

*Кашканов В.А., к.т.н., доц.; Гібкова К.І.*

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ДТП

*Робота присвячена методиці визначення енергії пластичної деформації елементів конструкції транспортних засобів і параметрів спрацювання подушок безпеки цих транспортних засобів при дорожньо-транспортних пригодах*

**Вступ.** В останні роки спостерігається суттєве збільшення автомобілепотуку 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 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.

**Результати дослідження.** Ще десятиліття тому, існувало доволі багато методик, які дозволяли визначити швидкості руху транспортних засобів за слідовою інформацією (по слідам гальмування, заносу і т.д.). Але з часом, в автомобілебудуванні широкого застосування отримала антиблокувальна система гальм АБС. Принцип роботи системи АБС полягає в тому, що вона не допускає проковзування між шинами автомобіля, обладнаних нею, і дорожнім покриттям, а відповідно усуває будь-яку можливість визначити швидкість за слідовою інформацією. А відповідно до цього, єдиним параметром, який дає уявлення про швидкість руху транспортних засобів, є енергія деформації їх елементів, zdeформованих внаслідок дорожньо-транспортної пригоди. Оскільки питання про енергію пластичної деформації елементів транспортних засобів при ДТП, а також визначення параметрів відкриття подушок безпеки є надзвичайно актуальними, вони детально розглядаються в статті.

В кінці двадцятого сторіччя, К. Кемпбелл відмітив, що для автомобілів General Motors при їх фронтальних ударах величина поздовжньої деформації залежить від швидкості удару за лінійною залежністю.

Тоді показана на рисунку залежність може бути записана у вигляді

$$v = b_0 + b_1 \cdot C, \quad (1)$$

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.

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.

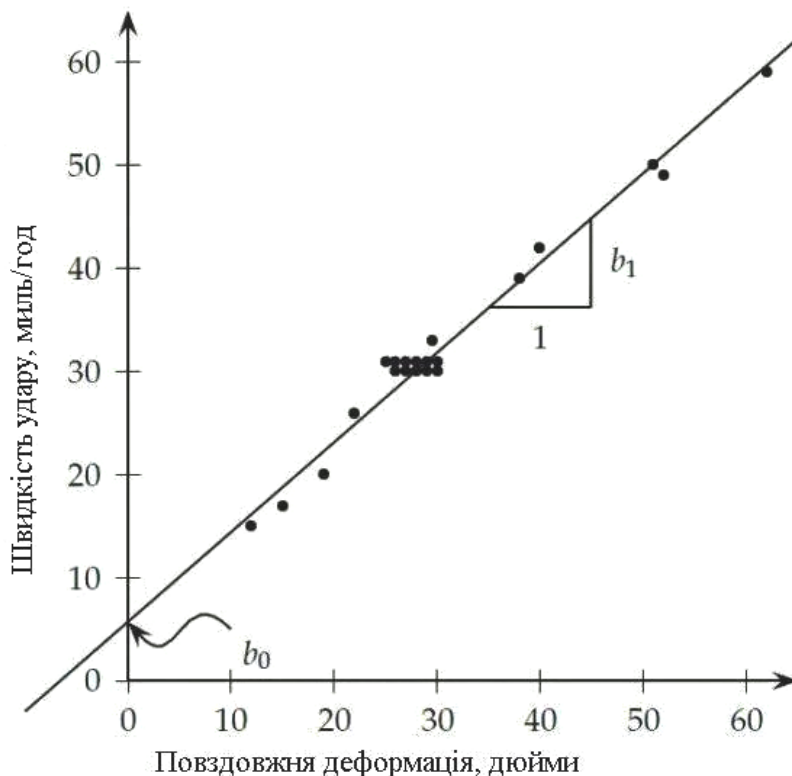


Рис. 1 – Залежність фронтальних деформацій від швидкості руху

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

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

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.

Величина тангенса кута нахилу прямої визначається

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

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 В вимірюється в н/м<sup>2</sup> і являє собою питому силу, необхідну для утворення пластичної деформації конструкції передньої частини автомобіля. Коефіцієнт G – похідний від А і В.

У випадку пошкодження у вигляді прямокутника шириною  $\delta_{ij}$  і глибиною  $\lambda_{ij}$  використовується формула

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

де  $A_{ij}$ ,  $B_{ji}$ ,  $C_{ji}$  – константи енергопоглинання при деформуванні транспортного засобу;  $\lambda_{0jiB}$ ,  $\lambda_{0jiC}$ ,  $k_{jiB}$ ,  $k_{jiC}$  – коефіцієнти апроксимації підінтегральної кривої функції;  $\lambda$  і  $\delta(\delta_{ji}, \lambda_{ji}, \lambda)$  – поточні координати глибини и 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:  $A_{ji} = (116..120)$  кДж/м<sup>2</sup>,  $B_{ji} = -(7,0..13)$  кДж/м,  $C_{ji} = 0$ ,  $\lambda_{0jiB} = (0,3..0,5)$  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 [9, 6], 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/см<sup>3</sup>;  $W_0 = \frac{\sigma_{0.2}^2}{2E}$  – пружна питома потенціальна енергія в Дж/см<sup>3</sup>;  $\sigma_{0.2}$  – 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

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

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.

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  $(\dot{\epsilon}_u)_{\max} = 200 \text{ c}^{-1}$ ,  $100 \text{ c}^{-1}$ ,  $70 \text{ c}^{-1}$  відповідно. Отже, у кожному конкретному випадку, варто враховувати змінність швидкості деформування.

**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 дороговартісне, 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 літературних джерел

1. 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.
2. 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.
3. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. – Киев: Вища школа, 1983г. с.175.
4. Перлов В. Е., Кирица И.Ю. Энергия пластической деформации, 2013г.
5. Совершенствование методов автотехнической экспертизы при дорожно-транспортных происшествиях: монография / В. П. Волков, В. Н. Торлин, В. М. Мищенко, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, В. П. Кужель, В. А. Ксенофонтова, А. А. Ветрогон, Н. В. Скляров. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2010.- 476 с.

**Кашканов Віталій Альбертович** – к.т.н, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

**Гібова Катерина Ігорівна** – студентка кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.