

02, июнь 2018

УДК 629.7

Оценка корректности расчетов методом SPH при высокоскоростном ударе частицей космического мусора сэндвич панелей на основе вспененного алюминия

Потёмкин П.П., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Ракетно-космические композитные конструкции»
potiomkin_2007@mail.ru*

Научный руководитель: Михайловский К.В., доцент, к.т.н.

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Ракетно-космические композитные конструкции»
kosmiv@yandex.ru*

Аннотация: *Необходимость обеспечения космических аппаратов и космических станций от воздействия космического мусора и микрометеороидов требует разработки сверхлегких защитных экранов. В работе рассматривается возможность применения сэндвич панелей на основе вспененного алюминия в качестве микрометеороидной защиты. В работе приведены результаты математического моделирования высокоскоростного удара частицами космического мусора разной скорости и массы с сэндвич панелью с использованием программного комплекса ANSYS AUTODYN и метода сглаженных частиц SPH. Полученные при математическом моделировании результаты верифицировались с опубликованными экспериментальными данными.*

Ключевые слова: *сэндвич панели (sandwich panel), вспененный алюминий (aluminium foam), высокоскоростной удар (high speed impact), математическое моделирование (mathematical modeling), метод SPH (SPH method).*

Введение

При запуске первых космических аппаратов (КА) предполагалось, что непосредственное механическое взаимодействие во время полёта в открытом космосе будет происходить только с космической пылью и микрометеороидами. Но в настоящее время одной из важных проблем становится защита КА от столкновения с космическим мусором (КМ), остающимся после запуска КА, появляющимся в результате столкновений КА друг с другом или КМ, или производимым в результате эксплуатации КА на орбите,

наподобие частиц шлака и пыли, появляющихся в результате работы двигателей, и прочего КМ. В связи с вышеизложенным требуется предусмотреть защиту КА и в частности защиту, как дорогостоящего оборудования, так и экипажа от воздействия как КМ, так и космической пыли, микрометеороидов.

В настоящее время используются три варианта защиты КА от данной угрозы. Столкновение с наблюдаемым космическим мусором (габаритами 100 и более миллиметров) возможно спрогнозировать и провести манёвр уклонения [1]. Для защиты от ненаблюдаемого КМ служат защитные экраны, щиты и т.п. Так же для повышения «живучести» и работоспособности КА применяется дублирование особо важных систем.

При проектировании защитных экранов требуется оценка способности обеспечения безопасности КА и минимизация массы данных экранов ввиду высокой стоимости запуска на орбиту КА за килограмм. Стоит рассматривать не только непосредственное пробитие защитного экрана фрагментом КМ, но и запреградное поражение, возникающее в результате прохождения по материалу ударной волны и последующим отколом части защитного экрана. Оценку защиту на этапе проектирования возможно произвести только при расчётах по эмпирическим зависимостям, либо по результатам экспериментов. Экспериментальные установки достаточно сложны в изготовлении и дороги в применении, а возможность моделирования скорости у них ограничены скоростью до 11 км/с, в связи с чем, для анализа высокоскоростного удара КМ и защитного экрана возможно проведение математического моделирования с помощью программы ANSYS, позволяющей выполнять автоматизированные инженерные расчёты динамических процессов в двухмерной и трёхмерной постановке. Имеющийся в программе модуль Workbench с компонентом моделирования AUTODYN позволяет производить анализ и расчёт прочности конструкции на воздействие ударной, взрывной и прочих постоянных и переменных нагрузок возникающих при моделировании защитных экранов [2].

1. Описание метода

ANSYS AUTODYN содержит множество решателей и различных методов, использующих, как подходы Лагранжа, так и Эйлера к течению сплошной среды, произвольную лагранжево-эйлерову постановку, а также метод гидродинамики сглаженных частиц SPH, лежащий в основе непривязанного к сетке решателя [3]. Он позволяет учитывать сложное анизотропное упругопластичное поведение материалов, нелинейный характер ударно-волнового сжатия, анизотропное разрушение с эффектами прогрессирующего разупрочнения [4].

Все решатели AUTODYN можно разделить на Лагранжевы, Эйлеровы, произвольный Лагранжево-Эйлеров метод (ALE) и метод сглаженных частиц (SPH) [5].

2. Моделирование высокоскоростного удара частицей космического мусора

Моделирование высокоскоростного удара частицей КМ сэндвич панели защитного экрана из вспененного алюминия можно разделить на две стадии: пробой первого слоя, представляющего из себя тонкий алюминиевый лист, благодаря которому происходит разрушение мелкого КМ на ещё более мелкие частицы, увеличение площади поражения, незначительное снижение скорости, и пробой второго слоя из вспененного алюминия, в котором происходит поглощение и остановка мелких частиц первоначального ударника. Для данного расчёта методом SPH использовались следующие данные: в качестве частицы КМ принят шар диаметром 3 мм из алюминиевого сплава плотностью 2700 кг/м^3 , в качестве первого и третьего слоёв защитного экрана рассматривалась пластина габаритами $0,5 \times 20 \times 20 \text{ см}$, также из алюминиевого сплава плотностью 2700 кг/м^3 . Второй слой защитного экрана представляет собой пластину из вспененного алюминия и габаритами $h \times 20 \times 20 \text{ см}$, где толщина h изменялась от 10 до 20 мм. Для материала второго слоя принято допущение, что он является изотропным без учёта его пористости с плотностью 500 кг/м^3 [6]. Рассматривалась скорость соударения равная от 7 до 9 км/с.

Перед моделированием непосредственно высокоскоростного удара частицы КМ с сэндвич панелью выполнен расчет стойкости панели из алюминия. Результаты расчёта приведены на рисунке 1.

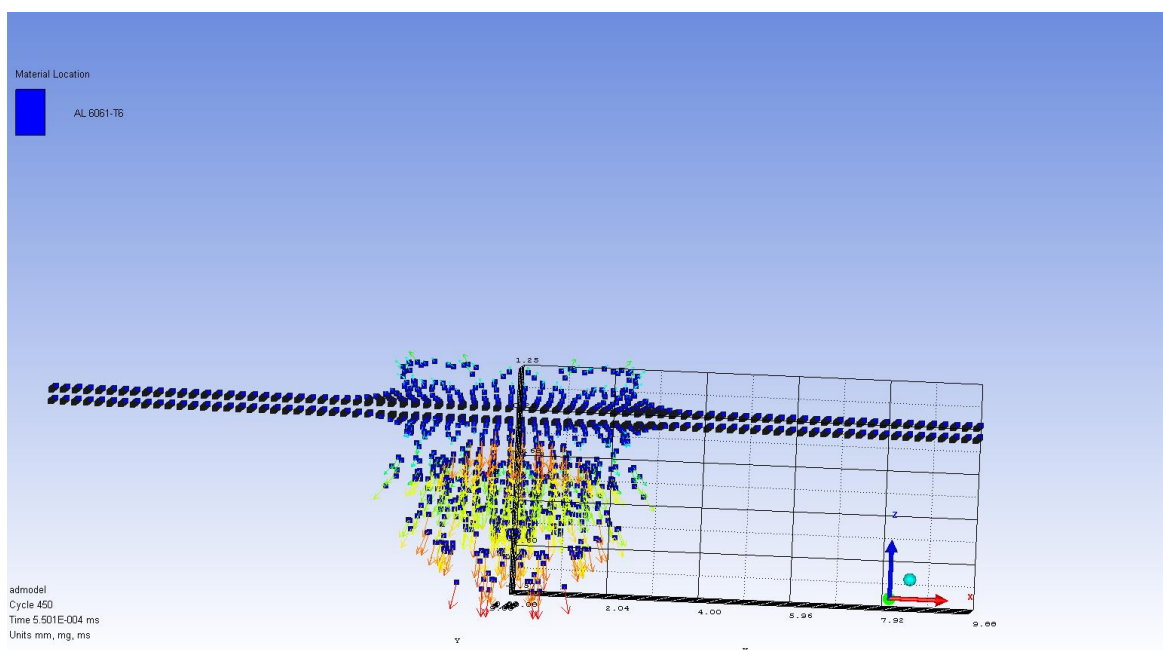


Рис. 1. Результаты моделирования высокоскоростного удара со скоростью 8 км/с частицы диаметром 3 мм с пластиной алюминия толщиной 0,5 мм

Полученный, при математическом моделировании результат, соответствует результатам пробития тонких защитных экранов (рис. 2) [7]. Так же расчёты при различных скоростях показали достоверность данных при сравнении с результатами, приведёнными в работе [8].

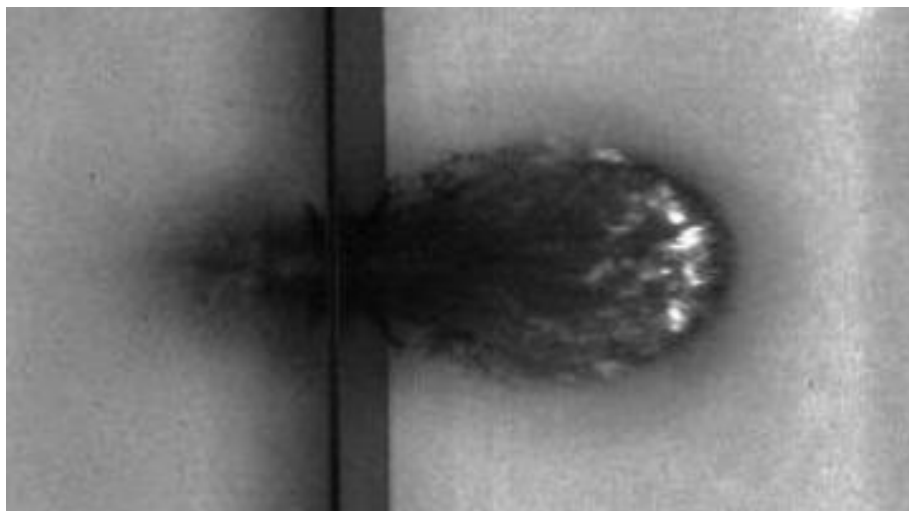


Рис. 2. Разлёт осколков фрагмента КМ в результате пробития тонкой пластины из алюминия

После подтверждения достоверности расчётов пробития тонкой пластины алюминия проводились расчёты высокоскоростного удара с сэндвич панелью (рис.3).

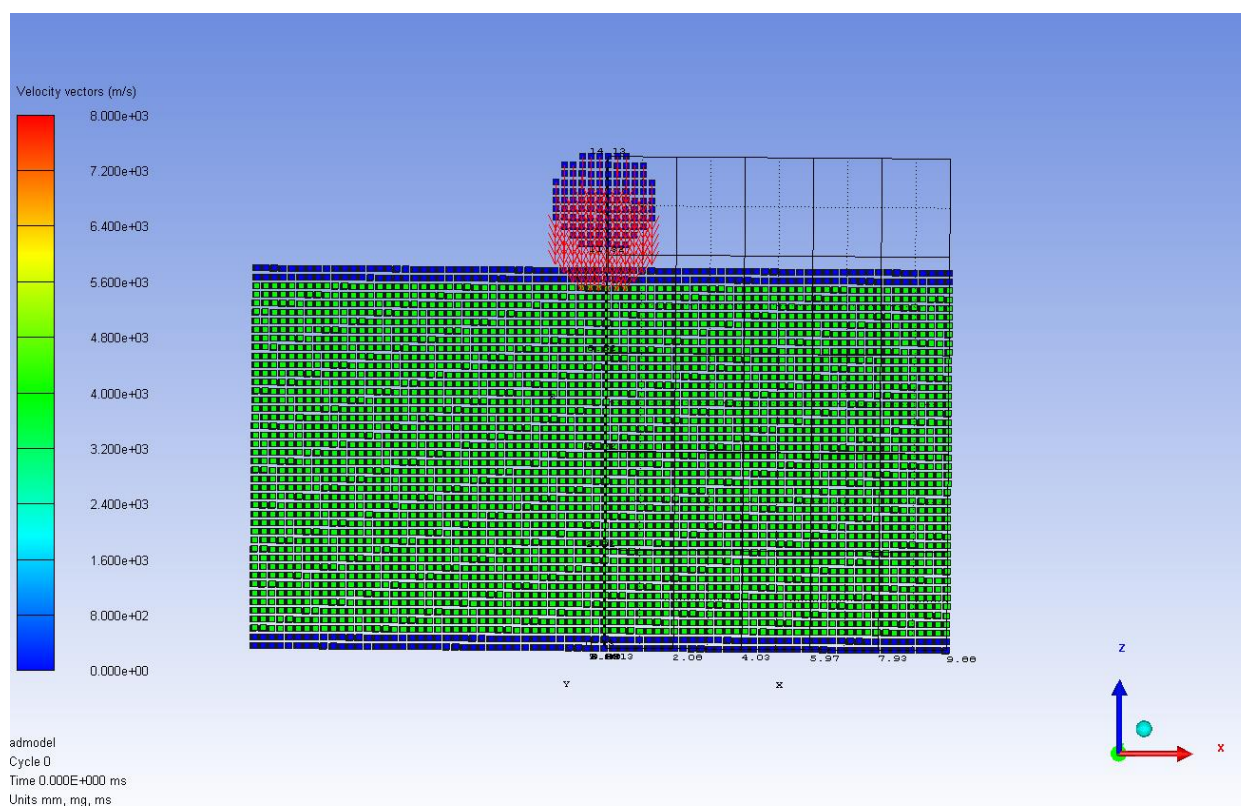


Рис. 3. Модель сэндвич панели

Отдельные результаты расчётов приведены на рисунках 4 – 6.

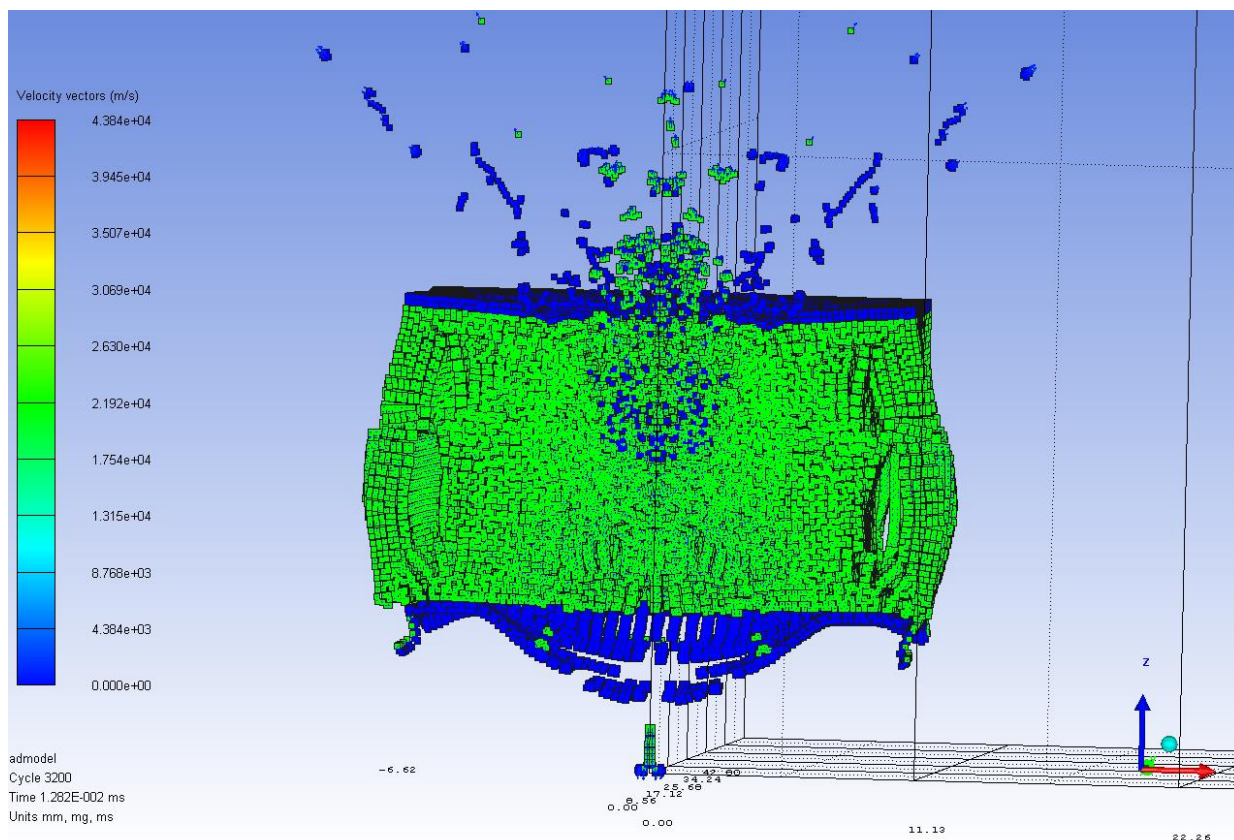


Рис. 4. Результаты моделирования высокоскоростного удара со скоростью 7 км/с частицы диаметром 3 мм с сэндвич панелью с заполнителем в виде вспененного алюминия толщиной 12 мм

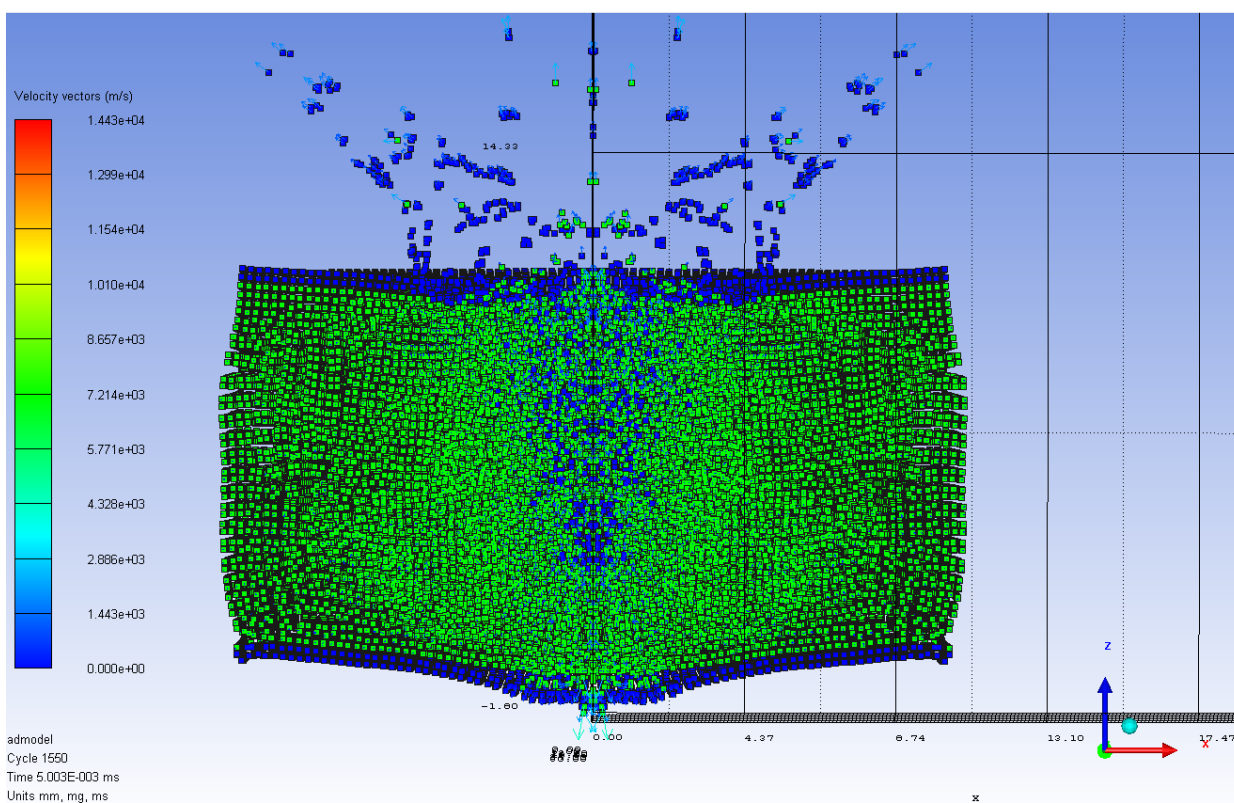


Рис. 5. Результаты моделирования высокоскоростного удара со скоростью 7 км/с частицы диаметром 3 мм с сэндвич панелью с заполнителем в виде вспененного алюминия толщиной 14 мм

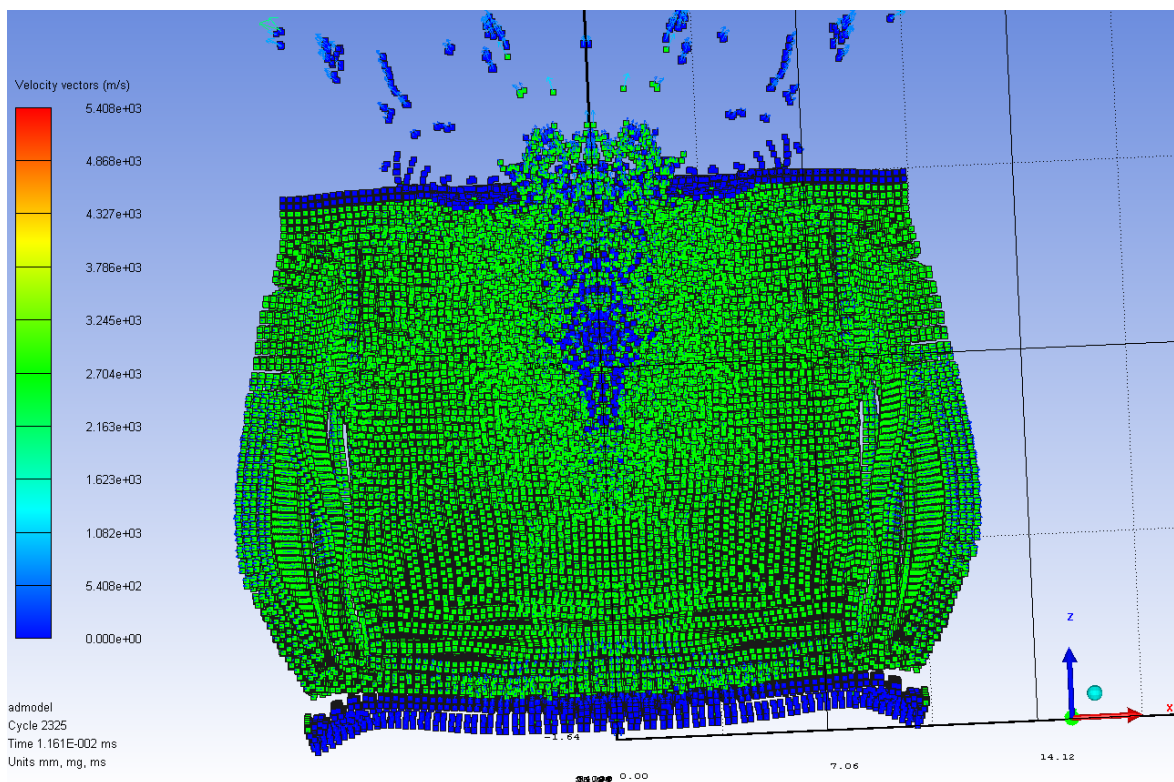


Рис. 6. Результаты моделирования высокоскоростного удара со скоростью 7 км/с частицы диаметром 3 мм с сэндвич панелью с заполнителем в виде вспененного алюминия толщиной 20 мм

Полученные при математическом моделировании результаты соответствуют результатам экспериментов, приведённым в работе [9] (рис. 8). В результате удара происходит интенсивное разрушение фрагмента КМ об первый слой защитного экрана, незначительный выброс материала преграды и торможение мелких фрагментов разрушившегося КМ во втором слое защитного экрана.

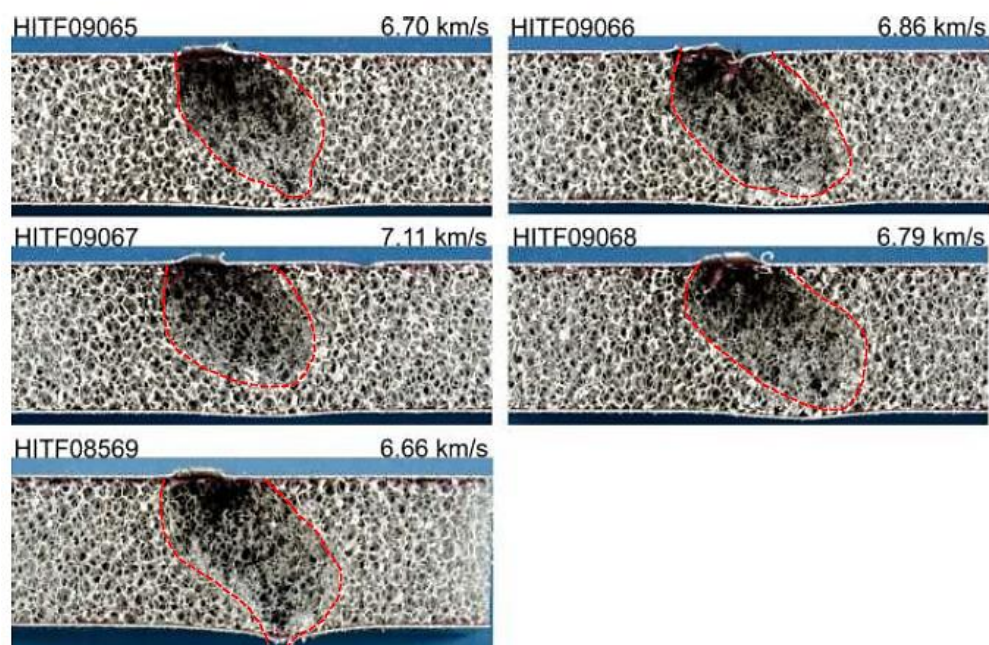


Рис. 8. Пробитие пяти мишеней при диаметре КМ 2,7 мм и скоростях от 6,65 до 7,11 км/с

Полученные результаты сведены в зависимость оптимальной толщины защитного экрана от скорости используемого ударника (рис. 9).



Рис. 9. Зависимость толщины защитного экрана от скорости ударника

Заключение

Результаты моделирования высокоскоростного удара частицы КМ с сэндвич панелью с использованием метода SPH достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными, что позволяет выбирать параметры данных панелей на основе вспененного алюминия при использовании их в качестве защитных экранов для КА.

Список литературы

- [1]. Astromaterials Research and Exploration Science. // Сайт NASA. Режим доступа: https://ares.jsc.nasa.gov/orbital_debris/hvit/space-environment (дата обращения 05.05.2018).
- [2]. ANSYS AUTODYN. // Сайт CADprofi. Режим доступа: http://www.cadprofi.ru/wiki/index.php/ANSYS_AUTODYN (дата обращения 05.05.2018).

- [3]. ANSYS. Группа компаний «ПЛИМ Урал» - «Делкам-Урал» - Единый центр поддержки Продуктов ANSYS в России и странах СНГ. Режим доступа: <http://cae-expert.ru> (дата обращения 07.05. 2018).
- [4]. Зеленцов В.В., Маханьков А.В. Численное моделирование методом SPH взаимодействия фрагментов космического мусора с элементами конструкций космических аппаратов // Наука и Образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2017. № 5. С. 42-56.
- [5]. David Stowe, Ryan Kupchella, Hua Pan, John Cogar. Investigation of S-SPH for Hypervelocity Impact Calculations // Procedia Engineering. 2015. Vol. 103. P. 585 – 592. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.04.076
- [6]. Fraunhofer M. Foaminal properties overview and design guideline. Режим доступа: http://www.ifam.fraunhofer.de/content/dam/ifam/de/documents/IFAM-Bremen/2801/leichtbauwerkstoffe/metallschaeume/design/design_guidelines_english_V14.pdf (дата обращения 09.05.2018).
- [7]. Masumi Higashide, Takumi Kusano, Yuu Takayanagi, Kazuyoshi Arai, Sunao Hasegawa. Comparison of Aluminum Alloy and CFRP Bumpers for Space Debris Protection // Procedia Engineering. 2015. Vol. 103. P. 189 – 196. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.04.026
- [8]. Andrew J. Piekutowski, Kevin L. Poormon. Holes Formed in Thin Aluminum Sheets by Spheres with Impact Velocities Ranging from 2 to 10 Km/S // Procedia Engineering. 2015. Vol. 103. P. 482 – 489. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.04.063
- [9]. Shannon Ryan, Eric L. Christiansen. Hypervelocity Impact Testing of Aluminum Foam Core Sandwich Panels // National Technical Information Service. Houston: Johnson Space Center. 2015. November. 96 p. NASA/TM-2015-218593.