УДК 656.085

© С. С. Евтюков, канд. техн. наук, доцент

© Е. В. Голов, ассистент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: ese-89@yandex.ru, egorgoloff@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-152-157

© S. S. Evtukov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© E. V. Golov, assistant lecturer

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: ese-89@yandex.ru, egorgoloff@yandex.ru

ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗАТРАТ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ДЕФОРМАЦИЮ АВТОМОБИЛЯ

SELECTION OF COEFFICIENTS AT DETERMINING THE COST OF KINETIC ENERGY COST ON THE VEHICLE DEFORMATION

Рассматривается методика определения доли затрат кинетической энергии на развитие деформаций и эквивалентную данным затратам скорость автомобилей при технической реконструкции ДТП, а также изучаются коэффициенты, используемые в данной методике и влияющие на значение скорости транспортного средства в момент столкновения. Определяется зависимость результатов расчетов от выбора коэффициента и ставится проблема их уточнения для каждой модели автомобиля, а также модернизации используемых в экспертной практике коэффициентов жесткости с учетом современных тенденций автомобилестроения.

Ключевые слова: транспортное средство, скорость транспортного средства, дорожно-транспортное происшествие, реконструкция ДТП, экспертиза ДТП, кинетическая энергия, жесткость автомобиля.

The article deals with the technique of determining the share of kinetic energy costs for the development of deformations and the speed of the vehicle equivalent to these costs at the technical reconstruction of the accident. The coefficients used in this technique affecting the value of the vehicle speed at the time of collision are studied. The dependence of the calculation results on the choice of this coefficient is determined, and the problem of their refinement for each model of the car is set. The modernization of the rigidity coefficients used in expert practice, considering modern trends in the automotive industry, is highlighted.

Keywords: vehicle, vehicle speed, road traffic accident, reconstruction of road traffic accident, examination of road traffic accident, kinetic energy, rigidity of the car.

Обеспечение безопасности движения и снижение аварийности на автомобильных дорогах — проблема, стоящая перед всеми странами мира. Например, на дорогах России в 2017 году произошло 169 432 дорожно-транспортных происшествий (ДТП) (–2,5% аналогичный период предыдущего года (АППГ)), где погибли 19 088 (–6% АППГ) и пострадали 215 374 (–2,6 % АППГ) человек, а в период с 1 января по 31 ноября 2018 года произошло 137 254 ДТП, где погибли и пострадали 14 916 и 175 181 человек соответственно¹. Несмотря на постоянное, пусть и незначительное, снижение показателей ава-

рийности, смертность на дорогах России остается по-прежнему трагически высокой.

При реконструкции ДТП проводится дорожно-транспортная экспертиза, определяющая техническую возможность предотвращения ДТП. Методики, которые используются на данный момент экспертами, научно обоснованы и позволяют определить скорости движения транспортных средств (ТС) в момент наезда или столкновения ТС по следующим параметрам:

- исходя из условий дорожной обстановки, в том числе условий состояния дороги, видимости и т. п.;
- по длине следов юза (торможения), заноса, вождения зафиксированных на месте происшествия;
- согласно законам сохранения энергии и количества движения, которые основываются

¹ ОДМ 218.6.015-2015 «Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации»; Правила дорожного движения Российской Федерации; Приказ ФДС РФ от 23.07.1998 № 168 «Правила учета и анализа дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации».

на учёте параметров перемещений («разлёта») ТС после столкновения;

- исходя из оценки полученных ТС деформаций.

Для установления скорости движения ТС, исходя из оценки полученных ТС деформаций, в основном применяют алгоритм «Crash 3». Настоящая методика предназначена для определения доли затрат кинетической энергии (ΔE) на развитие деформаций и эквивалентную данным затратам скорость при технической реконструкции удара, используя расчет энергии, затраченной на развитие деформаций, определяемых по шести характерным точкам зоны локализации.

Точки и отметки с привязкой измерений при линейной съемке по данной методике представлены на рис. 1–3.

Измерениям подлежат (в соответствии с обозначениями на рис. 1–3): L_c — ширина локальной зоны деформаций; $C1(C_1)$ – $C6(C_6)$ — глубина деформации в точках, равномерно распределенных по ширине L_c .

При проведении измерений необходимо производить фотофиксацию. При этом точки измерений $C1(C_1)$ – $C6(C_6)$ рекомендуется обозначать на обследуемом ТС временными вешками (на-

пример, метками на самоклеящейся пленке) для фиксации точек на фотографиях.

Представленный далее алгоритм позволяет определить скорость движения ТС путем определения затрат энергии на деформации, рассчитать значения коэффициентов жесткости относительно данных краш-тестов или выбрать их по унифицированным значениям для различных классов ТС.

Первоначально определяют коэффициент жесткости «А» по результатам краш-теста по формуле:

$$A = \frac{m_t \cdot v_{\min} \cdot b_1}{3,6^2 \cdot L_t}, \quad (1)$$

где m_t — фактическая масса автомобиля марки, перед его использованием в краш-тесте, кг; L_t — ширина измеряемой зоны объемной деформации тестового автомобиля, м; $v_{\min}$ — минимальная скорость движения автомобиля при наезде на деформируемый барьер, при которой объемная деформация еще не наступает, км/ч; b_1 — доля рассеивания приведенной скорости к площади контактной зоны, (км/ч)/м.

Затем рассчитывают коэффициент жесткости «В» по результатам краш-теста:

$$B = \frac{m_t \cdot b_1^2}{3,6^2 \cdot L_t}. \quad (2)$$

Рис. 1. Линейная съемка глубины зон деформаций и привязка размеров при боковом ударе

Рис. 2. Линейная съемка глубины зон деформаций и привязка размеров при косоугольном ударе

Доля рассеивания приведенной скорости к площади контактной зоны рассчитывается по формуле

$$b_1 = \frac{V_t - v_{\min}}{C_{AVERT}}, \quad (3)$$

где V_t — скорость тестового автомобиля в момент удара о деформируемый барьер (по правилам теста NCAP на фронтальный удар в барьер), $V_t = 35$ миль/ч; C_{AVERT} — среднестатистическое

значение измерений глубины деформирования C_i в системе шести точек измерения ($n = 6$), для тестового автомобиля.

Для определения среднестатистического значения измерений глубины деформирования тестового автомобиля используют следующую формулу:

$$C_{AVERT} = \frac{\frac{C_1}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} C_i + \frac{C_n}{2}}{n-1}, \quad (4)$$

где C_i — глубина зоны объемной деформации в i -й точке (из $n = 6$), согласно результатам измерения профиля деформации тестового автомобиля, м.

На этом этапе выбора коэффициентов при определении затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля при ДТП необходимо рассчитать коэффициент жесткости G :

$$G = \frac{A^2}{2 \cdot B}. \quad (5)$$

Далее определяем длину участка измерения, м:

$$w_i = \frac{L_t}{n-1}. \quad (6)$$

При выбранных и рассчитанных коэффициентах можно определить работу сил на деформацию с возможностью получения усредненного объема деформации:

Рис. 3. Линейная съемка глубины зон деформаций и привязка размеров при фронтальном ударе

Таблица 1

Исходные данные для расчетов

№	1	2	3	4
Краш-тест №	5034	2320	4174	6221
Модель автомобиля	Ford Explorer	Dodge Neon	Ford Taurus	Toyota Yaris
w_p , мм	228,4	305	280	232,2
Метки				
C_{AVERT} , мм	488	457,7	384,6	487,6
C_6 , мм	469	362	299	421
C_5 , мм	488	456	376	497
C_4 , мм	494	498	404	507
C_3 , мм	490	512	408	517
C_2 , мм	497	457	402	491
C_1 , мм	473	369	367	431
Ширина измеряемой зоны объемной деформации, мм	1142	1525	1400	1161
V_p , км/ч	56,3	56,5	48	56,2
m_p , кг	2263,3	1354	1749	1244,6

$$E_D = \sum_{i=1}^{n-1} w_i \left(\frac{B}{6} (C_i^2 + C_i \cdot C_{i+1} + C_{i+1}^2) + \right. \\ \left. + \frac{A}{2} (c_{i+1} + c_i) + G \right) (1 + \tan^2 \theta), \quad (7)$$

где θ — угол направления приложения приведенной деформирующей силы (по направлению вектора импульса сил), с учетом результатов проведенного осмотра автомобиля участвовавшего в исследуемом ДТП, град.

Результат — эквивалентная скорость автомобиля затраченная на объемную деформацию, рассчитывается по формуле

$$V_D = 3,6 \sqrt{\frac{2E_D}{m}}, \quad (8)$$

где m — масса автомобиля с учетом загрузки в момент столкновения, кг[10].

Однако в алгоритме «Crash 3» учитываются коэффициенты, точные значения которых отсутствуют в справочной литературе, что приводит к погрешности результатов расчетов: $V_{\min}$ — минимальная скорость движения автомобиля при наезде на деформируемый барьер, при которой объемная деформация еще не наступает, другими словами, $V_{\min}$ — пороговая скорость деформации.

Показатель $V_{\min}$ целесообразно уточнить путем обработки значительного объема статистической информации о краш-тестах к каждой мо-

дели ТС. Алгоритм определения показателя $V_{\min}$ для каждой модели ТС представлен ниже на примере определения эквивалентных скоростей ТС (V_D) с учетом различных значений $V_{\min}$.

Из экспертной практики известно, что данный коэффициент находится в диапазоне от 12 до 19 км/ч для легковых автомобилей. Результаты расчетов для различных автомобилей представлены в табл. 2 (в процессе работы использовались данные краш-тестов Национального управления безопасностью движения на трассах, США (NHTSA) — исходные данные для расчетов, табл. 1)².

Как видно из табл. 2, значение $V_{\min}$ незначительно влияет на результаты расчетов эквивалентных скоростей, тем не менее необходимо регламентировать данный показатель для каждой модели ТС в целях повышения качества экспертизы и тем самым ограничения возможной деятельности нечестных на руку экспертов.

В большинстве случаев в экспертной практике используются унифицированные значения коэффициентов жесткости (A, B), которые были подготовлены в 1996 году и классифицированы только по массе и габаритным размерам, что является недостаточным. В связи с этим данные показатели (которые в свою очередь также используют значение $V_{\min}$) необходимо классифи-

² URL: <https://www.nhtsa.gov>

Таблица 2

Эквивалентные скорости ТС в зависимости от различных значений $V_{\min}$

№	Краш-тест №	Модель автомобиля	$V_{\min}$, км/ч	V_D , км/ч
1	5034	Ford Explorer	12	56,37
			15	56,33
			17	56,30
			19	56,27
2	2320	Dodge Neon	12	56,66
			15	56,64
			17	56,63
			19	56,61
3	4174	Ford Taurus	12	48,07
			15	48,06
			17	48,05
			19	48,04
4	6221	Toyota Yaris	12	56,25
			15	56,24
			17	56,24
			19	56,24

цировать в соответствии с правилами ЕЭК ООН, а также с разделением на классы и платформы базовых автомобилей, учитывая глобализационные явления в автомобилестроении^{3,4}.

Библиографический список

1. Consolazio G. R., Chung J. H., Gurley K. R. Impact simulation and full scale crash testing of a low profile concrete work zone barrier // *Computers and Structures*. 2003. V. 81. P. 1359–1374
2. Kirkpatrick S. W., Simons J. W., Antoun T. H. Development and validation of high fidelity vehicle crash simulation models. // *IJCrash'98 – International Crashworthiness Conference*.
3. Lan S., Crawford J. E., Xin X. Development of Shallow Footing Anti-ram Bollard System Through Modeling and Testing // 1-st International Conference on Analysis and Design.
4. Добромиров В.Н., Евтюков С.С. Отчет о научно-исследуемой работе «Научное обоснование процесса реконструкции дорожно-транспортных происшествий по результатам аэрофотосъемки», Санкт-Петербург, Россия 2016
5. Добромиров В. Н., Евтюков С. С., Голов Е. В. Современные технологии первичного осмотра места

³ URL: <http://www.gibdd.ru/>

⁴ Евтюков С. А., Васильев Я. В. Справочник по экспертизе ДТП. СПб., 2015. 512 с.

дорожно-транспортного происшествия // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2(61).

6. Добромиров В. Н., Евтюков С. С., Дунчева Е. А. «Методика и результаты оценки безопасности дорожного движения на кольцевой автомобильной дороге г. Санкт-Петербурга» // Сб. тр. участников XII междунар. научно-практ. конф., Санкт-Петербург, 2016.

7. Евтюков С. С. Оценка скорости транспортных средств при проведении дорожно-транспортных экспертиз: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2014. 173 с.

8. Евтюков С. С., Голов Е. В. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения Ленинградской области // *Транспорт Урала*. 2017. № 2 (53).

9. Медрес Е. Е., Голов Е. В., Бабенко Т. И. Факторы, влияющие на равномерность движения автомобильного транспорта в условиях насыщенных транспортных потоков // *Транспортное дело России*. 2017. № 2 (129).

References

1. Consolazio G. R., Chung J. H., Gurley K. R. Impact simulation and full scale crash testing of a low profile concrete work zone barrier. *Computers and Structures*, 2003, vol. 81, pp. 1359–1374.
2. Kirkpatrick S. W., Simons J. W., Antoun T. H. Development and validation of high fidelity vehicle crash simulation models. *IJCrash'98 – International Crashworthiness Conference*.
3. Lan S., Crawford J. E., Xin X. *Development of Shallow Footing Anti-ram Bollard System Through Modeling and Testing*. 1-st International Conference on Analysis and Design.
4. Dobromirov V. N., Evtyukov S. S. *Otchet o nauchno-issleduemoy rabote «Nauchnoe obosnovanie protsessa rekonstruktsii dorozhno-transportnykh proisshествiy po rezul'tatam aehrofotos'emki»* [Report on the research work "Scientific substantiation of the process of reconstruction of road accidents on the results of aerial photography"]. St. Petersburg, 2016.
5. Dobromirov V. N., Evtyukov S. S., Golov E. V. *Sovremennye tekhnologii pervichnogo osmotra mesta dorozhno-transportnogo proisshestiya* [Modern technologies for primary survey of the place of road traffic accident]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 2(61).
6. Dobromirov V. N., Evtyukov S. S., Duncheva E. A. *Metodika i rezul'taty otsenki bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na kol'tsevoy avtomobil'noy doroge g. Sankt-Peterburga* [Methods and results of the evaluation of road safety on the ring road of St. Petersburg]. *Tr. uchastnikov XII mezhdunar. nauchno-prakt. konf.* [Collection of works

of participants of the twelfth international scientific-practical conference]. St. Petersburg, 2016.

7. Evtyukov S. S. *Otsenka skorosti transportnykh sredstv pri provedenii dorozhno-transportnykh ehkspertiz. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Evaluation of the speed of vehicles in the road transport examinations of road traffic accidents. PhD in Sci. Tech. diss.] Saint Petersburg, 2014, 173 p.

8. Evtyukov S. S., Golov E. V. *Audit bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na avtomobil'nykh dorogakh regional'nogo znacheniya Leningradskoy oblasti* [Audit

of traffic safety on roads of regional importance in the Leningrad region]. *Transport Urala – Transport of the Urals*, 2017, no. 2 (53).

9. Medres E. E., Golov E. V., Babenko T. I. *Faktory, vliyayushchie na ravnomernost' dvizheniya avtomobil'nogo transporta v usloviyakh nasyshchennykh transportnykh potokov* [Factors influencing uniformity of the movement of motor transport in the conditions of saturated traffic flows]. *Transportnoe delo Rossii – Transport business of Russia*, 2017, no. 2 (129).