). В частности, при производстве ДТЭ в Институте безопасности дорожного движения СПбГАСУ в процессе решения задач по установлению причинной связи между превышением максимально допустимой по ПДД скорости движения водителем и полученным пешеходом объемом телесных повреждений (политравмы в целом) во всех случаях

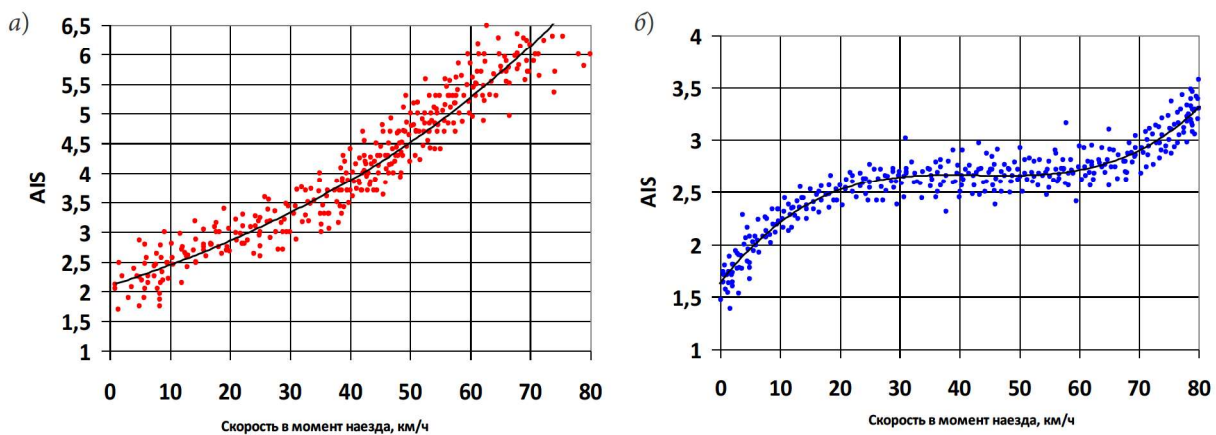


Рис. 4. Распределение значений AIS к скорости  $V$  в момент наезда (для пешеходов): а — при первичном травмировании (при ударе о ТС); б — при вторичном травмировании (при падении тела)

применения методики был дан категоричный вывод.

### Выводы

Обобщая результаты проведенных исследований, следует сделать следующие выводы:

1. На основе обширной выборки по ДТЭ, выполненной в СЗФО РФ за период с 2011 по 2021 гг., определен характер изменения вероятности наступления летального исхода в ДТП у пешехода с учетом скорости движения ТС в момент наезда (в момент ДТП).

2. Предложена методика расчета риска получения травм в оценке по шкале AIS, определены зависимости для расчета базового компонента риска. При этом впервые произведена оценка индексов травмирования от падения пострадавшего отдельно от индексов травмирования, получаемых при ударе о ТС.

3. Изложенная общая композиция модели является универсальной и доступна для задач производства ДТЭ. В частности, использование предложенной логит-модели в конкретном факторном пространстве исследуемого ДТП позволяет получить оценку травмирования для различных соотношений действовавших факторов без использования трудоемких процедур в рамках МОР, например, изложенных в [10] или использующих гибридные конечно-элементные модели в виде антропоморфного манекена тела человека типа THUMS по [11].

4. С применением предлагаемой методики может быть решена задача установления причинной связи между установленным превышением максимально допустимой по ПДД скорости движения водителем и полученным пешеходом объемом телесных повреждений (политравмы в целом). Кроме того, использование методики может быть расширено до применения в ЭП ДТП при выборе, обосновании и реализации мер по повышению пассивной безопасности ТС относительно защищенности пешеходов в ДТП от получения тяжелых и летальных травм.

### Библиографический список

1. Васильев Я. В., Брылев И. С. Оценка риска травмирования пешеходов и велосипедистов на основе логистической регрессии в задачах дорожно-транспортной экспертизы // Грузовик. 2022. № 12. С. 34–40.
2. Васильев Я. В. Анализ вторичного травмирования пешеходов в задачах дорожно-транспортной экспертизы // Грузовик. 2023. № 1. С. 36–42.
3. Abbreviated Injury Scale (AIS) —Overview. Association for the Advancement of Automotive Medicine. 2019. URL: <https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/>
4. Jean-Louis Martin, Dan Wu. Pedestrian fatality and impact speed squared: Cloglog modeling from French national data, Traffic Injury Prevention, Volume 19, Issue 1, 2018, Pages 94–101, URL: <https://doi.org/10.1080/15389588.2017.1332408>.
5. Hu Jingwen, Klinich Kathleen. Toward designing pedestrian-friendly vehicles. January 2012 International Journal of Vehicle Safety 8 (1). DOI:10.1504/IJVS.2015.066272
6. Levulytė Loreta, Baranyai David, Sokolovskij Edgar, Török Ádám. Pedestrians' role in road accidents. International Journal for Traffic & Transport Engineering. 2017, Vol. 7 Issue 3, Pp. 328–341. 14 p. URL: [https://doi.org/10.7708/ijtete.2017.7\(3\).04](https://doi.org/10.7708/ijtete.2017.7(3).04)
7. Casado-Sanz N., Guirao B., Lara Galera A., Attard M. Investigating the Risk Factors Associated with the Severity of the Pedestrians Injured on Spanish Crosstown Roads. Sustainability. 2019; 11(19):5194. URL: <https://doi.org/10.3390/su11195194>
8. Воронин В. В. Методика расчета базового компонента риска травмирования при опрокидывании автомобиля в частных задачах дорожно-транспортной экспертизы // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 1(90). С. 130–135.
9. Sérgio David, Parreirinha Carvalho. Injuries Analysis and Computational Simulation of Two Wheelers Accidents Using Human Body Biomechanical Models. Thesis to Obtain the Master of Science Degree in Biomedical Engineering. 2013. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica De Lisboa, Portugal.
10. Евтюков С. С. Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10. СПб., 2020. 355 с.
11. THUMS. Overview and Application. Hiroshi Miyazaki. IWG DPPS 7-th Meeting September, 2020.

### References

1. Vasil'ev Ya. V., Brylev I. S. Otsenka riska travmirovaniya peshekhodov i velosipedistov na osnove

logisticheskoy regressii v zadachakh dorozhno-transportnoy ekspertizy [Estimation of pedestrian and cyclist injury risk based on logistic regression in the tasks of road traffic examination]. *Gruzovik – Truck*, 2022, no. 12, pp. 34–40.

2. Vasil'ev Ya. V. *Analiz vtorichnogo travmirovaniya peshekhodov v zadachakh dorozhno-transportnoy ekspertizy* [Analysis of secondary injury of pedestrians in the tasks of road traffic examination]. *Gruzovik – Truck*, 2023, no. 1, pp. 36–42.

3. *Abbreviated Injury Scale (AIS) — Overview*. Association for the Advancement of Automotive Medicine. 2019. Available at: <https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/>

4. Jean-Louis Martin, Dan Wu. Pedestrian fatality and impact speed squared: Cloglog modeling from French national data. *Traffic Injury Prevention*, 2018, vol. 19, iss. 1, pp. 94–101. Available at: <https://doi.org/10.1080/15389588.2017.1332408>

5. Hu Jingwen, Klinich Kathleen. Toward designing pedestrian-friendly vehicles. *International Journal of Vehicle Safety*, January 2012, 8(1). DOI:10.1504/IJVS.2015.066272

6. Levulytè Loreta, Baranyai David, Sokolovskij Edgar, Török Ádám. Pedestrians' role in road accidents. *International Journal for Traffic & Transport Engineering*, 2017, vol. 7, iss. 3, pp. 328–341. Available at: [https://doi.org/10.7708/ijtte.2017.7\(3\).04](https://doi.org/10.7708/ijtte.2017.7(3).04)

7. Casado-Sanz N., Guirao B., Lara Galera A., Attard M. Investigating the risk factors associated with the severity of the pedestrians injured on spanish cross town roads. *Sustainability*, 2019, 11(19):5194. Available at: <https://doi.org/10.3390/su11195194>

8. Voronin V. V. *Metodika rascheta bazovogo komponenta riska travmirovaniya pri oprokidyvanii avtomobilya v chastnykh zadachakh dorozhno-transportnoy ekspertizy* [Methodology for calculating the basic component of the injury risk, in cases when the car rolls over, in private tasks of road traffic accident examination]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 1 (90), pp. 130–135.

9. Sérgio David, Parreirinha Carvalho. *Injuries analysis and computational simulation of two wheelers accidents using human body biomechanical models*. Thesis to obtain the Master of Science Degree in biomedical engineering. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica De Publ., 2013, Lisboa, Portugal.

10. Evtyukov S. S. *Metodologiya otsenki i povysheniya effektivnosti dorozhno-transportnykh ekspertiz. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Methodology of assessment and improvement of the efficiency of road traffic examinations. Dr. Sci. Tech. thesis]. St. Petersburg, 2020, 355 p.

11. Hiroshi Miyazaki. THUMS. Overview and Application. *Proceedings of the IWG DPPS 7-th. Meeting, September, 2020*.