

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ НАГРУЖЕНИИ

М.Н. Данилов, Н.Н. Федорова, В.В. Адищев

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин), 630008, Новосибирск, Россия*

Многослойные конструкции широко применяются в различных областях техники, а также в гражданском и промышленном строительстве. В качестве ограждающих конструкций зданий применяются многослойные панели, состоящие из металлических обшивок из листового металла и среднего слоя из теплоизоляционного материала. Многослойные панели со средним слоем малой жесткости используются в качестве взрывозащитных легкобрасываемых конструкций на взрывоопасных промышленных объектах.

Тонкостенные элементы пространственной строительной конструкции должны работать преимущественно в плосконапряженном состоянии при статических нагрузках. Однако часто возникают ситуации, при которых тонкостенные элементы подвергаются воздействию изгибающих нагрузок значительной величины. К таким видам воздействия относятся ударно-волновые нагрузки, возникающие при взрывах в результате аварий на промышленных предприятиях, взрывах бытового газа в жилых зданиях, террористических актах и т.д. Для обеспечения безопасной работы тонкостенных конструкций в экстремальных режимах интенсивного нагружения требуется применение современных методов определения напряженно-деформированного состояния конструкций и исследования их прочностных характеристик. При расследовании причин аварий на промышленных объектах часто возникает задача определения места взрыва по остаточным деформациям конструкций [1]. Решение такой задачи сопряжено с рядом трудностей в виду высокой степени неопределенности свойств материалов, величин нагрузок и т.д.

Исследованию поведения многослойных конструкций под действием динамической нагрузки посвящены теоретические и экспериментальные работы [2-4]. В работе [2] приводится обзор работ посвященных исследованиям в области нелинейных колебаний многослойных пластин и оболочек при периодических воздействиях. Большое количество работ посвящено исследованию эффектов гашения ударных волн с помощью многослойных преград, включающих слой из алюминиевой пены [3,4].

В [5] рассматриваются современные модели необратимых процессов деформирования материалов при их динамическом, в том числе ударно-волновом нагружении. Дан подробный обзор публикаций и выполнена классификация моделей.

Современные вычислительные технологии позволяют более точно решать подобные задачи. Конечно-элементное программное обеспечение (например, программный комплекс ANSYS, программы AUTODYN и LS-DYNA) имеет широкий спектр возможностей для моделирования ударно-волновых воздействий на конструкции и определению их динамического отклика [6,7].

Настоящая работа является продолжением предыдущих работ авторов [8-11], в которых выполнялось исследование напряженно-деформированного состояния и теплопередачи в многослойных панелях с металлическими обшивками. В работе [11] исследована работа трехслойных панелей с металлическими обшивками при импульсном нагружении. Выполнен сравнительный анализ нескольких математических моделей многослойных пластин, доступных в программном комплексе ANSYS. Даны рекомендации по использованию различных моделей и установлены диапазоны толщин и жесткости средне-

го слоя, в которых эти модели применимы.

Целью настоящей работы является разработка и апробация методики расчета легкообрасываемых многослойных строительных конструкций, подвергающихся воздействию ударных волн. Для тестирования используются результаты эксперимента [12] по исследованию динамики многослойных панелей нескольких различных конфигураций, предназначенных для защиты от взрыва. Рассматриваются многослойные панели (Рис. 1), обшивки (А) которых выполнены из стеклопластика, а средние слои выполнены из различных полимерных материалов: полиуретан (В) и листы экструдированной пены из стирол-акрилонитрильного сополимера трех различных марок по плотности (С, D, E, F). Слои соединены между собой с помощью клея. Конфигурация №1 состоит из трех слоев: внешние стеклопластиковые обшивки (материал А) и средний слой из пены (материал F). Конфигурации №2 и №3 состоят из шести слоев: внешние стеклопластиковые обшивки (материал А) и средний слой, составленный из трех слоев пен различной плотности (материал С, D, E) и слоя полиуретана (материал В).

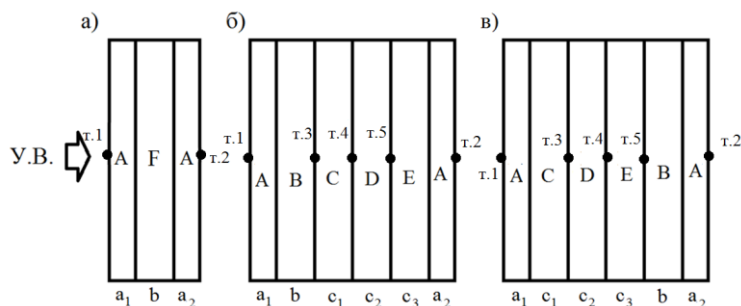


Рис. 1. Строение панели: а) конфигурация №1; б) конфигурация №2; в) конфигурация №3. Точками обозначены места, в которых выполнялся замер перемещений.

Ширина панели $B = 102$ мм, длина $L = 254$ мм. Толщина обшивок в конфигурации №1 $a_1 = a_2 = 3,8$ мм, в конфигурациях №2 и №3 $a_1 = a_2 = 5$ мм. Толщина слоя пены в конфигурации №1 $b = 25,4$ мм; в конфигурациях №2 и №3 толщина слоя полиуретана $b = 6,35$ мм; толщина слоев пены $c_1 = c_2 = 12,7$ мм, $c_3 = 6,35$ мм.

В работе представлены результаты численного моделирования процесса деформирования рассматриваемых панелей из композитных материалов при воздействии ударной волны. Нагружение панелей осуществляется с помощью ударной трубы. Ударно-волновая нагрузка на конструкцию задана с помощью полуэмпирических зависимостей. Изучена работа трехслойных и шестислойных пластин со стеклопластиковыми обшивками и средним слоем из пенистых полимерных материалов. Определен характер деформирования и разрушения панели. Определены остаточные деформации панели. Выполнено сопоставление результатов численного моделирования с данными эксперимента. На рисунке 2 показаны результаты расчета перемещений точек т.1 и т.2 для панели конфигурации №1.

Определены области применимости различных математических моделей деформирования композитных материалов и многослойных пластин. Установлено, что использование линейно-упругих моделей для решения подобных задач не допустимо. Поэтому в расчетах использовались модели, учитывающие зависимость свойств материалов от скорости деформирования.

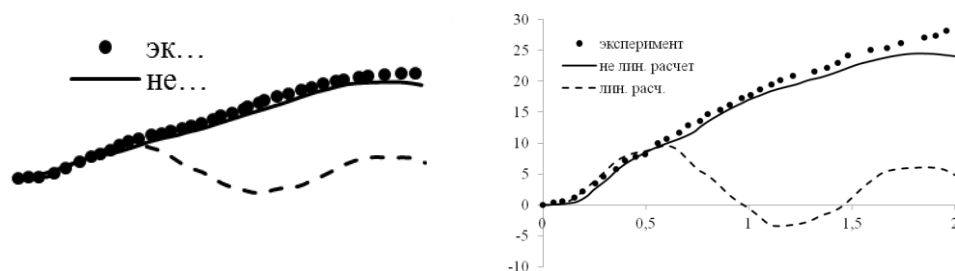


Рис. 2. Перемещение в точках: а) т.1; б) т.2.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №15-07-06581-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адищев В.В., Граненков Н.М., Кузьмищев А.П., Козыренко В.И. и др. Определение массы заряда взрывчатого вещества без оболочки по конечным прогибам обшивки фюзеляжа воздушного судна // Экспертная практика.– М.: Наука. 1980. № 16. С. 22-38.
2. Коган Е.А., Юрченко А.А. Нелинейные колебания трехслойных и многослойных пластин и оболочек при периодических воздействиях (обзор) // Известия московского государственного технического университета.– Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ) (Москва). 2014. т. 4, №1(19). С. 55-70.
3. Гоэл М. Д., Альтенхофер Ф., Матсагар В. А., Гупта А. К., Мундт К., Марбург Ш. Взаимодействие ударной волны с металлической алюминиевой пеной с закрытой пористостью // Физика горения и взрыва. 2015. №3. С. 98-105.
4. Shen J., Lu G., Wang Z. and Zhao L. Experiments on curved sandwich panels under blast loading // International Journal of Impact Engineering. 2010. Vol. 37. No. 9. P. 960–970.
5. Мерзиевский Л.А. Модели деформирования при интенсивных динамических нагрузках (обзор) // Физика горения и взрыва. 2015. №2. С.144-160.
6. Zhu F., Zhao L., Lu G. and Gad E. A numerical simulation of the blast impact of square metallic sandwich panels, // International Journal of Impact Engineering // International Journal of Impact Engineering. 2009. Vol. 36, No. 5. P. 687–699.
7. Remennikov A., Kong S. and Uy B. Numerical simulation and validation of impact response of axially-restrained steel-concrete-steel sandwich panels // Composite Structures. 2012. Vol.94.No. 12. P. 3546–3555.
8. Данилов М.Н., Федорова Н.Н. Конечно-элементное моделирование многослойных ограждающих конструкций //Известия Высших учебных заведений. Строительство.– Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). 2012. №10. С. 92-100.
9. Данилов М.Н., Федорова Н.Н. Численное исследование теплозащитных характеристик строительных сэндвич-панелей // Инженерно физический журнал. 2014. т. 87, №5. С. 1141-1150.
10. Данилов М.Н., Федорова Н.Н. Методика расчета многослойных ограждающих конструкций с учетом нелинейных свойств материалов // Известия Высших учебных заведений. Строительство.– Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). 2014. №8. С. 81-92.
11. Данилов М.Н., Адищев В.В. Конечно-элементный анализ поведения трехслойных панелей при статических и динамических воздействиях // Известия Высших учебных заведений. Строительство.– Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). 2016. №5. С. 106-118.
12. Gardner N., Wang E., Kumar P. and Shukla A Blast Mitigation in a Sandwich Composite using Graded Core with Polyurea interlayer // Experimental Mechanics. 2012. Vol. 2, No. 52. P.119-133.