



Научная статья

УДК: 539.422.52

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=189136>

EDN: <https://www.elibrary.ru/DPHPID>

РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТРЕХСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ НАГРУЗКИ

М.И. Мартиросов, Д.В. Дедова[✉], О.В. Егорова

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия

✉ darina.dedova98@gmail.com

Цитирование: Мартиросов М.И., Дедова Д.В., Егорова О.В. Расчётно-экспериментальное исследование динамики трехслойных сотовых панелей при действии ударной нагрузки // Труды МАИ: электрон. журнал. № 149. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=189136>

Аннотация. В работе проводится расчетно-экспериментальное исследование динамики трехслойных сотовых панелей из полимерных композиционных материалов при действии ударной нагрузки грузом установленной массы в соответствии с ГОСТ Р 57954-2017. В ходе исследования определяются энергия, необходимая для разрушения панели, а также средняя высота падения груза. Численные расчеты проводятся методом конечных элементов при помощи программного комплекса LS-DYNA. В численном исследовании помимо энергии разрушения определяются поля распределения напряжений в каждом из монослоев наружной обшивки сотовой панели, а также перемещения заполнителя в месте удара.

Ключевые слова: трехслойные панели; сотовый заполнитель; полимерные композиционные материалы; экспериментальное исследование; метод конечных элементов; ударная нагрузка.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания МАИ (шифр FSFF-2026-0010).

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE DYNAMICS OF THREE-LAYER HONEYCOMB PANELS UNDER IMPACT LOAD

M.I. Martirosov, D.V. Dedova✉, O.V. Egorova

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

✉ darina.dedova98@gmail.com

Citation: Martirosov M.I., Dedova D.V., Egorova O.V. Computational and experimental study of the dynamics of three-layer honeycomb panels under impact load // Trudy MAI. 2026. No. 149. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=189136>

Abstract. A computational and experimental study of the dynamics of three-layer honeycomb panels made of polymer composite materials under the action of a shock load with a load of a specified mass in accordance with GOST R 57954-2017 is carried out. The study determines the energy required to destroy the panel, as well as the average height of the load drop. Numerical calculations are performed using the finite element method using the LS-DYNA software package. In addition to the energy of destruction, the numerical study determines the stress distribution fields in each of the monolayers of the outer lining of the honeycomb panel, as well as the movement of the filler at the impact site.

Keywords: three-layer panels; honeycomb filler; polymer composite materials; experimental research; finite element method; impact load.

Funding: The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Assignment to the Moscow Aviation Institute (MAI) (Code FSFF-2026-0010).

Введение

Трехслойные панели с сотовым наполнителем, рассматриваемые в работе, – это конструкции, состоящие из нескольких тонких, но прочных обшивок из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и легкого наполнителя между ними. Тонкие обшивки воспринимают продольное растяжение, сжатие, изгиб и поперечный сдвиг в своей плоскости. Сотовый наполнитель воспринимает нагрузку в плоскости несущих слоев, поперечное сжатие и поперечный сдвиг и предохраняет тонкие несущие слои обшивки от местной и общей потери

устойчивости, обеспечивая их совместную работу и высокую жесткость. Такие панели нашли широкое применение в различных областях производства благодаря ряду преимуществ, например, высокой удельной прочности и жесткости, устойчивости при сжатии, высокой технологичности, наименьшей массы готовой конструкции в сравнении с традиционными материалами [1-4].

Для исследования статической и динамической прочности таких конструкций необходимо проводить соответствующие расчеты. В современной инженерии для этих расчетов, в основном, используются численные методы, например, метод конечных элементов (МКЭ) [5-8]. Среди основных преимуществ МКЭ можно выделить следующие:

1. Возможность анализа сложной геометрии конструкции.
2. Учет физической и геометрической нелинейности.
3. Экономия времени и ресурса, затрачиваемых при расчете.
4. Универсальность применения для разных типов задач.

Наряду с преимуществами МКЭ можно выделить некоторые ограничения данного подхода, которые возникают при решении задач прочности конструкции:

1. Зависимость от качества конечно-элементной сетки.
2. Необходимость валидации конечно-элементной модели (КЭМ).

В статье [9] представлены результаты экспериментального исследования по определению жесткостных характеристик плоских трехслойных панелей с вырезом, а также приведены результаты теоретических исследований по определению собственных частот колебаний сотовых панелей.

В статье [10] проведено экспериментальное определение модулей сдвига и пределов прочности при испытаниях на сдвиг трехслойных панелей с обшивками из углепластиков и заполнителем из стеклопластика. Выявлена обратная корреляция модулей сдвига с общей высотой сотового заполнителя. В то время как пределы прочности на сдвиг не зависят от общей высоты сот.

В статье [11] представлены результаты испытаний на трехточечный изгиб пластин с сотовым заполнителем из композитов, изготовленных при помощи 3D-печати. В результате натурного эксперимента получены зависимости

критической нагрузки разрушения панелей от времени действия нагрузки. Показано, что высота сотового заполнителя существенно влияет на прочность всей конструкции несмотря на уменьшение толщины ребер сотового заполнителя.

В работе [12] приведен подробный обзор методов испытаний сотовых панелей. Представлены результаты статических испытаний образцов на изгиб, сжатие, растяжение, сдвиг и отслаивание обшивки от заполнителя. Отражены основные виды разрушения сотовых конструкций при проведении данных испытаний. Также приведены значения характеристик материала сот, полученные в ходе выполнения экспериментов.

В работе [13] дано численное исследование статической устойчивости сотовых заполнителей из стеклопластика. Расчет на потерю устойчивости проводился в нелинейной постановке. Приведены графики зависимости перемещений от времени.

В статье [14] разработана математическая модель многоуровневой структуры трехслойной панели с сотовым заполнителем на основе тканевого композита. Представлены примеры численных расчетов, выполненных МКЭ. Проведено детальное компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) панели из трехслойного сотового материала при четырехточечном изгибе, которое позволило выявить особенности разрушения такого типа конструкций вследствие локальных напряжений сдвига в зонах приложения нагрузки.

В статье [15] рассматривается задача анализа НДС трехслойных сотовых панелей под действием давления и температурного поля. В работе предложена методика расчета, сочетающая аналитическую строгость и вычислительную экономичность. Проведена экспериментальная валидация методики с использованием вакуумного нагружения и оптического метода корреляции цифровых изображений. Авторами достигнута высокая степень согласования между численно-аналитическими и экспериментальными данными по прогибам.

В работе [16] приведены результаты численных исследований по влиянию эксплуатационно-технологических повреждений на характеристики прочности и

устойчивости панелей из МКЭ. В качестве повреждений рассматривалось, в том числе, повреждение обшивки ударного характера. Исследовано влияние размеров указанных повреждений на характеристики прочности и устойчивости панелей. Показано, что для панели с ударным повреждением обшивки существует его критический размер, до которого требования к остаточной прочности могут быть удовлетворены.

В работе [17] приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований композитных силовых панелей крыла и хвостового оперения в условиях одноосного сжатия.

В статье [18] разработана методика определения стойкости к ударным воздействиям деталей для летательных аппаратов, которые представляют собой трехслойные панели с сотовым наполнителем. Установлены зависимости размеров повреждений от энергии удара, а также исследованы площади ударных повреждений методом ультразвукового эхо-импульсного контроля и методом компьютерной томографии.

В работе [19] рассматривается поведение плоских трехслойных панелей с сотовым наполнителем при наличии и отсутствии внутренних дефектов. В качестве нагрузки на панель рассматриваются удары инденторами (ударниками) различной формы. В результате проведенного численного исследования получены поля распределения продольных напряжений и индексов разрушения.

В работе [20] проведена валидация методики моделирования и определения прочности панелей с сотовым наполнителем на основе экспериментальных данных, полученных при сжатии сотовых панелей.

В данной работе проводится экспериментальное исследование динамики трехслойных панелей с сотовым наполнителем с целью определения средней энергии разрушения при ударе падающим грузом установленной массы. Также проводится численное исследование изменения НДС трехслойной сотовой панели при действии ударной нагрузки.

Постановка задачи

Объектом исследования является трехслойная плоская сотовая панель с обшивками и заполнителем из ПКМ. Размеры панели $a = 500$ мм, $b = 500$ мм, высота сотового заполнителя $H = 9,2$ мм (рисунок 1).

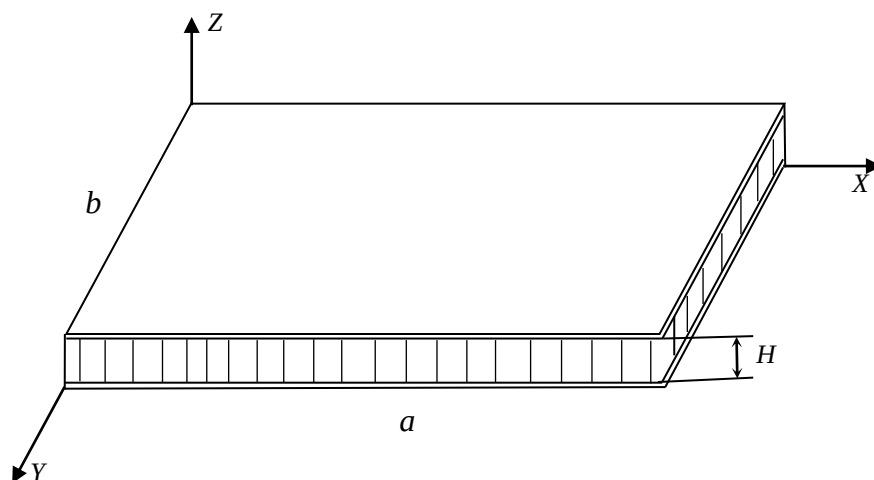


Рисунок 1 – Трехслойная панель с сотовым заполнителем

Обшивки панелей выполнены из углеродного однонаправленного препрега с плотностью армирующего наполнителя 200 г/мм² и толщиной монослоя $0,2$ мм.

Количество монослоев в наружной и внутренней обшивках – по два. Укладка монослоев обшивок имеет следующий вид: $[0^\circ/90^\circ]$.

Материал сотового заполнителя имеет плотность 128 кг/м³. Соты имеют гексагональную форму, что обеспечивает высокие характеристики прочности и устойчивости конструкции в целом и сравнительно просты в изготовлении. Стенки сот расположены перпендикулярно обшивкам.

Экспериментальное исследование

Испытания по определению средней энергии разрушения при ударе падающим грузом установленной массы проводились в соответствии с ГОСТ Р 57954-2017 [21] методом Гарднера по следующему алгоритму:

1. Установка опорной наковальни и бойка (ударника).
2. Расположение образца в установке для испытаний. При этом каждый образец необходимо размещать одной и той же стороной к поверхности бойка.
3. Фиксация груза на требуемой высоте.
4. Падение груза на боёк, вследствие чего боёк наносит удар по образцу.
5. Осмотр образца (оценка повреждений и разрушений).

6. При разрушении образца необходимо уменьшить высоту падения на одну ступень, не уменьшая его массу. Если образец не разрушился, то необходимо увеличить высоту падения груза на одну ступень. Одна ступень высоты падения груза – 25 мм.

7. Таким образом испытываются все образцы. При этом каждый образец испытывался только один раз.

Общий вид установки для проведения испытаний приведен на рисунке 2. Масса падающего груза $m = 1$ кг.



Рисунок 2 – Общий вид установки для проведения испытаний

Общий вид образца панели для проведения натурных испытаний приведен на рисунке 3.

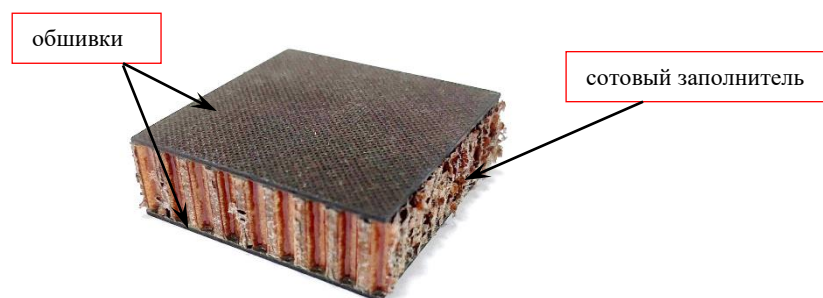


Рисунок 3 – Общий вид образца для испытаний

Общее количество испытанных образцов – 24 штуки. Номинальная толщина панели – 9,6 мм.

Численное исследование

Численное моделирование проводилось в программном комплексе LS-DYNA. Сотовый наполнитель смоделирован в виде шестигранных ячеек конечными элементами типа «Shell». Обшивки панели смоделированы объемными конечными элементами типа «Solid». Граничные условия моделируют нагружение образцов в ходе натурных испытаний.

КЭМ панели с ударником представлена на рисунке 4. Всего в модели 60648 конечных элемента.

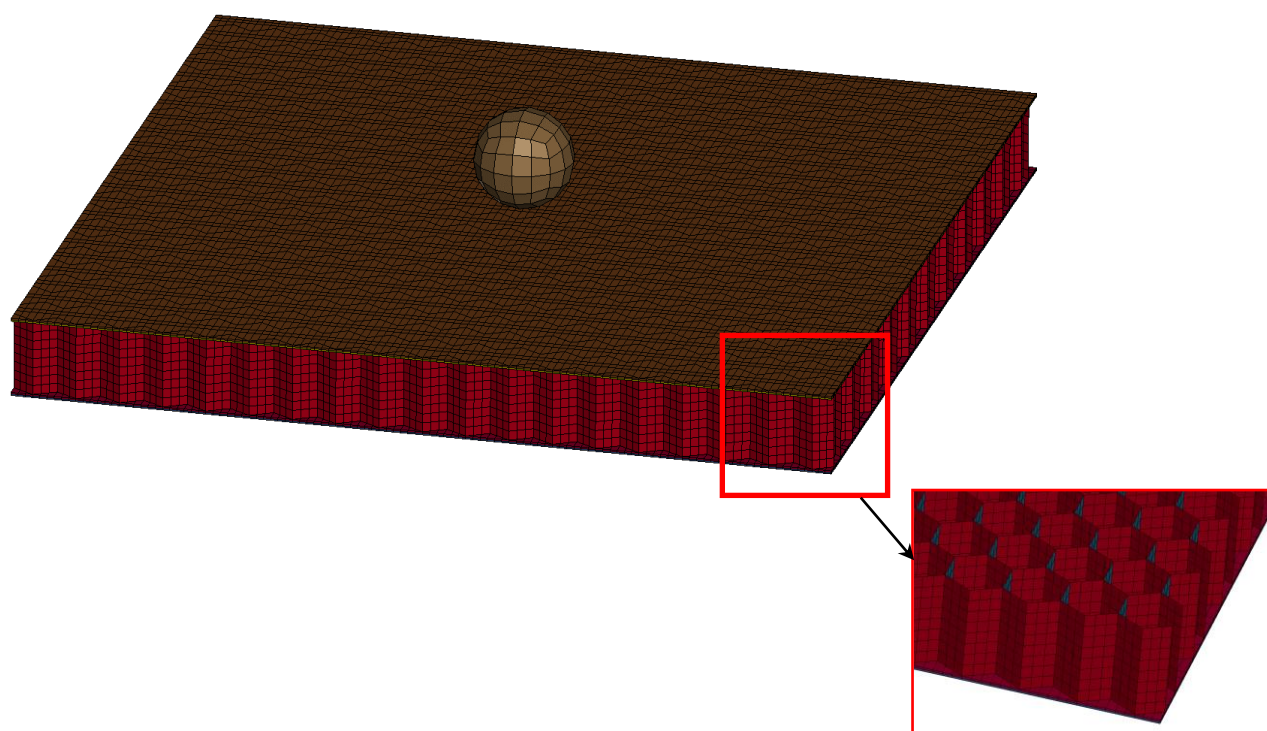


Рисунок 4 – Конечно-элементная модель панели с грузом

Результаты экспериментального исследования

В ходе проведенного экспериментального исследования определялась полная высота падения груза, необходимая для разрушения панели, а также средняя энергия разрушения при ударе грузом заданной массы.

В таблице 1 приведены результаты натурных испытаний.

Результаты натурных испытаний

Номер образца	Полная высота падения, мм				
	570	595	620	645	670
	Результат: X – есть повреждение, O – нет повреждения				
1	-	-	X	-	-
2	-	O	-	-	-
3	-	-	X	-	-
4	-	X	-	-	-
5	O	-	-	-	-
6	-	O	-	-	-
7	-	-	O	-	-
8	-	-	-	X	-
9	-	-	O	-	-
10	-	-	-	O	-
11	-	-	-	-	X
12	-	-	-	X	-
13	-	-	O	-	-
14	-	-	-	X	-
15	-	-	X	-	-
16	-	X	-	-	-
17	O	-	-	-	-
18	-	O	-	-	-
19	-	-	X	-	-
20	-	O	-	-	-
21	-	-	X	-	-
22	-	O	-	-	-
23	-	-	O	-	-
24	-	-	-	O	-

Средняя высота падения груза вычисляется по формуле:

$$h = h_0 + d_h \left(\frac{A}{N} \pm 0,5 \right), \text{ где} \quad (1)$$

h_0 – наименьшая высота, при которой произошло разрушение панели,

d_h – ступень изменения высоты,

N – общее количество разрушенных образцов.

$$A = \sum_{i=0}^k i n_i, \text{ где} \quad (2)$$

i – индекс подсчета, начинается с h_0 ,

n_i – количество событий, произошедших при $h_i = h_0 + i d_h$.

Средняя энергия разрушения вычисляется по формуле:

$$E = hmf, \text{ где} \quad (3)$$

h - средняя высота падения груза,

m – масса груза,

$f = 9,81 \cdot 10^{-3}$ - коэффициент для выражения энергии в джоулях.

В таблице 2 приведены, полученные по формулам (1) - (3), результаты о средней высоте падения ударника и энергии разрушения панели.

Таблица 2

Средняя энергия разрушения панели

Количество разрушенных образцов	11
Масса груза, кг	1
Степень изменения высоты, мм	25
Наименьшая высота разрушения панели, мм	595
Средняя высота, мм	614
Средняя энергия разрушения, Дж	6,03

Результаты численного моделирования

На рисунке 5 приведено изменение кинетической энергии падающего груза с высоты, необходимой для разрушения панели.

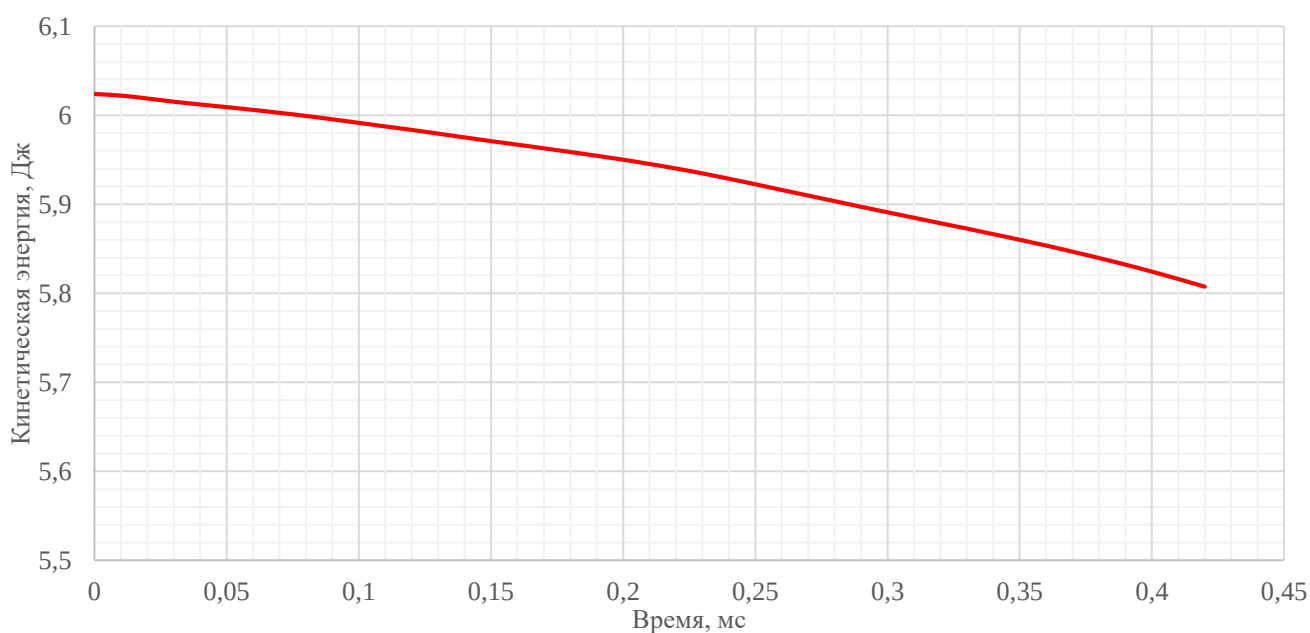


Рисунок 5 – Изменение кинетической энергии

На рисунке 6 приведено распределение продольных напряжений в первом (наружном) слое верхней обшивки панели в момент разрушения сотового заполнителя.

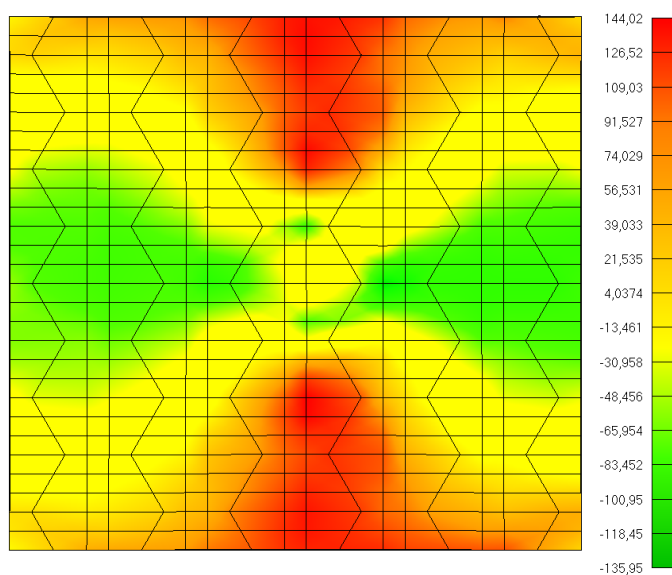


Рисунок 6 – Распределение продольных напряжений, Мпа

На рисунке 7 приведено распределение продольных напряжений во втором (внутреннем) слое верхней обшивки панели в момент разрушения сотового заполнителя.

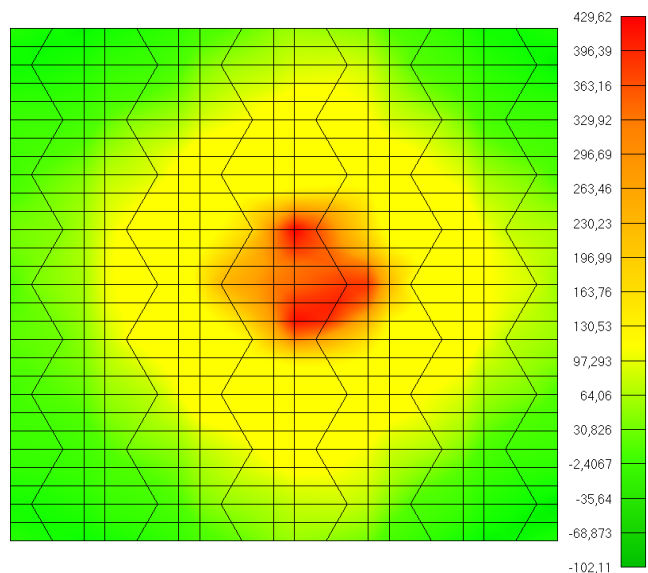


Рисунок 7 - Распределение продольных напряжений, МПа

На рисунке 8 представлен вид КЭМ разрушенных сот после удара.

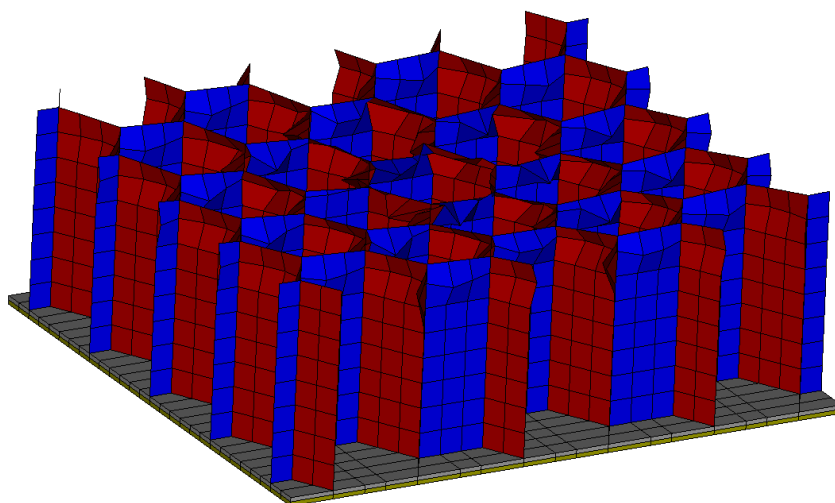


Рисунок 8 – Вид разрушенных после удара сот

На рисунке 9 приведен график зависимости перемещения сотового заполнителя от времени в момент удара.

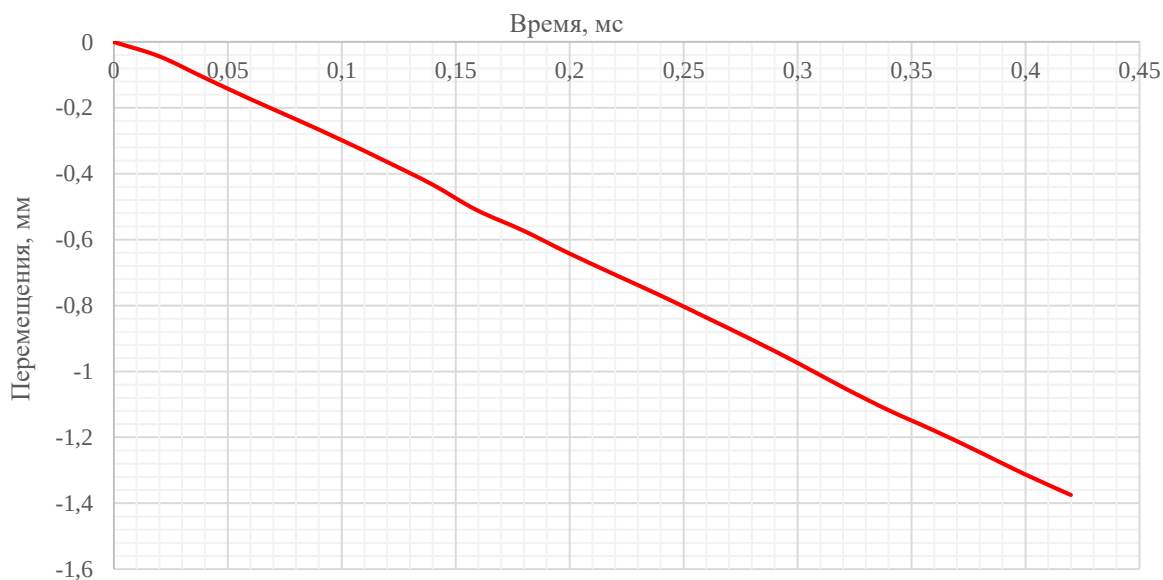


Рисунок 9 – Перемещения сотового заполнителя

Из графика на рисунке 5 следует, что максимальная кинетическая энергия падающего груза равна ~ 6 Дж.

Из распределения напряжений на рисунках 6 - 7 следует, что максимальное напряжение в первом слое обшивки равно 144 МПа, во втором слое обшивки – 429 МПа. Также наблюдается заметная разница в картине распределения напряжений по панели в зоне удара.

Из графика на рисунке 9 следует, что максимальное перемещение сотового заполнителя в результате ударной нагрузки составляет 1,38 мм.

Заключение

В результате проведенного экспериментального (натурного) и численного исследования определена средняя энергия разрушения трехслойных панелей с сотовым заполнителем из ПКМ при ударе грузом заданной массы. Из результатов следует, что средняя энергия разрушения панели, полученная в ходе натурного эксперимента и численного анализа, совпадают, что подтверждает правильность разработанной численной модели панели и эффективность выбранной методики моделирования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Александров А.Я., Куршин Л.М. Трехслойные пластинки и оболочки // Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 2. - М.: Машиностроение, 1968. - С. 243-326.
2. Александров А.Я., Брюккер Л.Э., Куршин Л.М. Расчет трехслойных панелей. - М.: Оборонгиз, 1960. - 270 с.
3. Любин Дж., Дастин С. Аэрокосмическое применение композитов // Справочник по композиционным материалам в двух книгах /Под ред. Дж. Любина. Книга 2. - М.: Машиностроение, 1988. - С. 538-566.
4. Вольмир А.С. Современные концепции применения композитных материалов в летательных аппаратах и двигателях //Механика композитных материалов. 1985, № 6. - С. 1049-1056.
5. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The finite element method. Vol. 1. - Butterworth Heinemann. 2000. - 708 p.
6. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация: Пер. с англ. - М.: Мир. 1986. - 312 с.

7. Сигерлинд Л. Применение метода конечных элементов. - М.: Мир. 1979. - 392 с.
8. Sigerlind L.-J. Applied Finite Element Analysis. John Wiley and Sons. Inc. 1976. - 195 p.
9. Сафронов В.С. Экспериментально-теоретическое исследование жесткостных характеристик неоднородных трехслойных сотовых панелей // Авиакосмическое приборостроение. №12. 2009. - С. 28-33.
10. Адамов А.А., Торопицина А.В. Экспериментально-теоретическое исследование деформирования многослойных сотовых панелей при испытании на сдвиг // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. №2 (56). 2023. -С. 76-87.
11. Соловьев И.А., Шитикова М.В. Экспериментальное моделирование трёхточечного изгиба аддитивно изготовленных трёхслойных композитных пластин с тетракиральным наполнителем // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. №5 (61). 2022. - С. 18-25.
12. Ерасов В.С., Сибаев И.Г., Сутубалов А.И. Испытания образцов из трехслойных конструкций с сотовым наполнителем // Труды ВИАМ. №10 (152). 2025. - С. 133-155.
13. Першин А.М. Расчётное исследование статической устойчивости сотовых наполнителей из композиционных материалов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). №5-1 (47). 2014. - С.118-123.
14. Димитриенко Ю.И., Федонюк Н.Н., Губарева Е.А., Сборщиков С.В., Прозоровский А.А., Ерасов В.С., Яковлев Н.О. Моделирование и разработка трехслойных композиционных материалов с сотовым наполнителем // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. №5 (56). 2014. - С. 66-81.
15. Котович И.В., Власов Д.Д. Экспериментальное исследование и численное моделирование деформации трехслойной панели с нерегулярной структурой сот под действием внешней нагрузки // Тепловые процессы в технике. Т. 17. №10. 2025. - С. 443-453.

16. Дударьков Ю.И., Левченко Е.А., Лимонин М.В., Шевченко А.В. Расчетные исследования влияния некоторых видов эксплуатационно-технологических повреждений на несущую способность стрингерных панелей из полимерных композиционных материалов // Труды МАИ. №106. 2019. - С. 1-29.
17. Голован В.И., Дударьков Ю.И., Левченко Е.А., Лимонин М.В. Несущая способность панелей из композиционных материалов при наличии эксплуатационных повреждений // Труды МАИ. №110. 2020. - С. 1-26.
18. Беззаметнов О.Н., Митряйкин В.И., Халиулин В.И., Кротова Е.В. Разработка методики определения стойкости к ударным воздействиям деталей летательных аппаратов из композитов с сотовым наполнителем // Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. № 3. - С. 111-125.
19. Рабинский Л.Н., Мартиросов М.И., Дедова Д.В. Поведение плоских панелей с сотовым наполнителем при наличии внутренних дефектов различной формы // Труды МАИ. №141. 2025. - С. 1-24.
20. Рабинский Л.Н., Мартиросов М.И., Дедова Д.В. Расчетно-экспериментальное исследование трехслойных плоских панелей с обшивками из полимерных композитов // Инженерный журнал: наука и инновации. Электронное научно-техническое издание. № 4 (160). 2025. - С.1-9.
21. ГОСТ Р 57954-2017.Пластмассы. Метод определения энергии удара по Гарднеру. - М.: Стандартинформ, 2017. - 30 с.

References

1. Aleksandrov A.Ya., Kurshin L.M. Trekhslojnye plastinki i obolochki // Prochnost', ustojchivost', kolebaniya. Spravochnik v trekh tomah. Tom 2. - М.: Mashinostroenie, 1968. - P. 243-326.
2. Aleksandrov A.Ya., Bryukker L.E., Kurshin L.M. Raschet trekhslojnyh panelej. - М.: Oborongiz, 1960. - 270 p.
3. Lyubin Dzh., Dastin S. Aerokosmicheskoe primeneniye kompozitov // Spravochnik po kompozicionnym materialam v dvuh knigah /Pod red. Dzh. Lyubina. Kniga 2. - М.: Mashinostroenie, 1988. - P. 538-566.

4. Vol'mir A.S. Sovremennye koncepcii primeneniya kompozitnyh materialov v letatel'nyh apparatah i dvigatelyah // Mekhanika kompozitnyh materialov. 1985, № 6. - P. 1049-1056.
5. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The finite element method. Vol. 1. - Butterworth Heinemann. 2000. - 708 p.
6. Zenkevich O., Morgan K. Konechnye elementy i approksimaciya: Per. s angl. - M.: Mir. 1986. - 312 p.
7. Sigerlind L. Primenenie metoda konechnykh elementov. - M.: Mir. 1979. - 392 p.
8. Sigerlind L.-J. Applied Finite Element Analysis. John Wiley and Sons. Inc. 1976. - 195 p.
9. Safronov V.S. Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie zhestkostnykh harakteristik neodnorodnykh trekhslojnykh sotovykh panelej // Aviakosmicheskoe priborostroenie. №12. 2009. - P. 28-33.
10. Adamov A.A., Toropicina A.V. Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie deformirovaniya mnogoslojnykh sotovykh panelej pri ispytanii na sdvig // Vestnik ChGPU im. I.Ya. Yakovleva. Seriya: Mekhanika predel'nogo sostoyaniya. №2 (56). 2023. - P. 76-87.
11. Solov'ev I.A., Shitikova M.V. Eksperimental'noe modelirovanie tryohtochechnogo izgiba additivno izgotovlennykh tryohslojnykh kompozitnykh plastin s tetrakiral'nym zapolnitelem // Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. №5 (61). 2022. - P. 18-25.
12. Erasov V.S., Sibaeu I.G., Sutubalov A.I. Ispytaniya obrazcov iz trekhslojnykh konstrukcij s sotovym zapolnitelem // Trudy VIAM. №10 (152). 2025. - P. 133-155.
13. Pershin A.M. Raschyotnoe issledovanie staticheskoy ustojchivosti sotovykh zapolnitelej iz kompozicionnykh materialov // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Korolyova (nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta). №5-1 (47). 2014. - P.118-123.
14. Dimitrienko Yu.I., Fedonyuk N.N., Gubareva E.A., Sborshchikov S.V., Prozorovskij A.A., Erasov V.S., Yakovlev N.O. Modelirovanie i razrabotka trekhslojnykh kompozicionnykh materialov s sotovym zapolnitelem // Vestnik Moskovskogo

gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Estestvennye nauki. №5 (56). 2014. - P. 66-81.

15. Kotovich I.V., Vlasov D.D. Eksperimental'noe issledovanie i chislennoe modelirovanie deformacii trekhslojnoj paneli s neregulyarnoj strukturoj sot pod dejstviem vneshnej nagruzki // Teplovye processy v tekhnike. T. 17. №10. 2025. - P. 443-453.

16. Dudar'kov Yu.I., Levchenko E.A., Limonin M.V., Shevchenko A.V. Raschetnye issledovaniya vliyaniya nekotoryh vidov ekspluatacionno-tekhnologicheskikh povrezhdenij na nesushchuyu sposobnost' stringernyh panelej iz polimernyh kompozicionnyh materialov // Trudy MAI. №106. 2019. -P. 1-29.

17. Golovan V.I., Dudar'kov Yu.I., Levchenko E.A., Limonin M.V. Nesushchaya sposobnost' panelej iz kompozicionnyh materialov pri nalichii ekspluatacionnyh povrezhdenij // Trudy MAI. №110. 2020. - P. 1-26.

18. Bezzametnov O.N., Mitryaikin V.I., Haliulin V.I., Krotova E.V. Razrabotka metodiki opredeleniya stoykosti k udarnym vozdeystviyam detaley letatelnyh apparatov iz kompozitov s sotovym zapolnitelem // Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. 2020. T.27. №3.- P. 111-125.

19. Rabinskij L.N., Martirosov M.I., Dedova D.V. Povedenie ploskih panelej s sotovym zapolnitelem pri nalichii vnutrennih defektov razlichnoj formy // Trudy MAI. №141. 2025. - P. 1-24.

20. Rabinskij L.N., Martirosov M.I., Dedova D.V. Raschetno-eksperimental'noe issledovanie trekhslojnyh ploskih panelej s obshivkami iz polimernyh kompozitov // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie. № 4 (160). 2025. - P.1-9.

21. GOST R 57954-2017. Plastmassy. Metod opredeleniya energii udara po Gardneru. - M.: Standartinform, 2017. - 30 P.

Информация об авторах

Михаил Иванович Мартиросов, кандидат технических наук, доцент, МАИ, г. Москва, Россия; e-mail: michaelmartirosov@yandex.ru

Дарина Викторовна Дедова, аспирант, МАИ, г. Москва, Россия;
e-mail: darina.dedova98@gmail.com

Ольга Владимировна Егорова, кандидат физико-математических наук,
доцент, МАИ, г. Москва, Россия; e-mail: janus_olga@mail.ru

Information about the authors

Mikhail I. Martirosov, Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor, MAI,
Moscow, Russia; e-mail: michaelmartirosov@yandex.ru.

Darina V. Dedova, Phd Student, MAI, Moscow, Russia; e-mail:
darina.dedova98@gmail.com.

Olga V. Egorova, Candidate Physical And Mathematical Sciences, Associate
Professor , MAI, Moscow, Russia; e-mail: janus_olga@mail.ru

Получено 06 июня 2026 ● Принято к публикации 01 августа 2026 ● Опубликовано 31 августа 2026
Received 06 June 2026 ● Accepted 01 August 2026 ● Published 31 August 2026
