

В системе Wolfram Mathematica сингулярное разложение может быть получено с помощью следующей формулы:

$$\{u, l, v\} = \text{SingularValueDecomposition}[M1];$$

Приближенная матрица $M_k = U_k L_k V_k^T$,

U_k, L_k, V_k получаются из матриц сингулярного разложения отсечением до k первых столбцов.

Рассмотрим случай $k = 1$.

For[u1=Table[0,{i,1,Dimensions[M1][[1]]},{j,1,Dimensions[M1][[2]]};j=1,j<=k,j++,For[i=1,i<=Dimensions[M1][[1]],i++,u1[[i,j]]=u[[i,j]]]]

For[v1=Table[0,{i,1,Dimensions[M1][[1]]},{j,1,Dimensions[M1][[2]]};j=1,j<=k,j++,For[i=1,i<=Dimensions[M1][[1]],i++,v1[[i,j]]=v[[i,j]]]]

For[l1=Table[0,{i,1,Dimensions[M1][[1]]},{j,1,Dimensions[M1][[2]]};j=1,j<=k,j++,l1[[j,j]]=1[[j,j]]]

Тогда приближенная матрица имеет вид, представленный на рисунке 2.

Команда `ArrayPlot[Abs[M1-M2]//Chop]` позволяет графически выделить аномальные значения матрицы (рисунок 3)

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 3 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ 3 & 3 & 0 & 4 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 2 & 2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 5 & 0 & 4 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 1 & 3 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 1 & 3 & 3 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 7 & 2 & 5 & 6 & 2 & 4 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2 – Приближенная матрица.
Матрица разности исходной матрицы
с приближенной матрицей

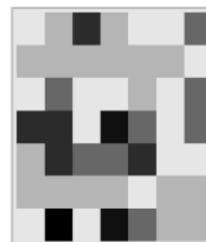


Рисунок 3 – Аномальные значения,
выделенные темным цветом

Элементы, которые сильно отличаются от соответствующих элементов матрицы небольшого ранга, будут считаться аномальными.

УДК 539.3

ДИНАМИКА ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Д. В. ДЕДОВА

ПАО «Корпорация "Иркут"», г. Москва, Российская Федерация

А. Л. МЕДВЕДСКИЙ

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

М. И. МАРТИРОСОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В настоящее время в авиационной технике (АТ) широко используются полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые обладают большим количеством преимуществ по сравнению с традиционными металлическими материалами, например, высокой удельной прочностью и жесткостью, сопротивлением усталости, низкими коэффициентами трения и термического расширения, химической инертностью. Говоря о недостатках ПКМ, среди прочего можно отметить, что при производстве и эксплуатации элементов конструкций из ПКМ могут возникать повреждения. Под повреждением будем понимать нарушение исправного состояния изделия при сохранении его работоспособности. В авиации выделяется пять категорий повреждений изделий из ПКМ в зависимости от требуемого уровня остаточной прочности, интервала между осмотрами, условий появления повреждения и контролепригодности.

Категория 1. Допустимые повреждения менее того размера, который может быть обнаружен с вероятностью не менее 90 % с уровнем доверия 95 % в процессе однократного выполнения любой

формы эксплуатационного контроля. Обоснование допустимости повреждения Категории 1 включает демонстрацию статической прочности от расчетных нагрузок в течение всего периода эксплуатации. В настоящее время, по отечественным экспертным данным и зарубежным источникам, к Категории 1 можно отнести следующие повреждения (дефекты):

- расслоение или непрочней площадью до 625 мм^2 (обычно рассматривают квадратный дефект со стороной 25 мм или узкий протяжённый дефект с минимальной шириной 6,5 мм);
- царапину или трещину глубиной до 0,2 мм и длиной до 10 мм;
- воздействие градин диаметром 10–25 мм с энергией от 2 до 56 Дж либо двигающихся со скоростью, которая не превышает крейсерской скорости полёта воздушного судна (ВС);
- ударное повреждение типа вмятины глубиной до 0,3–1,0 мм (после релаксации размеров).

Категория 2. Повреждение, которое можно обнаружить при плановых или целевых осмотрах (с вероятностью не менее 95 %), проводимых через установленные в эксплуатационной документации интервалы (при инструментальном и детальном визуальном контроле). Обоснование допустимости повреждения Категории 2 включает демонстрацию надежности метода целевого комплексного осмотра при заданном интервале и сохранении остаточной прочности при действии нагрузки, превышающей эксплуатационную. Величина этой нагрузки устанавливается на основании специального анализа. Основными причинами возникновения повреждений Категории 2 являются ударные воздействия различной природы при эксплуатации и техническом обслуживании, а также сильный град и воздействие молнии, если последние не являются очевидными экипажу. В настоящее время, по отечественным экспертным данным и зарубежным источникам, к Категории 2 можно отнести следующие дефекты и повреждения:

- ударное повреждение типа вмятины глубиной до 1–1,5 мм (после релаксации размеров);
- воздействие градин диаметром 50 мм с энергией от до 36 Дж либо двигающихся со скоростью, которая не превышает крейсерской скорости полёта ВС;
- пробоину диаметром до 5 мм, полученную от удара стального бойка со сферическим наконечником (радиус 2,5 мм).

Категория 3. Повреждение, которое может надежно обнаружить в пределах нескольких полетов ВС технический персонал (с вероятностью – не менее 95 %), не обладающий специальными навыками контроля элементов конструкций из ПКМ. Обоснование живучести в случае повреждения Категории 3 включает демонстрацию и надежное обнаружение при предполётном и послеполётном визуальном осмотре и сохранение прочности не ниже эксплуатационной нагрузки или близкой к ней в течение не менее 50 полётов.

В настоящее время, по отечественным и зарубежным данным, к Категории 3 можно отнести следующие дефекты и повреждения:

- пробоину диаметром 75 мм;
- ударные повреждения Категории 2 при условии их явной обнаруживаемости;
- отсутствие одного или более крепёжных элементов (болтов, заклёпок) в зонах соединений при условии их надёжного определения;
- разрушение одного пути нагружения в статически неопределимой конструкции;
- трещину или пробоину, обнаруживаемые по течи топлива или падению давления в герметичной части ВС.

Категория 4. Повреждение от дискретного источника при известном полетном событии, которое приводит к ограничению в пилотировании для завершения полёта. Обоснование прочности при повреждении Категории 4 включает демонстрацию остаточной прочности от статических нагрузок, которые можно ожидать при завершении полета, в котором имело место повреждение. Размер повреждения должен быть основан на реальной оценке профиля полета и потенциальных повреждений от каждого дискретного источника, включая удар птицы или элементов разрушающегося двигателя, а также воздействие фрагмента шины при разрыве покрышки колеса шасси ВС при движении (взлет, посадка) по взлетно-посадочной полосе аэродрома.

Категория 5. Серьезное повреждение, вызванное аномальными наземными или полетными явлениями, которое не входит в расчетные критерии или процедуры обоснования прочности конструкции. Единственным способом обеспечения безопасности конструкции ВС от повреждений Категории 5 является немедленное прекращение или завершение эксплуатации ВС после обнаружения или получения сообщения о случившемся инциденте.

В представленной работе рассматриваются плоские трехслойные панели с сотовым наполнителем двух типов, имеющих повреждения ударного характера. Форма панели прямоугольная, размеры заданы. Панели представляют собой конструкцию, состоящую из двух прочных тонких внешних слоев: обшивок, связанных между собой слоем наполнителя. В качестве материала обшивок используется клеевой препрег КМКС-2м.120.Т10 (стеклоткань Т-10-80 и клеевая композиция). Используемый клеевой препрег имеет повышенную трещиностойкость, прочность при межслоевом сдвиге, усталостную и длительную прочность. В качестве материалов наполнителей используются: в первой панели – полимеросотопласт ПСП-1-2,5-48, во второй панели – стеклосотопласт ССП-1-2,5. Форма ячеек гексагональная. Высота сотового наполнителя задана. Все физико-механические характеристики материалов паспортные от их производителей.

В центре панелей присутствуют повреждения эллиптической формы с заданными осями, первое повреждение – между слоями верхней обшивки, второе – между обшивкой и сотовым наполнителем.

Задача решалась численно, использовался метод конечных элементов (МКЭ). Создание конечно-элементной модели панелей осуществлялось в программном комплексе Simcenter Femap. Каждый монослой обшивок сотовых панелей моделировался отдельным набором объемных конечных элементов (КЭ). Сотовые наполнители моделировались отдельным набором оболочечных КЭ. Затем модели импортировались в программный комплекс LS-DYNA, где задавались условия закрепления, нагружения и контакта.

В качестве нагрузки рассматривалось ударное воздействие на панели абсолютно жёсткого бойка с полусферическим наконечником. Удар направлен перпендикулярно плоскости панелей в центр повреждений. В качестве граничных условий рассматривалось жесткое защемление коротких торцов панелей.

В результате проведенного исследования получено распределение полей напряжений и деформаций в слоях обшивок панелей в различные моменты времени. На основе полей напряжений и деформаций определено распределение индексов разрушений (разрушение наступает, когда этот индекс становится равным 1) по критериям разрушения для композитов Hoffman, DeAlia и Puro-Evensen. Проведено сравнение результатов для различных вариантов сотовых наполнителей. Проанализированы графики зависимости прогибов от времени в поврежденных и неповрежденных панелях, а также графики изменения кинетической энергии бойка в зависимости от времени в панелях с повреждениями и без таковых.

УДК 539.3, 539.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНОДИФфуЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛАХ МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Н. А. ЗВЕРЕВ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

А. В. ЗЕМСКОВ

*Московский авиационный институт (НИИ); НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, Российская Федерация*

В данной работе рассматривается полярно-симметричная задача механо диффузии для многокомпонентного ортотропного полого цилиндра, находящегося под действием нестационарных объемных возмущений (рисунок 1).

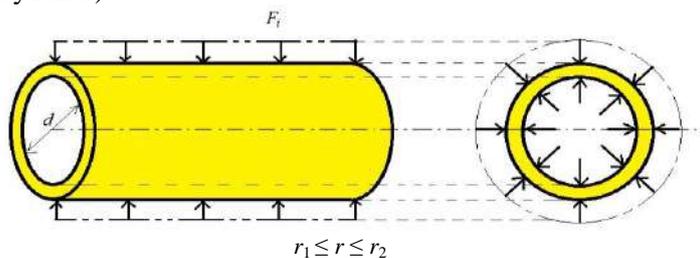


Рисунок 1 – Иллюстрация к постановке задачи