

ЕНЕРГІЯ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ДТП

Вінницький національний технічний університет

В статті запропоновано визначати енергію пластичного деформування елементів конструкцій транспортних засобів, пошкоджених в результаті ДТП методом твердості з врахуванням швидкісного ефекту.

ВСТУП

В останні роки спостерігається суттєве збільшення автомобілепоту на автошляхах України, в результаті чого підвищується інтенсивність руху та збільшується кількість дорожньо-транспортних пригод. При розслідуванні ДТП основним питанням, що визначає відповідність дій водіїв вимогам правил дорожнього руху, є визначення швидкості руху транспортних засобів на момент, що передував зіткненню.

В експертній практиці найбільш широко розповсюджені методи визначення швидкості за довжиною гальмівного шляху [1]. Вони можуть бути використані у дослідженні аварій вітчизняних автомобілів без значних механічних пошкоджень. Однак, зазначені методи втратили свою актуальність з появою антиблокувальних систем ABS, що виключають можливість проковзування коліс автомобіля відносно дорожнього покриття, а отже появу слідів гальмування.

В результаті зіткнення автомобіля з перешкодою, кінетична енергія перетворюється на енергію пластичного деформування елементів його конструкції, на деформування і руйнування перешкоди, а також на відкидання транспортного засобу після зіткнення. У випадку зіткнення на швидкостях більше 50 км/год, визначальною є поглинута енергія пластичного деформування конструкції, тому питання її визначення є актуальним.

У роботі [2] пропонується визначати енергію деформування транспортного засобу шляхом моделювання удару методом скінченних елементів. Створення для вказаного методу 3D моделей транспортних засобів потребує значних людських та технічних ресурсів, а також проведення великої кількості механічних випробувань для визначення властивостей усіх матеріалів, що використовувались у конструкції. Тому зазначений метод складно застосовувати в експертній практиці і він викликає лише науковий інтерес.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

В кінці двадцятого сторіччя, К. Кемпбелл відмітив, що для автомобілів General Motors при їх фронтальних ударах величина повздовжньої деформації залежить від швидкості удару за лінійною залежністю (рис. 1) [3].

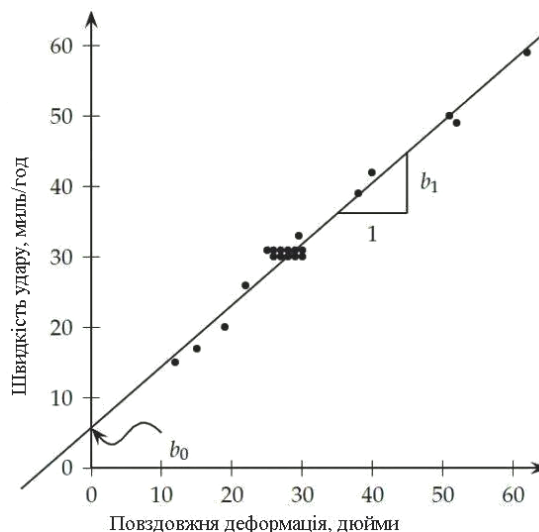


Рисунок 1 – Залежність фронтальних деформацій від швидкості руху

Тоді показана на рисунку залежність може бути записана у вигляді

$$v=b_0+b_1 \cdot C, \tag{1}$$

де v – швидкість удару; C – деформація; b_0 – швидкість нульової деформації (швидкість удару об стіну, при якій немає залишкових деформацій); b_1 – тангенс кута нахилу прямої [4].

Для прикладу, наведемо результати краш-тесту автомобіля «Toyota Yaris»: маса лабораторного автомобіля при випробуванні $m=1245$ кг; фактичне значення швидкості удару $v=56,2$ км/год на сумарній ширині $L=1,164$ м; величини поздовжніх деформацій у шести рівновіддалених точках передній частині $C_1=0,431$ м, $C_2=0,491$ м, $C_3=0,517$ м, $C_4=0,507$ м, $C_5=0,497$ м, $C_6=0,421$ м (рис. 2).

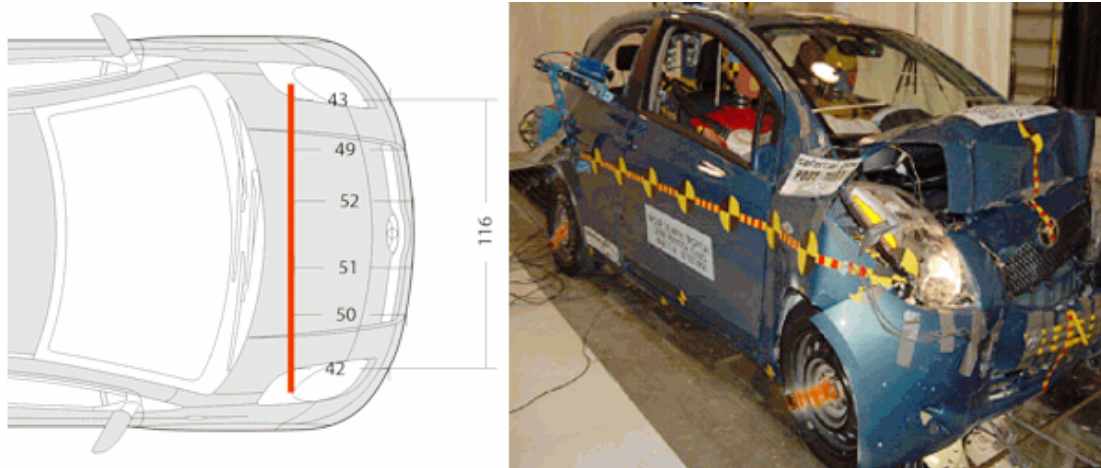


Рисунок 2 – Результати краш-тесту автомобіля «Toyota Yaris»

Встановити середню деформацію лабораторного автомобіля можна, підсумувавши площі п'яти трапецій, і знайти висоту прямокутника з основою $L=1,164$ м і такою ж площею. З урахуванням цього середня деформація лабораторного автомобіля складає

$$C_A = \frac{\frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6}{2}}{5} = 0,488 \text{ м.}$$

Стандарти на бампери визначають величину швидкості нульових деформацій b_0 від 4 км/год. Зокрема, бампери ВАЗівських автомобілів так само виробляються з розрахунком відсутності руйнувань при ударі на швидкості до 4 км/год. У програмі PC-Crash ця величина, як правило, приймається рівною 12 км/год. Тому далі, коефіцієнти жорсткості визначаються для значень $b_0 = 4, 8, 12$ км/год.

$$\text{Величина тангенса кута нахилу прямої } b_1 = \frac{v - b_0}{C} = \frac{56,2 - (4; 8; 12)}{0,488} = 107,07; 98,85; 90,65 \frac{\text{км}}{\text{год} \cdot \text{м}}.$$

Таким чином, для розрахунку величини витрат енергії на деформування автомобіля при його фронтальному зіткненні потрібно знати коефіцієнти жорсткості його передньої частини A , B і G . Коефіцієнт A вимірюється в Н/м і являє собою питому силу, яку передня частина автомобіля може витримати до початку пластичного деформування. Коефіцієнт B вимірюється в н/м² і являє собою питому силу, необхідну для утворення пластичної деформації конструкції передньої частини автомобіля. Коефіцієнт G – похідний від A і B .

В. П. Байков у роботі [5] пропонує визначати енергію деформування конструкцій легкових автомобілів за константами енергопоглинання.

У випадку пошкодження у вигляді прямокутника шириною δ_{ij} і глибиною λ_{ji} використовується формула

$$w_{defji} = \delta_{ji} \left[A_{ji} \lambda_{ji} + B_{ji} \frac{(\lambda_{ji} - \lambda_{0jib})^{k_{jib} + 1}}{k_{jib} + 1} + C_{ji} \frac{(\lambda_{ji} - \lambda_{0jic})^{k_{jic} + 1}}{k_{jic} + 1} \right], \tag{2}$$

де A_{ij} , B_{ji} , C_{ji} – константи енергопоглинання при деформуванні транспортного засобу; λ_{0jB} , λ_{0jC} , k_{jB} , k_{jC} – коефіцієнти апроксимації підінтегральної кривої функції; λ і $\delta(\delta_{ji}, \lambda_{ji}, \lambda)$ – поточні координати глибини і ширини пошкоджень.

Константи енергопоглинання і коефіцієнти апроксимації при деформації спереду при фронтальних ударах під кутом до повздовжньої осі автомобіля з виходом пошкоджень на одну бічну поверхню кузова мають такі значення: $A_{jB}=(116..120)$ кДж/м², $B_{jB}=- (7,0..13)$ кДж/м^(1,9...1,7), $C_{jB}=0$, $\lambda_{0jB}=(0,3...0,5)$ м.

Зазначені підходи дають змогу визначати енергію деформування конструкцій легкових автомобілів, для яких проведено та опрацьовано результати краш-тестів лише у випадках ДТП, максимально наближених за умовами до них. Крім того, результати енергопоглинання автомобілів отримують при проведенні стандартних краш-тестів (наприклад, для європейської програми оцінки безпеки автомобілів Euro NCAP при швидкості 64 км/год), що рідко відповідає умовам реальних ДТП.

За методиками, викладеними в [6,9], витрати на роботу пластичного деформування і руйнування елементів конструкцій транспортних засобів визначаються шляхом вимірювання твердості за допомогою переносного твердоміра «Темп-3» і розраховуються за формулою

$$W_{num} = W_0 \exp \frac{\ln k_H / D}{C}, \quad (3)$$

де W_{num} – питома потенціальна енергія деформування в Дж/см³; $W_0 = \frac{\sigma_{0.2}^2}{2E}$ – пружна питома потенціальна енергія в Дж/см³; $\sigma_{0.2}$ – границя текучості матеріалу в МПа; E – модуль пружності 1-го роду в МПа; D і C – коефіцієнти апроксимації кривої $k_H=f(k_W)$.

Величина W_{num} розраховується також за допомогою формули

$$W_{num} = A \int_0^{\varepsilon_u} \varepsilon_u^n d\varepsilon_u = A \frac{\varepsilon_u^{n+1}}{n+1}, \quad (4)$$

де A , n – коефіцієнти апроксимації кривої текучості, що мають фізичний зміст: A – напруження текучості (у МПа) при інтенсивності деформацій $\varepsilon_u=1$, n – ступінь деформації, що відповідає максимальному навантаженню на умовній діаграмі розтягу.

Однак варто враховувати, що механічні властивості матеріалів, які використовуються у залежностях (3) і (4), отримані за умов статичних випробувань, потребують уточнень, оскільки деформування при ДТП, як правило, відбуваються при значно вищих швидкостях.

Вплив швидкісного ефекту на роботу пластичного деформування може бути врахований [8].

Зокрема, підвищення швидкості деформування для елементів конструкцій, виготовлених зі сталей різних марок, підвищує енергетичні затрати до 40% [7]. У [8] розроблена модель матеріалу, чутлива до швидкісного ефекту. Зокрема, коефіцієнт апроксимації кривої текучості A може змінюватись в залежності від швидкості деформування

$$A_v = A \left[1,045 + \frac{\ln(0,0027 + \dot{\varepsilon}_u)}{135} \right], \quad (5)$$

де $\dot{\varepsilon}_u$ – швидкість інтенсивності деформацій.

Коефіцієнт n у формулі (4) змінюється в залежності від швидкості деформування за залежністю

$$n_v = n \exp[-0,1273 \ln(1 + \dot{\varepsilon}_u)]. \quad (6)$$

При швидкості руху автомобіля перед ударом $V_0 = 64,4$ км/год при ударі в нерухому перешкоду лівою передньою частиною, пошкодженні елементи, що знаходяться на різних відстанях від місця удару А, В, С, мають швидкість деформацій $(\dot{\varepsilon}_u)_{\max} = 200 \text{ c}^{-1}$, 100 c^{-1} , 70 c^{-1} відповідно

(рис. 3). Отже, у кожному конкретному випадку, варто враховувати змінність швидкості деформування.

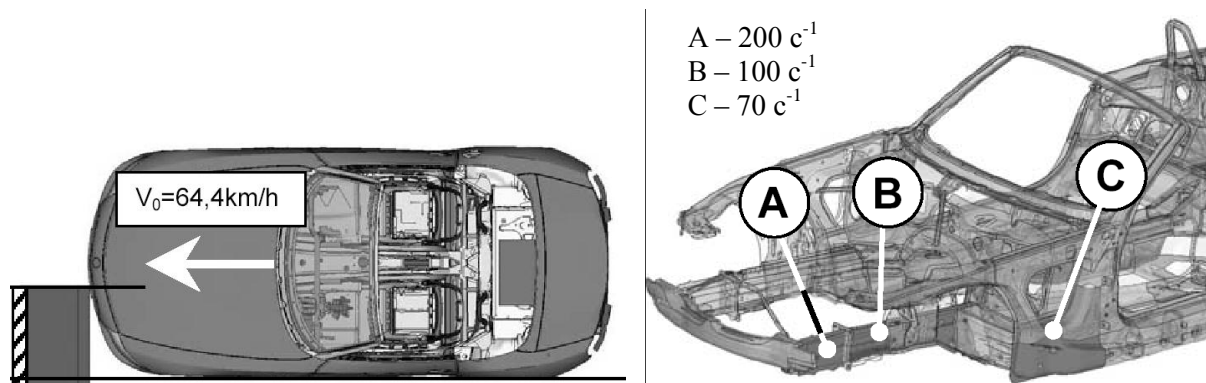


Рисунок 3 – Розподіл швидкостей деформацій при краш-тесті автомобіля [8]

ВИСНОВКИ

Для мотоциклів і вантажних автомобілів проведення краш-тестів майже не практикується, тому відсутня інформація про коефіцієнти енергопоглинання їх конструкцій. Краш-тести, що проводяться для легкових автомобілів також малоінформативні, оскільки проводяться за певних обмежених системою випробувань умов (характер зіткнення, швидкість, ступінь перекриття тощо).

Оскільки проведення краш-тестів малоінформативне та дуже дорогівартісне, доцільно отримувати величини коефіцієнтів енергопоглинання конструкцій транспортних засобів шляхом проведення ект-тестів – досліджень реальних конструкцій транспортних засобів, що потрапили у ДТП, методом твердості. Крім того, отримані значення слід уточнювати з врахуванням швидкісного ефекту в залежності від визначеної у першому наближенні швидкості транспортного засобу на момент зіткнення. Запропонований підхід дасть змогу зменшити витрати на проведення краш-тестів і накопичувати відомості про енергопоглинання конструкцій різних типів та моделей транспортних засобів за різних умов зіткнення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Евтюков С. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий : справочник / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – СПб : Издательство ДНК, 2006. – 536 с.
2. Проблемы и перспективы энергетических методов реконструкции ДТП / В. Н. Торлин, В. А. Ксенофонтова, А. А. Ветрогон, Е. В. Яковенко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2013. – Вип. 61–62. – С. 170–173.
3. Никонов В. Классификация математических моделей ДТП и их допустимость в судебном процессе. / В. Никонов // Законность. – 2007. – № 5. – С. 30–34.
4. CRASH3 Technical Manual. NHTSA, Washington D.C. – 1986. – 458 p.
5. Деклар. пат. на винахід № 54738 від 11.03.2002. Спосіб визначення швидкостей руху транспортних засобів при зіткненні / В. П. Байков та ін.; опубл. 17.03.03, Бюл. №3.
6. Огородников В. А. Алгоритм определения энергии деформации элементов конструкций из листовых материалов / В. А. Огородников, В. Е. Перлов, М. И. Побережный // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ, 2008. – С. 135–140.
7. Огородников В. А. Учет скоростного эффекта при расчете энергии пластической деформации конструкций транспортных средств / В. А. Огородников, В. Е. Перлов // Вісті академії інженерних наук України. – 2009. – № 1(38). – С. 121–125.
8. Огородников В. А. ЭНЕРГИЯ. ДЕФОРМАЦИИ. РАЗРУШЕНИЕ. Задачи автотехнической экспертизы : монография / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.
9. Огородников В. А. Приложение метода определения напряженно-деформированного состояния в пластической области измерением твердости деформированного металла к решению

задач технологической механики / В. А. Огородников // Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования : Сборник научных трудов института сверхтвёрдых материалов НАН Украины. Серия Г: Процессы механической обработки. – Киев, 2002. – С. 359–366.

REFERENCES

1. Evtyukov S. A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestvij: spravochnik / S. A. Evtyukov, Ya. V. Vasilev. – SPb. : Izdatelstvo DNK, 2006. – 536 s. (Rus)
2. Problemy i perspektivy energeticheskikh metodov rekonstrukcii DTP / V. N. Torlin, V. A. Ksenofontova, A. A. Vetrogon, E. V. Yakovenko // Vestnik Harkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta. – 2013. – Vip. 61–62. – S. 170-173. (Rus)
3. Nikonov V. Klassifikaciya matematicheskikh modelej DTP i ih dopustimost v sudebnom processe / V. Nikonov // Zakonnost. – 2007. – № 5. – S. 30-34. (Rus)
4. CRASH3 Technical Manual. NHTSA, Washington D.C. – 1986. – 458 p. (Eng)
5. Deklar. pat. na vinaxid № 54738 vid 11.03.2002. Sposib viznachennya shvidkostej ruxu transportnix zasobiv pri zitknenni / V. P. Bajkov ta inshi.; opubl. 17.03.2003, Byul. №3. (Ukr)
6. Ogorodnikov V. A. Algoritm opredeleniya energii deformacii elementov konstrukcij iz listovykh materialov / V. A. Ogorodnikov, V. E. Perlov, M. I. Poberezhnyj // Udoskonalennya procesiv i obladnannya obrobki tiskom v metalurgii i mashinobuduvanni : zb. nauk. prac DDMA. – Kramatorsk, 2008. – S. 135–140. (Rus)
7. Ogorodnikov V. A. Uchet skorostnogo efekta pri raschete energii plasticheskoy deformacii konstrukcij transportnykh sredstv / V. A. Ogorodnikov, V. E. Perlov // Visti akademiï inzhenernih nauk Ukraini. – 2009. – № 1(38). – S. 121–125. (Rus)
8. Ogorodnikov V. A. ENERGIYA. DEFORMACII. RAZRUSHENIE. Zadachi avtotekhnicheskoy ekspertizy : monografiya / V. A. Ogorodnikov, V. B. Kiselev, I. O. Sivak. – Vinnica : UNIVERSUM-Vinnicya, 2005. – 204 s. (Rus)
9. Ogorodnikov V. A. Prylozhenie metoda opredeleniya napryazhenno-deformirovanoho sostoyaniya v plastycheskoy oblasti izmereniyem tverdosti deformirovannogo metalla k resheniyu zadach tekhnolohicheskoy mehaniky / V. A. Ogorodnikov // Voprosy mekhaniki i fiziki protsessov rezaniya i holodnogo plasticheskogo deformirovaniya : Sbornik nauchnykh trudov snststuta sverkhkhtverdukh materialov NAN Ukrainy. Seriya H: Protsessy mehanicheskoy obrabotki. – Kiev, 2002. – S. 359–366. (Rus)

В. Є. Перлов, І. Ю. Кириця

ЕНЕРГІЯ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ДТП

Вінницький національний технічний університет

В статті запропоновано визначити енергію пластичного деформування елементів конструкцій транспортних засобів, пошкоджених в результаті ДТП методом твердості з врахуванням швидкісного ефекту.

Об'єкт дослідження – конструкції транспортних засобів, пошкоджені в результаті ДТП.

Мета роботи – аналіз методів визначення енергії пластичного деформування конструкцій транспортних засобів, пошкоджених у ДТП, та розробка рекомендацій щодо їх застосування в експертній практиці.

Визначення енергії пластичного деформування елементів конструкції транспортних засобів є основною задачею при розслідуванні ДТП. Поглинена при ударі автомобілем енергія визначає швидкість руху при аварії. За відомою швидкістю руху можна робити висновок про дотримання водієм правил дорожнього руху та розслідувати дорожню пригоду.

Можливе визначення енергії деформування транспортного засобу за коефіцієнтами енергопоглинання, які визначаються на основі краш-тестів. Такий підхід має низку недоліків.

Механізм ДТП має збігатися з механізмом зіткнення при краш-тесті. Швидкість руху при ДТП має бути близькою до швидкості в умовах краш-тесту. В реальних умовах практично неможливо забезпечити зазначені параметри. Крім того, краш-тести дороговартісні.

Визначення енергії деформування методом твердості дозволяє досліджувати конструкції будь-яких транспортних засобів, а також інших металевих елементів дорожньої інфраструктури, що постраждали при ДТП.

Найбільш доцільним є використання інформації, отриманої методом твердості у реальних ДТП, для уточнення коефіцієнтів енергопоглинання різних автомобілів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДТП, ЕНЕРГІЯ ДЕФОРМУВАННЯ, ЕКСПЕРТИЗА.

Перлов Віктор Євгенійович, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри опору матеріалів та прикладної механіки ВНТУ, e-mail: perlov@ukr.net, тел. +380983903905, Україна, 21036, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Кириця Інна Юріївна, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри опору матеріалів та прикладної механіки ВНТУ, e-mail: slk-vin@ukr.net, тел. +380679843705, Україна, 21000, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

V. E. Perlov, I Yu. Kyrytsya

ENERGY OF PLASTIC DEFORMATION IN STRUCTURAL ELEMENTS OF VEHICLES IN ACCIDENTS

Vinnitsia National Technical University

In the article the power to determine the plastic deformation of structural elements of vehicles damaged in a traffic accident by firmness with regard to high-speed impact.

Object of study - the design of vehicles damaged in a traffic accident.

Purpose - analysis methods for determining the energy of plastic deformation structures of vehicles damaged in an accident and recommendations for their application in expert practice.

Determining the energy of plastic deformation elements of construction vehicles is a major challenge in the investigation of the accident. The absorbed energy at impact determines the vehicle speed of the crash. At a certain speed possible to conclude on the observance of traffic rules by the driver and investigate accidents.

Perhaps the defining energy of deformation of the vehicle enerhopohlynannya coefficients, which are determined based on crash tests. This approach has several disadvantages. The mechanism of the accident must be the mechanism of collision with crash test. The velocity in an accident must be blyzkob up to speed in terms of crash-test. In the wild virtually impossible to provide these parameters. In addition, the crash tests as expensive.

Determination of deformation energy by rigidity allows you to explore the design of any vehicles and other metal elements of road infrastructure that suffered in an accident.

The most appropriate is the use of information obtained by firmness in real accidents to clarify the factors enerhopohlynannya different cars.

KEYWORDS: ACCIDENT, DEFORMATION ENERGY, EXPERTISE.

Perlov Viktor E., Candidate of Science (Engineering), the Vinnitsya National Technical University, Associate Professor of Department of Strength of Materials and Applied Mechanics VNTU, e-mail: perlov@ukr.net, tel. +380983903905, Ukraine, 21000, Vinnitsya, 95, Khmelnytsky road St.

Kyrytsya Inna Yu., Candidate of Science (Engineering), the Vinnitsya National Technical University, Associate Professor of Department of Strength of Materials and Applied Mechanics VNTU, e-mail: slk-vin@ukr.net, tel. +380679843705, Ukraine, 21000, Vinnitsya, 95, Khmelnytsky road St.

В. Е. Перлов, И. Ю. Кирица

ЭНЕРГИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ДТП

Винницкий национальный технический университет

В статье предложено определять энергию пластического деформирования элементов конструкций транспортных средств, поврежденных в результате ДТП методом твердости с учетом скоростного эффекта.

Объект исследования – конструкции транспортных средств, поврежденные в результате ДТП.

Цель работы – анализ методов определения энергии пластического деформирования конструкций транспортных средств, поврежденных в ДТП, и разработка рекомендаций по их применению в экспертной практике.

Определение энергии пластического деформирования элементов конструкций транспортных средств является основной задачей при расследовании ДТП. Поглощенная при ударе автомобилем энергия определяет скорость движения при аварии. По известной скорости движения можно судить о соблюдении водителем правил дорожного движения и расследовать дорожное происшествие.

Возможно определение энергии деформирования транспортного средства по коэффициентам энергопоглощения, которые определяются на основе краш-тестов. Такой подход имеет ряд недостатков. Механизм ДТП должен совпадать с механизмом столкновения при краш-тесте. Скорость движения при ДТП должна быть близкой к скорости в условиях краш-теста. В реальных условиях практически невозможно обеспечить указанные параметры. Кроме того, краш-тесты дорогостоящие.

Определение энергии деформирования методом твердости позволяет исследовать конструкции любых транспортных средств, а также других металлических элементов дорожной инфраструктуры, пострадавших при ДТП.

Наиболее целесообразным является использование информации, полученной методом твердости в реальных ДТП для уточнения коэффициентов энергопоглощения различных автомобилей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДТП, ЭНЕРГИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЕ, ЭКСПЕРТИЗА.

Перлов Виктор Евгеньевич, кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики ВНТУ, e-mail: perlov@ukr.net, тел. +380983903905, Украина, 21036, г. Винница, ул. Хмельницкое шоссе, 95.

Кирица Инна Юрьевна, кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики ВНТУ, e-mail: slk-vin@ukr.net, тел. +380679843705, Украина, 21000, г. Винница, ул. Хмельницкое шоссе, 95.