

РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ БАГАТОШАРОВОГО ОСКЛІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Сметанкіна Н.В., к. т. н., с. н. с.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Запропоновано метод розрахунку коливань багатошарових пластин при ударі кульовим індентором. Метод дозволяє оцінити міцність і експлуатаційну надійність багатошарового оскління транспортних засобів в умовах динамічного навантаження.

Безпека особового складу при виконанні рятувальних робіт потребує вирішення багатьох задач. Однією з них є проблема забезпечення надійності та міцності елементів конструкцій спеціальної техніки. Особливу увагу треба приділити осклінню, як одному з відповідальних елементів, від яких залежить життя людей [1, 2]. Воно повинно задовольняти вимоги щодо ударної міцності, вогнестійкості та надійності при умові збереження своїх експлуатаційних характеристик. Тому розрахунок та проектування елементів оскління спеціальної техніки, що відповідають зазначеним вище вимогам надійності та безпеки є актуальною проблемою.

Практична робота зі створення захисного оскління транспортних засобів привела до створення ГОСТ Р 51136-2008 [1]. Стандарт на безпечні багатошарові й загартовані стекла для засобів наземного транспорту регламентується ГОСТ 5727-88 [3]. При цьому методи дослідження міцності оскління засновані на емпіричних даних і спрощених моделях [4].

Найчастіше в кабінах використовуються плоскі стекла. Оскління кабін виконується із загартованих одношарових стекол (сталініту) чи тришарових (триплекса). Закріплення вітрових стекол і стекол задньої панелі в прорізах здійснюється за допомогою гумового ущільнювача, що фіксується по периметру закладення замком із полімерного матеріалу чи гуми, що дозволяє розглядати елементи оскління як шарнірно оперті пластини.

У роботі [5] встановлено, що створення захисного скла для спецтехніки вимагає комплексного підходу й не припускає спрощеного розв'язання завдання за рахунок звичайного наклеювання багатошарової полімерної плівки на раніше встановлене скло в рамі. Показано, що на сьогоднішній день триплекс (тобто багатошаровий склоблок) дешевше скла з багатошаровою полімерною плівкою.

Метою даної роботи є створення математичної моделі і методу розрахунку міцності багатошарового оскління спецтехніки при ударних навантаженнях на основі уточненої теорії багатошарових пластин.

Багатошарове оскління спецтехніки розглядається як багатошарова шарнірно оперта прямокутна пластина, яка зібрана із I шарів постійної

товщини h_i ($i = \overline{1, I}$). Динамічна поведінка пластини описується на основі кінематичних гіпотез, які враховують деформації поперечного зсуву, обтиснення по товщині та інерції обертання нормального елемента у межах кожного шару. Контакт між шарами виключає їх розшаровування і взаємне проковзування. Для пакета шарів справедлива гіпотеза ламаної лінії. З урахуванням цих кінематичних гіпотез переміщення точки i -го шару мають вигляд

$$u_k^i = u_k + \sum_{j=1}^{i-1} h_j u_{3+I(k-1)+j} + (z - \delta_{i-1}) u_{3+I(k-1)+i}, \quad k = 1, 2, 3, \quad i = \overline{1, I}, \quad (1)$$

де $\delta_i = \sum_{j=1}^i h_j$, $\delta_{i-1} \leq z \leq \delta_i$; h_i – товщина i -го шару;

$u_k = u_k(x, y, t)$ ($k = 1, 2, 3$) – переміщення точки координатної поверхні в напрямку координатних осей;

$u_{3+I(k-1)+i} = u_{3+I(k-1)+i}(x, y, t)$ ($k = 1, 2$) – кути повороту нормального елемента в i -му шарі навколо координатних осей;

$u_{3+2I+i} = u_{3+2I+i}(x, y, t)$ – обтиснення нормального елемента в i -му шарі;
 t – час.

Удар по пластині наноситься кульовим індентором радіуса R і масою M по зовнішній поверхні першого шару пластини. Індентор скидається на пластину з висоти H та у момент зіткнення з пластиною має швидкість

$$V = \sqrt{2gH},$$

де g – прискорення вільного падіння.

Рівняння руху індентора має вигляд

$$M z_{,tt} = M g - F, \quad z(0) = 0, \quad z_{,t}(0) = V,$$

де $z = z(t)$ – переміщення індентора;

$F = F(t)$ – сила контактної взаємодії індентора й пластини.

Контактне зближення α враховується на основі розв'язання задачі Герца про вдавнення кулі в пружний півпростір [6]. Умова сумісності переміщень записується як

$$w_0 + \alpha - z = 0,$$

де $\alpha = \kappa_1 F^{2/3}$, $\kappa_1 = \left[\frac{9(\theta_1 + \theta)}{256R} \right]^{1/3}$, $\theta_1 = \frac{4(1 - \nu_1^2)}{E_1}$, $\theta = \frac{4(1 - \nu^2)}{E}$; E , ν – модуль

Юнга й коефіцієнт Пуассона матеріалу, з якого виготовлений індентор;

E_1, ν_1 – аналогічні характеристики матеріалу першого шару пластини.

З варіаційного принципу Остроградського-Гамільтона [7] одержуємо рівняння руху пластини під впливом ударного навантаження та граничні умови.

Шукані функції та навантаження розвиваються у тригонометричні ряди

$$u_j(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \phi_{jmn}(t) B_{jmn}(x, y), \quad p_j(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} p_{jmn}(t) B_{jmn}(x, y), \quad (2)$$

$$\text{де } B_{1mn} = \cos \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B}, \quad B_{2mn} = \sin \frac{m\pi x}{A} \cos \frac{n\pi y}{B}, \quad B_{3mn} = \sin \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B},$$

$$B_{3+i mn} = B_{1mn}, \quad B_{3+I+i mn} = B_{2mn}, \quad B_{3+2I+i mn} = B_{3mn}, \quad j = \overline{1, 3I+3}, \quad i = \overline{1, I};$$

A та B – розміри пластини у плані.

Розвинення контактної тиску в тригонометричний ряд (2) має вигляд

$$p_3(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} p_{3mn}(t) B_{3mn}(x, y),$$

$$\text{де } p_{3mn} = \frac{12F(t)}{AB\rho_{mn}^2} \sin \frac{m\pi x_0}{A} \sin \frac{n\pi y_0}{B} \left(\frac{\sin \rho_{mn}}{\rho_{mn}} - \cos \rho_{mn} \right), \quad \rho_{mn} = \pi a(t) \sqrt{\frac{m^2}{A^2} + \frac{n^2}{B^2}}.$$

Таким чином, задача про коливання багатошарової пластини для кожного зі значень m і n зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь

$$\left[\mathbf{\Psi}^{mn} \right] \mathbf{\Pi}_{mn}'' + \left[\mathbf{J}^{mn} \right] \mathbf{\Pi}_{mn} = \mathbf{P}_{mn}, \quad (3)$$

де $\mathbf{\Pi}_{mn}$ та \mathbf{P}_{mn} – вектори, компонентами яких є коефіцієнти розвинень (2),

$$\mathbf{\Pi}_{mn} = \left\{ \Phi_{jmn}(t) \right\}, \quad \mathbf{P}_{mn} = \left\{ p_{jmn}(t) \right\}, \quad j = \overline{1, 3I+3}.$$

У рівняннях (3) $\left[\mathbf{\Psi}^{mn} \right]$ та $\left[\mathbf{J}^{mn} \right]$ – квадратні симетричні матриці [7].

Розв'язок рівняння руху індентора одержуємо на основі інтегрального перетворення Лапласа у вигляді

$$z(t) = z(t_0) + z'(t_0)(t - t_0) + \frac{g}{2}(t - t_0)^2 - \frac{1}{M} \int_{t_0}^t F(\tau)(t - \tau) d\tau.$$

Значення контактної сили $F(t)$ визначається з умови спільності переміщень індентора й пластини, що являє собою нелінійне рівняння відносно $F(t)$. Після визначення коефіцієнтів розвинення шуканих функцій (2) обчислюються переміщення (1) та напруження у шарах пластини.

Згідно Держстандарту [3] вітрові скла повинні витримувати удар кулею масою 227 г при температурі +40 °С та -20 °С. З десяти випробуваних при кожній температурі зразків не менш восьми не повинні розбиватися на окремі частини й не менш чим на вісьмох куля не повинна проходити через зразок.

Досліджено вплив швидкості зіткнення при ударі сталеву кулею масою 227 г та радіусом 20 мм на максимальні розтягуючі напруження на прикладі вітрового скла КамАЗ-5320 з розмірами у плані $A=1024$ мм, $B=662$ мм. Оцінка міцності оскління проводилася на основі першої теорії міцності. Допустиме значення розтягуючих напружень $\sigma_{\max}=120$ МПа. Шари мають наступні характеристики: $h_i=5$ мм, $E_i=6,8 \cdot 10^4$ МПа, $\nu_i=0,22$, $\rho_i=2500$ кг/м³ ($i=1,3$); $h_2=2$ мм, $E_2=280$ МПа, $\nu_2=0,38$, $\rho_2=1200$ кг/м³ (ρ_i – густина матеріалу i -го шару).

На рис. 1 наведені залежності напружень на зовнішній поверхні третього шару скла. При $V=7$ м/с напруження наближаються до допустимих значень, а при $V=10$ м/с та $V=13$ м/с відбувається руйнування скла.

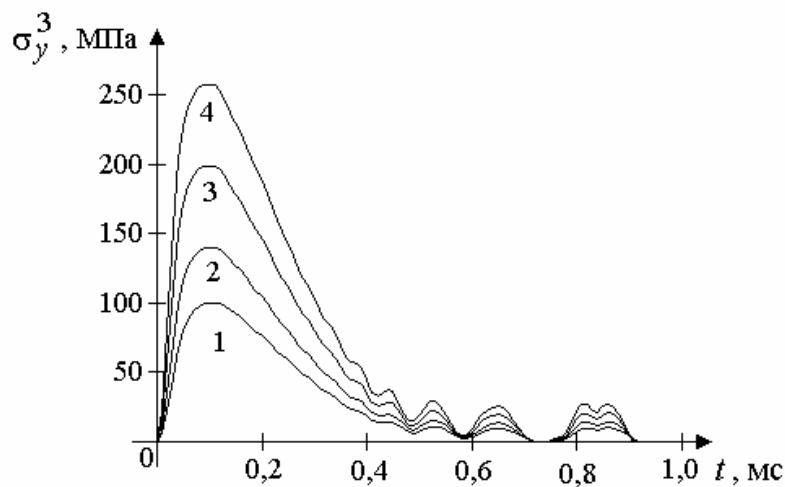


Рис. 1. Залежність напружень в осклінні від часу при різних швидкостях зіткнення: 1 – $V=5$ м/с, 2 – $V=7$ м/с, 3 – $V=10$ м/с, 4 – $V=13$ м/с

Також досліджено вплив маси кулі на максимальні розтягуючі напруження при швидкості зіткнення $V=5$ м/с. На рис. 2 наведені залежності напружень на зовнішній поверхні третього шару скла. Коли маса кулі дорівнює 400 г, напруження наближаються до своїх допустимих значень, при масі 500 г оскління руйнується.

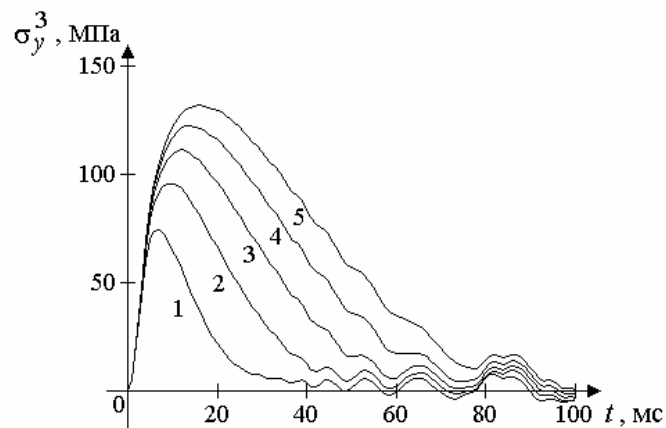


Рис. 2. Залежність напружень в осклінні від часу при ударі кулею різної маси: 1 – $M=100$ г, 2 – $M=200$ г, 3 – $M=300$ г, 4 – $M=400$ г, 5 – $M=500$ г

Висновки. Розроблено метод розрахунку на динамічну міцність оскління спеціальної техніки при ударі твердим тілом. Визначені маса та швидкість індентору, за яких напруження в осклінні досягають допустимих значень. Отримані залежності дозволяють конструктору підібрати відповідним чином параметри елемента оскління, а також оцінити його надійність за різних умов експлуатації.

Список використаних джерел

1. ГОСТ Р 51136-2008. Стекла защитные многослойные. Общие технические условия. Принято и введено в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 сентября 2008 г. № 222-ст – 15 с.
2. ГОСТ Р 53247-2009 Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. N 18-ст. – 5 с.
3. ГОСТ 5727–88. Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия. Принято и введено в действие Постановлением Госстандарта России от 27.08.2001 N 353-ст – 5 с.
4. Голяков В.И., Дайлов А.А., Кишкин В.А. Метод расчета взрывозащитного остекления // Системы безопасности.– 2004.– № 4.– С. 26-27.
5. Мильков В.Г. Двухосноориентированная подиэтилентерефталатная пленка. Всегда ли необходима в пулестойком и взрывобезопасном остеклениях? // Технологии безопасности.– 2004.– № 6.– С. 24-26.
6. Jones N. Structural impact. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1989. – 320 p.
7. Сметанкина Н.В. Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек. – Харьков: Изд-во «Міськдрук», 2011.– 376 с.

Аннотация

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ МНОГОСЛОЙНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Сметанкина Н.В.

Предложен метод расчета колебаний многослойных пластин при ударе шаровым индентором. Метод позволяет оценить прочность и эксплуатационную надежность многослойного остекления транспортных средств в условиях динамического нагружения.

Abstract

CALCULATION ON STRENGTH OF MULTILAYER GLAZING OF VEHICLES AT IMPACT LOADING

Smetankina N.V.

The method of calculation of vibrations of multilayer plates at impact by spherical indenter is offered. The method allows to evaluate strength and use reliability of multilayer glazing of vehicles under dynamic loading.