

ПОВЕДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА С МНОЖЕСТВЕННЫМИ МЕЖСЛОЕВЫМИ ДЕФЕКТАМИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

А. Л. МЕДВЕДСКИЙ

*Центральный аэрогидродинамический институт им проф. Н. Е. Жуковского,
г. Жуковский, Российская Федерация*

М. И. МАРТИРОСОВ, А. В. ХОМЧЕНКО

Московский авиационный институт (НИУ), Российская федерация

В настоящее время всё большее значение приобретают элементы конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые обладают рядом преимуществ: высокой удельной жёсткостью и прочностью, низкой удельной массой, высокой износостойкостью и сопротивлением усталости, а также возможностью создания уникальных механических свойств в зависимости от требований, предъявляемых к готовому изделию и т. д. При вышеперечисленных достоинствах изделия из ПКМ имеют также и недостатки, к которым относится их чувствительность к повреждениям. Под повреждением будем понимать отклонение изделия от нормы, вызванное производством или эксплуатацией. В авиации выделено пять категорий повреждений изделий из ПКМ в зависимости от требуемого уровня сохранения остаточной прочности, контролепригодности, интервала между осмотрами, условий появления повреждения, а также от того, является ли очевидным само событие, вызывающее повреждение.

В работе рассматривается поведение следующих тонкостенных элементов конструкций, изготовленных из многослойных углепластиков, имеющих межслоевые дефекты.

1 Цилиндрическая оболочка, имеющая продольный и поперечный подкрепляющий набор. Подкреплённая оболочка характеризуется радиусом R , длиной L , толщиной обшивки t , шагом поперечного набора H_1 , шагом продольного набора H_2 (рисунок 1).

2 Цилиндрическая панель, подкреплённая продольным набором.

3 Подкреплённая прямоугольная пластина.

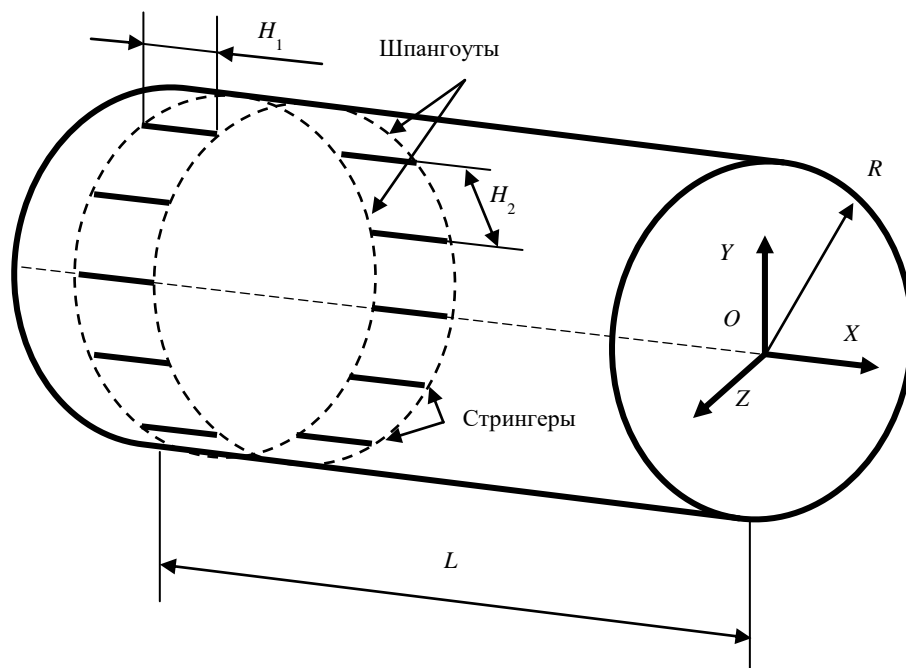


Рисунок 1 – Подкреплённая цилиндрическая оболочка

Предполагается, что подкрепляющие элементы (стрингеры, шпангоуты) также могут быть изготовлены из ПКМ. Свойства материала монослоёв обшивки и подкрепляющих элементов соответствуют ортотропному материалу. В частных случаях вышеуказанные объекты рассмотрены без подкреплений.

В работе рассматриваются межслоевые дефекты произвольной формы, границы которых аппроксимируются набором прямых. В частных случаях исследуются дефекты круговой, эллиптической и прямоугольной формы. Дефекты могут располагаться как между слоями обшивки оболочки или панели, так и между стрингером или обшивкой.

Элементы конструкций изготовлены с применением препрегов HexPly M21/34%/UD194/IMA (углелента) и HexPly M21/40%/285T2/AS4C (углеткань) и эпоксидного связующего, предназначенных для производства углепластиковых изделий по автоклавной технологии. Физико-механические характеристики монослоя известны и получены производителем препрега экспериментально по существующим стандартам (американским ASTM и европейским EN).

Для изучения поведения элементов конструкций при наличии межслоевых повреждений используется следующий алгоритм:

- а) моделирование каждого монослоя композитного пакета (КП) отдельным набором конечных элементов (КЭ);
- б) соединение слоёв КЭ с помощью клеявого контакта, за исключением зон, где располагаются дефекты (в зонах дефектов учитывается односторонний контакт);
- в) задание соответствующих свойств материала и схем укладки, приложения нагрузки и граничных условий к модели;
- г) проведение расчётов и получение результатов (в программном комплексе LS-DYNA);
- д) определение наиболее нагруженного слоя, вычисление индексов разрушения и коэффициентов запаса прочности для исследуемой области в различные моменты времени;
- е) определение динамики развития дефектов.

Методика реализована в программном комплексе, разработанном на языке Visual Basic. Программный комплекс предполагает создание послойной конечно-элементной модели (КЭМ) с возможностью выбора типа элемента конструкции (пластина, панель, оболочка), задания её геометрических параметров (габаритные размеры, шаг и форма поперечного сечения подкрепляющих элементов), выбор формы, размеров и расположения дефектов, задание свойств клеявого контакта между слоями, а также задание свойств монослоя и схемы укладки КП.

В качестве внешних нагрузок рассматривается действие взрывной волны сферической формы и ударное воздействие (с использованием ударников различной формы).

В качестве ударников (импакторов) в работе рассматриваются:

- а) абсолютно жёсткий полусферический ударник;
- б) резиноподобные множественные параллелепипеды (имитация соударения конструкции с фрагментом разорвавшейся шины из армированной резины колеса шасси самолёта при его движении по взлётно-посадочной полосе аэродрома);
- в) град шарообразной формы.

В результате решения определяются поля перемещений, напряжений и деформаций в слоях элементов конструкций в различные моменты времени. Вычисляется распределение поля давления, действующего на внешнюю поверхность элементов конструкции при взрывном воздействии, строятся графики зависимости давления от времени в характерных точках. Оценивается влияние повреждений на прочность по критериям разрушения для ПКМ: Hashin, Chang-Chang, Puck, LaRC (Langley Research Center). В случае действия ударной нагрузки определяется изменение площади расслоения между монослоями обшивки и между стрингером и обшивкой.

Разработанная методика позволяет учитывать влияние на прочность множественных дефектов (типа расслоений) произвольной формы и размеров в элементах конструкций из ПКМ и проводить оценку их значимости при действии динамических воздействий различного характера (в том числе ударных). В рамках проведенных исследований разработана программа для автоматизированного создания КЭМ оболочек, панелей, пластин с подкреплениями и без них при наличии дефектов различной формы, размеров и расположения в КП.