

полета капли может быть ограничена не ее испарением, а отражением встречным потоком. Это обстоятельство следует учитывать при организации пожаротушения мелкодисперсными жидкими веществами, а также при подаче топлива в цилиндры двигателей внутреннего сгорания.

Список литературы: 1. *Льшевский А.С.* Распыливание топлива в судовых дизелях. – Л.: Судостроение, 1971. – 284 с. 2. *Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Шаповалова Е.А.* Моделирование процессов в пожарных стволах. – Харьков: Фолио, 2001. – 195 с. 3. *Севериков В.В. Карпенко В.А., Севериков И.В.* Автоматические быстродействующие системы пожарной защиты. – Севастополь: Изд-во «СевГТУ», 1996. – 260 с. 4. *Ольшанский В.П.* Об отражении частиц огнетушащего порошка встречным потоком газа // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: Фолио, 2004. – Вып. 16. – С. 164-168. 5. *Ольшанский В.П.* О траектории движения частиц огнетушащего порошка, отраженной встречным потоком газа // Геометрические компьютерные моделирования. Вып. 8. – Харків: ХДУХТ, 2004. – С. 13-18. 6. *Ольшанский В.П., Дубовик О.А.* Вопросы внешней баллистики огнетушащих веществ. – Харьков: Митеть, 2005. – 236 с. 7. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Физматгиз, 1962. – 1100 с. 8. *Абрамовиц А., Стиган И.* Справочник по специальным функциям (с формулами, графиками и математическими таблицами). – М.: Наука, 1979. – 832 с. 9. *Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф.* Специальные функции. – М.: Наука, 1977. – 344 с.

Поступила в редколлегию 22.12.2005.

УДК 539.3

А.В.ОНИЩЕНКО, НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ В ТОНКИХ ПЛАСТИНАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ УДАРНЫХ НАГРУЗОК

Досліджується явище накопичення пошкодження в тонкій прямокутній пластині постійної товщини що знаходиться під дією циклічних ударних навантажень. За один цикл приймається однократний удар. Підсумовування пошкоджень вважається лінійним. Задачу удару на кожному циклі розв'язано чисельно-ітераційним методом: визначення величини сили ударної взаємодії проводиться з застосуванням різницевої схеми, визначення деформованого стану пластини виконується аналітично за теорією зсуву Тимошенко. Наведено приклади розрахунків.

The paper is devoted to the investigation of damage accumulation in thin plate with constant thickness, which is under impact loading. The single impact is presented in the one cycle. The linear damage summation is considered. The impact problem on the each cycle is solved by numerical-iterative method: the impact force value was found by use of finite difference scheme, the deformed plate state was determined analytically by shear Timoshenko's theory. The numerical examples are given.

1. Введение. Исследование поведения механических конструкций при ударном нагружении является важным этапом прочностных расчетов. В работе [1,2] рассматривается решение задач удара по тонким пластинам. Для использования теории удара предложенной Тимошенко в данных работах аналитически решается задача о колебаниях пластины. С помощью предложенного метода можно оценить

прочность конструкций при однократных ударных взаимодействиях. Реальные механические конструкции часто подвергаются действию циклических нагрузок, в том числе и ударных. При циклическом нагружении разрушение элементов конструкции может произойти при упругом деформировании в следствии накопления повреждений. Поэтому для таких конструкций необходимо проводить расчеты на много и мало цикловую усталость.

2.Постановка задачи. Рассматривается задача учета накопления повреждаемости для тонкой прямоугольной пластины постоянной толщины, шарнирно опертой по всем сторонам, находящейся под действием циклической ударной нагрузки. Необходимо определить количество циклов до разрушения пластины. Понятие повреждаемости применяется для отражения различных процессов происходящих на микро уровне при деформировании материалов. Даже при упругом деформировании в материале образуются микро трещины. При циклическом нагружении идет их развитие и увеличение, что в конечном итоге приводит к образованию макро дефектов и разрушению материала. Этот процесс известен как накопление повреждаемости [3].

На рис. 1 показано некоторое сечение материала, площадь которого равна S . Площадь S_D соответствует суммарной площади дефектов. Тогда повреждаемость материала в направлении n можно определить как:

$$D_n = \frac{S_D}{S} = \frac{S - S^*}{S},$$

где S^* – действительная площадь сечения материала;
 D_n – параметр повреждаемости в направлении n .

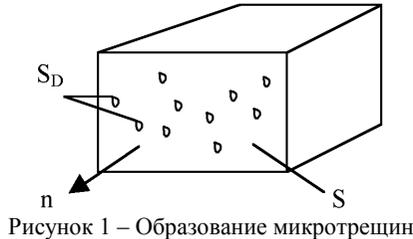


Рисунок 1 – Образование микротрещин

Физическая интерпретация параметра повреждаемости приведенная выше, была впервые предложена Л.М.Качановым. В такой постановке, параметр повреждаемости изменяется в диапазоне $0 \leq D \leq 1$. Значение $D = 0$ соответствует исходному неповрежденному состоянию материала, а $D = 1$ – соответствует окончанию процесса скрытого разрушения.

В связи с уменьшением поперечного сечения материала в теории повреждаемости вводится понятие действующего напряжения:

$$\tilde{\sigma} = \frac{\sigma}{1 - D},$$

где σ – условное напряжение без учета повреждаемости;

$\bar{\sigma}$ – действующие напряжения, учитывающее изменение сечения.

Уравнение состояния материала с повреждаемостью можно записать по принципу эквивалентности напряжений [4], как уравнение без учета повреждаемости путем замены обычных напряжений на действующие.

В работе [5] мера повреждаемости при циклическом нагружении вводится как:

$$D = \frac{N}{N_F},$$

где D – повреждаемость,

N – количество циклов,

N_F – количество циклов до разрушения.

В соответствии с такой постановкой при нулевом количестве циклов повреждаемость также равна нулю. Когда количество циклов нагружения достигает значения N_F , то материал полностью разрушается. На практике для металлов критическое значение параметра повреждаемости лежит в пределах $0,2 \leq D \leq 0,8$.

В соответствии с законом Коффина-Мэнсона повреждаемость можно принять как:

$$\frac{\delta D}{\delta N} = \left(\frac{\Delta \sigma}{C_2} \right)^{\gamma_2},$$

где $\Delta \sigma$ – амплитуда напряжений,

C_2, γ_2 – эмпирические константы материала.

3.Метод решения. Принимаем гипотезу линейного суммирования для параметра повреждаемости,

$$D = \sum_{i=1} \delta D_i.$$

Его приращение на каждом цикле определяется следующим образом:

$$\delta D_i = \left(\frac{\Delta \sigma_i}{C_2} \right)^{\gamma_2}.$$

Здесь $\Delta \sigma_i$ – амплитуда эффективных напряжений на i -том цикле. Для плоского напряженного состояния, реализующегося в пластинах, используем значение интенсивности напряжений.

Расчет проводим следующим образом. На первом шаге решается задача удара и определяется амплитуда напряжений. После этого определяется приращение повреждаемости. Далее решается задача удара на следующем цикле с учетом повреждаемости, и определяется новое приращение. Таким образом, расчет ведется до тех пор, пока параметр повреждаемости не достигнет критического значения. Количество итераций вычислений будет являться количеством циклов до разрушения.

Решая задачу предложенным методом на каждом шаге вычислений учитывается накопленная повреждаемость на предыдущих итерациях за счет вычисления действующих напряжений.

4.Пример расчетов. Ниже приведен результат расчетов накопления повреждаемости при ударном циклическом нагружении. Стальной шар радиусом $R = 0,02$ (м) ударяет по шарнирно опертой стальной пластине размером $0,2/0,2/0,008$ (м) при начальной скорости шара $v_0 = 13$ (м/с). Коэффициенты закона Коффина-Мэнсона для данного материала равны [5]:

$$C_2 = 1925 \text{ (МПа)}; \quad \gamma_2 = 9,6.$$

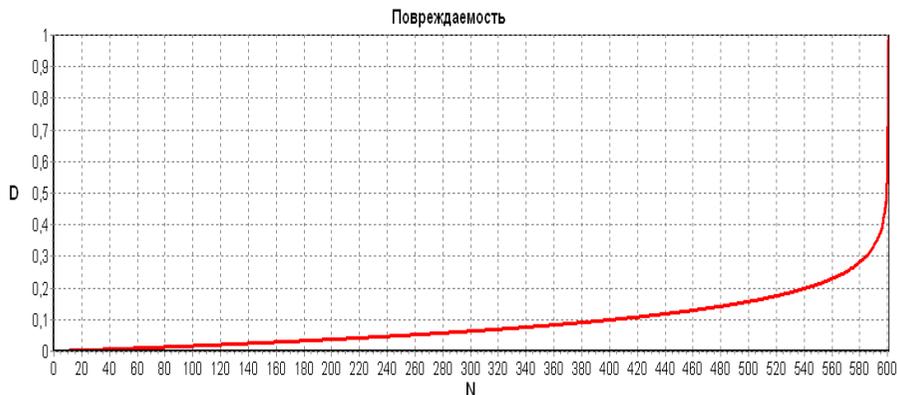


Рисунок 2 – Процесс накопления повреждаемости

На рис. 2 показана зависимость параметра повреждаемости от количества циклов нагружения. Число циклов до разрушения в данном примере равно $N_F = 601$.

Выводы. В данной статье рассмотрена контактная задача об ударе сферического тела по тонкой прямоугольной пластине с учетом повреждаемости при циклической нагрузке. На основе теоретических исследований разработан программный комплекс для решения поставленной задачи. Приведены результаты тестовой задачи.

Список литературы: 1. *Бреславский Д.В., Онищенко А.В.* Удар сферического тела по ортотропной пластине // Вестник НТУ «ХПИ», Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – №8, т. 2, 3 – 10 с. 2. *Онищенко А.В.* Моделирование ударных явлений по анизотропным пластинам // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – №21, 97 – 102 с. 3. *J.L. Chaboche.* Continuum damage mechanics. Nuclear Engineering and Design. – 1987. – Р. 19-33. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под ред. *Новикова Ф.В., Якимова А.В.* В десяти томах. – Т. 5. Обработка металлов методами пластического деформирования. – О: ОНПУ, 2004. – 522 с. 5. *Lemaitre J., J.-L. Chaboche.* Mechanics of solid materials. – Cambridge: University press, 1994. – 556 p. 6. *Гольдсмит В.* Удар. Теория и физические свойства соударяе-

мых тел. – М., 1965. – 451 с. 7. *Голоскоков Е.Г., Филиппов А.П.* Нестационарные колебания деформируемых систем. – Киев., 1977. – 340 с. 8. *Филиппов А.П., Кохманюк С.С., Янютин Е.Г.* Деформирование элементов конструкций под действием ударных и импульсных нагрузок. – К.: Наукова думка, 1978. – 184 с.

Поступила в редколлегию 03.04.2006

УДК 839.4:02

В.О.ПОВГОРОДНИЙ, канд.техн.наук, ИПМаш НАН Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИБОРНОГО БЛОКА САМОЛЕТА ПО ВИБРОУСКОРЕНИЯМ

Розглянуто числові характеристики показників безвідмовності з урахуванням віброприскорень, власних частот та термонапружень. Задачі вирішуються з використанням методу скінченних елементів та теорії викидів. Результати досягнуто для нового приладового блоку літака, що уявляє собою пакет плат з електронними радіотехнічними елементами (ЕРЕ).

In this article are introduced number's index of the fail-safe including vibration accelerations, free frequencies and thermal stresses. The problem is solved by the finite element's method and method of the theory of throw outs. The results for the new device of aircraft, which introduce the pocket of plates with electronical radiotechnical elements.

Результаты расчета показателей надежности по каждой плате и корпусу, входящим в блок воздушных параметров (БВП) [1], при изменении времени непрерывной работы (времени полета) t_n от 0 до 12 ч с учетом внезапных отказов (вибрационных – по виброускорениям) приведены в табл. 1, 2.

Функции надежности по виброускорениям, полученные с использованием теории выбросов по каждой из плат и корпусу, входящим в блок БВП, по которым можно спрогнозировать вероятность безотказной работы (ВБР) и наработку на отказ:

$$\begin{aligned} P_k(t) &\approx 1 - 0,00000000000038 \cdot t; \\ P_1(t) &\approx 1 - 0,000000646 \cdot t; \\ P_2(t) &\approx 1 - 0,000000661 \cdot t; \\ P_3(t) &\approx 1 - 0,000000741 \cdot t. \\ P_4(t) &\approx 1 - 0,000000688 \cdot t; \\ P_5(t) &\approx 1 - 0,000000689 \cdot t. \end{aligned} \quad (1)$$

По статической прочности для БВП получают большие значения показателей безотказности (конструкция высоконадежная). Поэтому эти данные в таблицах не приводим. Значения показателей надежности (безотказности) по виброперемещениям аналогичны значениям по виброускорениям и значения наработки на отказ получены при доверительной вероятности $\gamma=0,99$ [2,3].