

Муртазин В.М., Малыхина О.И., Кирпичёв В.А., Шадрин В.К.

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РАЗРАБОТКЕ ПОДПРОГРАММЫ РАСЧЁТА КОРПУСНЫХ УСИЛИЙ БАЛОЧНЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Задача расчёта корпусных нагрузок в процессе проектирования и эксплуатации ракетной техники играет весьма важную роль. Ставится задача разработки эффективных программных средств, позволяющих быстро и с достаточной точностью проводить необходимые расчёты.

Программный пакет для инженерных расчётов Nastran обладает возможностью гибкого вывода временных процессов. Для построения эпюр корпусных сил и моментов необходимо обработать полученные результаты переходных процессов. Эти результаты выводятся в текстовом виде в \*.pch – файл, где они записаны в специальном формате (зависимость силы от времени), удобном для дальнейшей обработки. Запрос на такой вывод осуществляется стандартными операторами вывода Nastran – XYPUNCH [1]:  
хурпunch force resp /1(4),1(5) / 1(6),1(7),1(8)/ 1(94),1(95) / 1(96),1(97),1(98).

Оператор force resp выводит усилия в балочном элементе BEAM под номером 1. В скобках обозначается какие именно усилия необходимо получить:

End A	<i>/ Усилия в начале балки BEAM под номером 1:</i>
4 Bending moment plane 1	<i>/ Изгибающий момент в плоскости 1</i>
5 Bending moment plane 2	<i>/ Изгибающий момент в плоскости 2</i>
6 Web shear plane 1	<i>/ Сдвиговая (перерезывающая) сила в плоскости 1</i>
7 Web shear plane 2	<i>/ Сдвиговая (перерезывающая) сила в плоскости 2</i>
8 Axial force	<i>/ Продольная (осевая) сила</i>
End B	<i>/ Усилия в конце балки BEAM под номером 1:</i>
94 Bending moment plane 1	<i>/ Изгибающий момент в плоскости 1</i>
95 Bending moment plane 2	<i>/ Изгибающий момент в плоскости 2</i>
96 Web shear plane 1	<i>/ Сдвиговая (перерезывающая) сила в плоскости 1</i>
97 Web shear plane 2	<i>/ Сдвиговая (перерезывающая) сила в плоскости 2</i>
98 Axial force	<i>/ Продольная (осевая) сила</i>

Помимо балок в местах, моделирующих стыки, используются элементы типа BUSH (элемент «Пружина» с жесткостными свойствами), для которых операторы имеют вид:

хурпunch force resp /2(2),2(3) / 2(4),2(5),2(6)/ 2(7)

2 Force-x	<i>/ Продольная (осевая) сила для эл-та BUSH номер 2</i>
3 Force-y	<i>/ Сдвиговая (перерезывающая) сила по нормали</i>
4 Force-z	<i>/ Поперечная сдвиговая (перерезывающая) сила</i>
5 Moment-x	<i>/ Изгибающий момент по оси X</i>

6 Moment-y  
7 Moment-z

/ Изгибающий момент по оси Y  
/ Изгибающий момент по оси Z

Nastran выводит текстовый файл с расширением \*.pch (рис. 1):

Номер элемента	Зависимость усилий от времени. Первый столбец показывает интервал времени (от 1 секунды до 1,3 секунд), разбитый на одинаковые шаги (0,0003 секунды), второй столбец – значения усилий		1	2	3	4	5	6	Количество строк в текстовом файле
	\$SUBCASE	1							
	SEL FOR	0	1	1					
1		1.000000E+00		1.431244E+03					
2		1.000300E+00		1.431209E+03					
3		1.000600E+00		1.431172E+03					
4		1.000900E+00		1.431133E+03					
.....		.....		.....					
1001		1.300000E+00		-1.202129E+02				1003	
Количество шагов интегрирования по времени (задается при решении динамических задач методом прямого интегрирования)									

Рис. 1. Описание текстового файла \*.pch

Полученные данные обрабатываются в программном комплексе MatLab [2] с помощью процедуры вычисления внутренних силовых факторов. В различные моменты времени определяются максимальные значения продольных сил, моментов и перерезывающих сил с течением процесса. Результирующий вектор момента (1) и перерезывающей силы (2) от воздействия на двух плоскостях определяются по формуле:

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}, \quad (1)$$

$$Q = \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2}, \quad (2)$$

где  $M_1, Q_1$  – изгибающий момент и перерезывающая (сдвиговая) сила в первой плоскости;  $M_2, Q_2$  – изгибающий момент и перерезывающая (сдвиговая) сила во второй плоскости. Осевая сила  $N$  берется из файла \*.pch напрямую без обработки.

Приведём листинг процедуры обработки в MatLab (рис. 2).

```

nameinput='forces.pch';
fid=fopen(nameinput);
nbeam_centr=18;
nbush_centr=1;
nstep=1001;

time=zeros(nstep,1);
f=zeros(nstep,1);
F5=zeros(nstep,5);
epure=zeros(nbeam_centr*2+nbush_centr,5);
Msum=zeros(nstep,1);
Qsum=zeros(nstep,1);
Nx=zeros(nstep,1);

for i=1:2*nbeam_centr+nbush_centr
    epure(i,1)=i; % grid # %
    %
    for j=1:5
        % 2 lines with comment
        for ii=1:2
            line=fgetl(fid);
        end;
        for irow=1:nstep
            line=fgetl(fid);
            k=sscanf(line,'%e',4);
            t=k(2);
            f(irow)=k(3);
        end;
        %
        F5(:,j)=f;
    end;
    %
    Msum(:)=sqrt(F5(:,1).^2+F5(:,2).^2);
    Qsum(:)=sqrt(F5(:,3).^2+F5(:,4).^2);
    Nx(:)=F5(:,5);
    %
    epure(1,2)=max(Qsum);
    epure(i,3)=max(Msum);
    epure(i,4)=min(Nx);
    epure(i,5)=max(Nx);
end;
save('epure.txt','epure','-ASCII');

```

% Ввод названия файла с расширением \*.pch  
 % Открытие файла с расширением \*.pch  
 % Задаем количество балочных элементов BEAM  
 % Задаем количество элементов BUSH  
 % Задаем количество шагов интегрирования

time=zeros(nstep,1);  
 f=zeros(nstep,1);  
 F5=zeros(nstep,5);  
 epure=zeros(nbeam\_centr\*2+nbush\_centr,5);  
 Msum=zeros(nstep,1);  
 Qsum=zeros(nstep,1);  
 Nx=zeros(nstep,1);

Создаём исходные нулевые матрицы, в которые будут вводиться результаты расчётов.  
 В скобках указаны размерности матриц (СТРОКИ x СТОЛБЦЫ)

```

for i=1:2*nbeam_centr+nbush_centr
    epure(i,1)=i; % grid # %
    %
    for j=1:5
        % 2 lines with comment
        for ii=1:2
            line=fgetl(fid);
        end;
        for irow=1:nstep
            line=fgetl(fid);
            k=sscanf(line,'%e',4);
            t=k(2);
            f(irow)=k(3);
        end;
        %
        F5(:,j)=f;
    end;
    %
    Msum(:)=sqrt(F5(:,1).^2+F5(:,2).^2);
    Qsum(:)=sqrt(F5(:,3).^2+F5(:,4).^2);
    Nx(:)=F5(:,5);
    %
    epure(1,2)=max(Qsum);
    epure(i,3)=max(Msum);
    epure(i,4)=min(Nx);
    epure(i,5)=max(Nx);
end;
save('epure.txt','epure','-ASCII');

```

Осуществляется многоуровневый цикл, суть которого заключается в удалении лишнего из текстового файла, а именно, как видно из рисунка 1, первых двух строк с информацией об элементе и порядковых номеров шагов интегрирования и строк.

Остаётся только зависимость усилий от времени

Эти результаты вписываются в нулевые матрицы

На этом этапе ведётся расчёт по формулам 1 и 2, исходные данные которых берутся из матрицы F5, осевая сила вместе с полученными результатами расчётов записываются в нулевые матрицы Msum, Qsum, Nx

```

epure(1,2)=max(Qsum);
epure(i,3)=max(Msum);
epure(i,4)=min(Nx);
epure(i,5)=max(Nx);
end;

```

Записываем в нулевую матрицу epure максимальные значения усилий. Эта матрица и есть конечный результат обработки большого массива данных.

% сохраняем результаты в файл epure.txt

Рис. 2. Листинг процедуры обработки в программном комплексе MatLab

Процедура после обработки данных выводит значения в табличном виде, где в первом столбце приведены номера сечений, а в последующих - экстремальные значения (в соответствии с сечениями) усилий (рис. 3).

1.0000000e+00	8.7457008e+03	2.5780451e+04	-1.1312450e+05	2.2409220e+05
2.0000000e+00	8.7281225e+03	2.5758910e+04	-2.2442180e+05	1.1237910e+05
3.0000000e+00	8.7281225e+03	2.5588928e+04	-2.2442180e+05	1.1237910e+05
.....	.....	.....	.....	.....
3.5000000e+01	2.8583592e+02	8.1612656e+01	-2.5956450e+03	3.0338830e+03
<b>Нумерация</b>	<b>Сдвиговая</b>	<b>Изгибающий</b>	<b>Минимальная</b>	<b>Максимальная</b>
<b>сечений (1-35)</b>	<b>(перерезываю-</b>	<b>момент</b>	<b>продольная</b>	<b>продольная</b>
	<b>щая) сила <math>Q_{\max}</math>, Н</b>	<b><math>M_{\max}</math>, Н*м</b>	<b>(осевая) сила</b>	<b>(осевая) сила</b>
			<b><math>N_{\min}</math>, Н</b>	<b><math>N_{\max}</math>, Н</b>

Рис. 3. Пример обработанной таблицы

Далее строятся эпюры силовых факторов по длине космического аппарата дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ).

Разработана подпрограмма расчёта корпусных усилий балочной модели КА ДЗЗ в программном математическом комплексе MatLab. Результаты представляют собой эксплуатационные значения усилий перерезывающих сил, осевых сил и изгибающих моментов, их значения выводятся в табличном виде для каждого интересующего сечения. По этим результатам строятся эпюры, а также с учётом коэффициента безопасности рассчитываются расчётные значения  $MNQ$ .

#### Библиографический список

1. Рычков, С.П. Моделирование конструкций в среде MSC.visual NASTRAN для Windows [Текст] / С.П. Рычков. – НТ Пресс, 2004. – 552 с.
2. Дашенко, А.Ф. MATLAB в инженерных и научных расчётах [Текст] / А.Ф. Дашенко, В.Х. Кириллов, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей – Астропринт, 2003. – 214 с.