

Определение оптимальных параметров демпферной системы защиты конструкции от взрыва на основе пеноалюминия

д.ф.-м.н. проф. Бондарь В.С., д.т.н. проф. Темис Ю.М., Бирюков М.В.
 Университет машиностроения, ЦИАМ им. П.И. Баранова
 8-(495) 223-05-23 tm@mami.ru, jmt@newmail.ru

Аннотация. Рассматривалось применение сэндвич-пакетов в качестве защиты технического объекта от взрыва. Проводилось сравнительное исследование влияния взрывных волн различной интенсивности на деформирование сэндвич-пакета. Были найдены оптимальные характеристики сэндвич-пакета.

Ключевые слова: пористые материалы, ударное нагружение, защита объекта

Для защиты конструкций от динамических воздействий в энергопоглощающих системах рассматриваются пористые материалы. Общая концепция защиты технического объекта от взрыва представлена на рисунке 1.

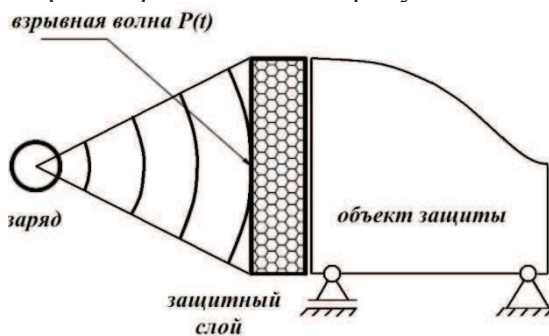


Рисунок 1. Общая концепция защиты объекта от взрыва

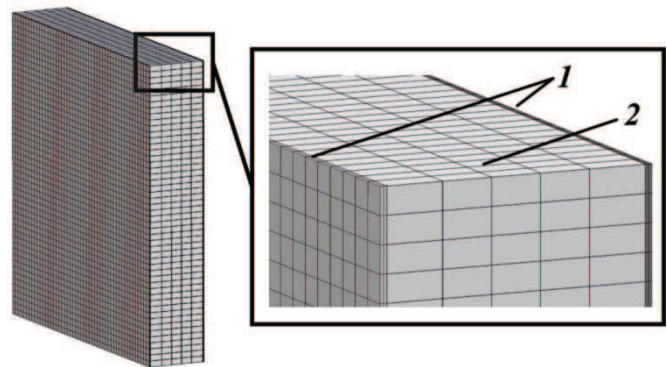


Рисунок 2. Конечно-элементная модель сэндвич-пакета: 1 – сталь, 2 – пеноалюминий

В качестве одного из перспективных пористых материалов в энергопоглощающих системах рассматривается пеноалюминий. Преимущества этого материала описаны в работе [1]. Для моделирования пористого металла использовалась модель Дешпанда-Флека [2].

Механические свойства (модуль упругости E , предел текучести σ_p и деформация уплотнения ε_D) для разных относительных плотностей пеноалюминия ρ были получены из результатов вычислительного эксперимента (таблица 1).

Таблица 1

Механические свойства пеноалюминия, полученные из вычислительного эксперимента

ρ	ρ^* , кг/м ³	E , ГПа	σ_p , МПа
0.16	427.5	5.3	10.5
0.33	827.2	17	29
0.5	1318.6	27.7	50

Для оценки эффективности защиты технических объектов слоем пеноалюминия проводились сравнительные исследования влияния взрывных волн различной интенсивности на деформирование сэндвич-пакета. Конечно-элементная модель сэндвич-пакета показана на рисунке 2.

К передней грани пластины прикладывалось давление, моделирующее ударную волну. Для моделирования такого поведения в качестве нагрузки использовалась модель Рэндорса-Персона и Баннистера [3]. Описание модели и входных параметров приведено в работе [1].

Рассматривалась ударная волна, проходящая по нормали к поверхности.

Расчетная схема исследуемой модели приведена на рисунке 3, где точкой Q показано место расположения заряда массой M . Принималось, что $H = 0.1 м = const$.

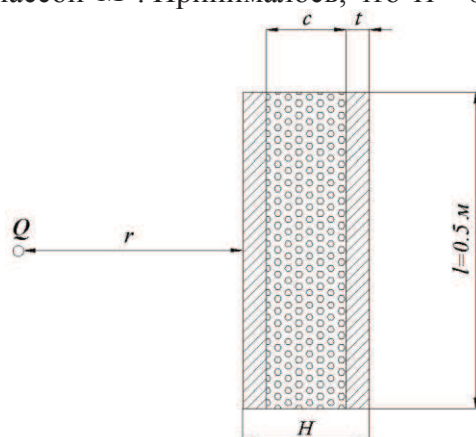


Рисунок 3. Расчетная схема исследуемой модели сэндвич-пакета

Рассматривалась различная вариация массы $M = 3,5, 10 кг$ заряда и расстояния $r = 0.3, 0.4, 0.5 м$ до сэндвич-пакета.

На рисунке 4 представлена эффективная масса сэндвич-пакета $\bar{m} = \frac{m_{sw}}{m_{steel}} = 1 - \left(\frac{c}{H}\right) \left[1 - \frac{\rho_{foam}}{\rho_{steel}}\right]$ (при $c \rightarrow 0, \bar{m} \rightarrow 1$) и уровень накопленной пластической деформации ε_p для $\rho = 0.16$ и $r = 0.4 м$ в зависимости от отношения c/H .

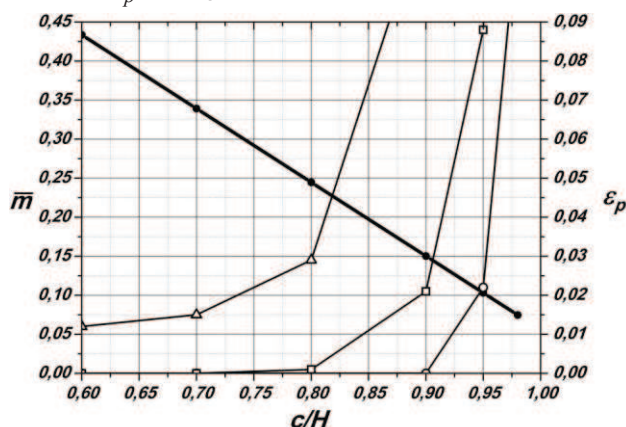


Рисунок 4. Значение \bar{m} и ε_p в зависимости от отношения c/H , здесь: $M = 3 кг - \circ$; $M = 5 кг - \square$; $M = 10 кг - \Delta$

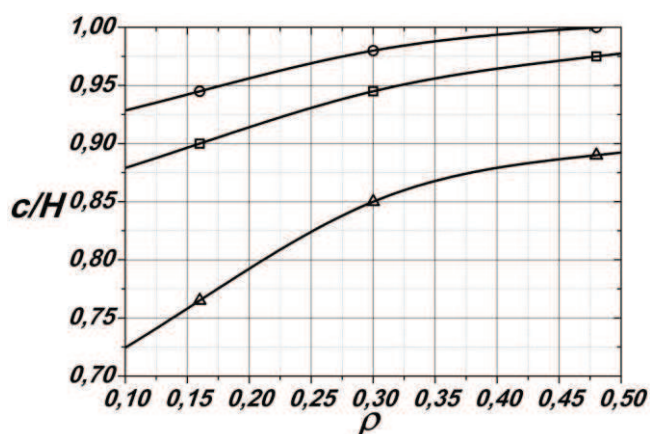


Рисунок 5. Оптимальное значение отношения c/H в зависимости от плотности наполнителя ρ , где: $M = 3 кг - \circ$; $M = 5 кг - \square$; $M = 10 кг - \Delta$

Оптимальная толщина наполнителя c , в зависимости от относительной плотности ρ пеноалюминия находилась, как значение отношения c/H при котором задняя панель испытывает предельный уровень пластических деформаций равный $\varepsilon_p = 2\%$. При этом поглощается наибольшее количество энергии и достигается минимальная масса сэндвич-пакета. Результаты для расстояния $r = 0.4 м$ представлены на рисунке 5.

Сравнивалось поведение сэндвич пакета и стальной пластины эквивалентной массы. Графики отношения ускорений центральной точки задней панели $\bar{a} = a_{bulk}/a_{sw}$ и количества поглощенной энергии $\bar{E} = E_{sw}/E_{bulk}$ в зависимости от массы заряда $M = 3, 5, 7 кг$ представлены на рисунках 6 и 7. Здесь индексами $sw, bulk$ обозначены свойства сэндвич пакета и стальной пластины эквивалентной массы, соответственно.

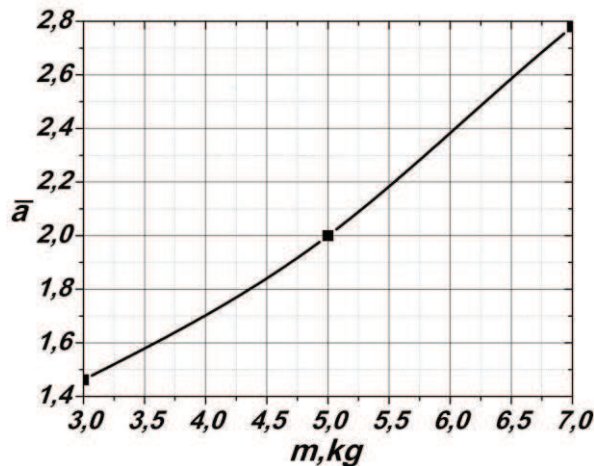


Рисунок 6. Значение коэффициента \bar{a} в зависимости от массы заряда M

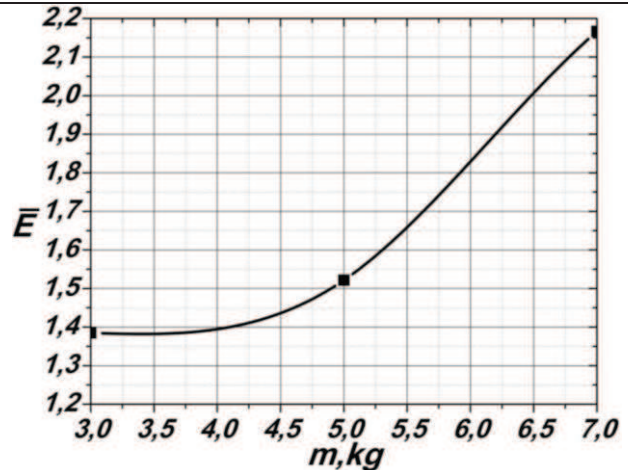


Рисунок 7. Значение коэффициента \bar{E} в зависимости от массы заряда M

Из рисунков видно, что сэндвич-пакет поглощает в $1.4 \div 2.2$ раза больше энергии, чем стальная пластина эквивалентной массы. При этом максимальное ускорение, возникающее в заднем листе сэндвич пакета в $1.5 \div 2.8$ раз меньше, чем в стальной пластине эквивалентной массы.

Заключение

Проведено сравнительное исследование влияния взрывных волн различной интенсивности на сэндвич-пакет. Найдена оптимальная толщина наполнителя c , при которой поглощается максимальное количество энергии и достигается минимальная масса без ущерба объекту защиты (предельные пластические деформации в заднем облицовочном листе не превышают $\varepsilon_p \leq 2\%$). Таким образом, зная приблизительную силу воздействия на защищаемый технический объект, можно найти оптимальную плотность и толщину наполнителя, что поможет сократить массу всей конструкции, что в особенности актуально для разного рода подвижных систем (машин, самолетов и т.д.).

Проведено сравнительное исследование влияния ударного нагружения на сэндвич-пакет и стальную пластину эквивалентной массы. Показано, что значение ускорения возникающего в заднем облицовочном листе в $1.5 \div 2.8$ раз меньше, чем в стальной пластине эквивалентной массы. При этом сэндвич-пакет поглощает в $1.4 \div 2.2$ раза больше энергии, чем стальная пластина эквивалентной массы. Из этого можно сделать вывод о том, что пеноалюминий гасит воздействие ударной волны за счет поглощения определенного количества энергии этой волны. И, следовательно, такую систему можно использовать для защиты различных технических объектов от ударных нагрузок, что достаточно актуально для ряда современных конструкций.

Литература

1. Бондарь В.С., Темис Ю.М., Бирюков М.В. Демпферная система защиты конструкций при взрыве на основе пеноалюминия, Москва: Известия МГТУ «МАМИ», Том 1 Серия 3. Естественные науки (2013).
2. A. Reyes et al. / European Journal of Mechanics A/Solids 22 (2003), 815-835.
3. Randers-Pehrson G., Bannister K.A. Airblast loading model for DYNA2D and DYNA3D, ARLT-TR-1310, Army Research Laboratory, Aberdeen proving ground (1997).
4. J. Baumeister, J. Banhart, M. Weber Aluminium foams for transport industry- Materials & Design, Vol. 18, Nos. 4, 1997, 217-220.