

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Н. В. СМЕТАНКИНА, С. Ю. МИСЮРА, А. И. МЕРКУЛОВА

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков

Т. А. СЫЧЕВА, А. И. СЫЧЕВ

Государственный биотехнологический университет, г. Харьков, Украина

Одной из важнейших проблем при ликвидации последствий техногенных аварий является обеспечение эффективной и надежной эксплуатации наземного транспорта и безопасности личного состава при выполнении спасательных работ. Весомая составляющая этой проблемы – обеспечение прочности элементов конструкций специальной техники. Особое внимание уделяется остеклению, как одному из ответственных защитных элементов транспортных средств [1, 2]. Оно должно удовлетворять требованиям к ударной прочности, огнестойкости и надежности при сохранении эксплуатационных характеристик. Поэтому расчет и проектирование элементов остекления специальной техники, отвечающих указанным выше требованиям безопасности, является актуальной проблемой.

Практическая работа по созданию защитного остекления транспортных средств привела к созданию ГОСТ Р 51136–2008 [1]. Стандарт на безопасные многослойные и закаленные стекла для средств наземного транспорта (автомобилей, автобусов, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожно-строительных машин) регламентируется ГОСТ 5727–88 [3]. При этом методы исследования прочности остекления основаны на эмпирических данных и упрощенных моделях [4].

Автомобили специальной техники производятся на базе шасси грузовых автомобилей. Остекление кабин изготовлено из плоских закаленных однослойных (сталинита) или трехслойных стекол (триплекса). Закрепление ветровых стекол и стекол задней панели в проемах осуществляется с помощью резинового уплотнителя, который фиксируется по периметру стекла полимерным материалом, что позволяет рассматривать элементы остекления как шарнирно опертые пластины. Согласно [3] ветровые стекла должны выдерживать удар шаром массой 227 г при температуре 40 и –20 °С. Из десяти испытанных образцов не менее восьми образцов не должны разбиваться на отдельные части. Также не менее чем для восьми образцов шар не должен проходить через образец.

Создание защитного стекла для спецтехники требует комплексного подхода. В работе [5] показано, что триплекс (многослойный стеклоблок) дешевле стекла с многослойной полимерной пленкой. Нерешенной проблемой остается разработка эффективных методов расчета прочности многослойного остекления в условиях действия нестационарных нагрузок, возникающих в результате различных техногенных аварий. Целью данной работы является создание математической модели и разработка метода расчета прочности безопасного многослойного остекления спецтехники при ударном нагружении.

Будем рассматривать многослойное стекло как прямоугольную многослойную шарнирно опертую пластину, которая собрана из слоев постоянной толщины. Динамическое поведение пластины описывается на основе кинематических гипотез уточненной теории многослойных пластин. Учитываются деформации поперечного сдвига, обжатие по толщине и инерции вращения нормального элемента в пределах каждого слоя [6]. Контакт между слоями исключает их расслаивание и взаимное проскальзывание. Для пакета слоев справедлива гипотеза ломаной линии.

По наружной поверхности первого слоя пластины наносится удар шаровым индентором. Контактное сближение учитывается на основе решения задачи Герца о вдавлении шара в упругое полупространство [7]. Из вариационного принципа Остроградского – Гамильтона получаем уравнение движения пластины под воздействием ударной нагрузки и граничные условия. Искомые функции перемещений и нагрузки разлагаются в тригонометрические ряды по функциям, удовлетворяющим граничным условиям. Таким образом, задача о колебаниях многослойной пластины сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений относительно коэффициентов разложения функций перемещений в ряды. Эта система интегрируется с помощью одношагового метода [6], который основан на разложении решения в ряд Тейлора.

Решение уравнения движения индентора получаем на основе интегрального преобразования Лапласа. Значение контактной силы определяется из условия совместности перемещений индентора и пластины. После определения коэффициентов разложения искоемых функций вычисляются перемещения, деформации и напряжения в слоях пластины.

Исследовано влияние скорости индентора на максимальные растягивающие напряжения на примере трехслойного ветрового стекла КамАЗ-5320 с размерами в плане 1024 и 662 мм. Наружные слои изготовлены из силикатного стекла и соединены слоем из полимерного материала. Индентор представлял собой стальной шар массой 227 г и радиусом 20 мм.

Оценка прочности остекления проводилась на основе первой теории прочности. Исследованы напряжения при различных скоростях столкновения остекления с индентором. При скорости индентора 7 м/с растягивающие напряжения в наружных слоях приближаются к допустимым значениям (120 МПа), а при 10 и 13 м/с происходит разрушение стекла.

Также исследовано влияние массы индентора на растягивающие напряжения в слоях остекления при скорости столкновения 5 м/с. Когда масса индентора равна 400 г, значения напряжений приближаются к своим допустимым значениям. При ударе индентором массой 500 г остекление разрушается.

Предложенный подход может быть использован при проектировании безопасного многослойного остекления средств наземного транспорта с учетом аварийных воздействий.

Список литературы

- 1 ГОСТ Р 51136–2008. Стекла защитные многослойные. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ Р 51136–987 ; введ. 2009-06-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 15 с.
- 2 Бруль, С. Т. К вопросу о моделировании воздействия ударной волны на корпус боевой машины / С. Т. Бруль, А. Ю. Васильев // Вестник НТУ «ХПИ». Машиноведение и САПР. – 2005. – № 53. – С. 29–34.
- 3 ГОСТ 5727–88. Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия : с изм. № 3, утв. постановлением Госстандарта России от 27.08.2001 № 353-ст. – Введ. 2002-01-01. – М., 2002. – 5 с.
- 4 Голяков, В. И. Метод расчета взрывозащитного остекления / В. И. Голяков, А. А. Дайлов, В. А. Кишкин // Системы безопасности. – 2004. – № 4. – С. 26–27.
- 5 Мильков, В. Г. Двухосноориентированная полиэтилентерефталатная пленка. Всегда ли необходима в пулестойком и взрывобезопасном остеклениях? / В. Г. Мильков // Технологии безопасности. – 2004. – № 6. – С. 24–26.
- 6 Dynamic response of laminate composite shells with complex shape under low-velocity impact / N. Smetankina [et al.] // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020. – Springer : Cham, 2021. – Vol. 188. – P. 267–276.
- 7 Jones, N. Structural impact / N. Jones. – Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1989. – 320 p.

УДК.539.3

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

Н. Х. СОБИРОВ, А. И. ИСОМИДДИНОВ, А. АБДУСАТТАРОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Приведем результаты расчета тонкостенных стержней при пространственно-переменном нагружении на основе теории малых упругопластических деформаций и уточненной теории стержней [1–3]. При пространственно-переменном нагружении, т. е. при совместных продольных, поперечных и крутильных силах, законы распределения перемещений, деформаций и напряжений в сечениях стержня сложны, поэтому уточненная теория строится на основании ряда статических гипотез. На основании известных допущений выражения для перемещения точек стержня при переменном нагружении представим в виде [4]:

$$\begin{aligned} \bar{u}_1^{(n)} &= \bar{u}^{(n)} - y\bar{\alpha}_1^{(n)} - z\bar{\alpha}_2^{(n)} + \varphi\bar{v}^{(n)} + a_1\bar{\beta}_1^{(n)} + a_2\bar{\beta}_2^{(n)}, \\ \bar{u}_2^{(n)} &= \bar{v}^{(n)} - z\bar{\theta}^{(n)}, \quad \bar{u}_3^{(n)} = \bar{w}^{(n)} + y\bar{\theta}^{(n)}. \end{aligned} \quad (1)$$

На основе вариационного принципа Лагранжа с использованием соотношения Коши и связи между напряжениями и деформациями получено вариационное уравнение равновесия стержней при пространственно-переменном упругопластическом нагружении: