

УПРОЩЕНИЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ И УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАБЛИЦ EXCEL

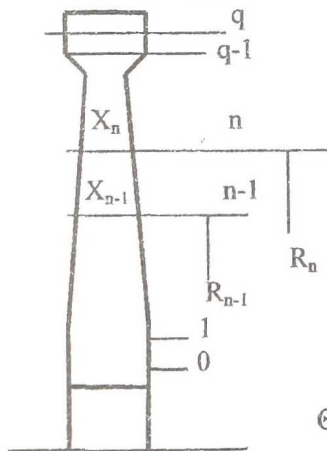
Михеенков Е.Л.

ОАО «Самарское конструкторское бюро машиностроения», г. Самара

Наличие ПЭВМ позволяет обеспечить разработку программ для инженерных расчетов и для учебных целей. Языки программирования определяются базовым набором операционной системы. Для IBM PC это язык BASIC - простой в программировании и отладке программ. Но для создания удобного для пользователя интерфейса ввода, корректировки исходных данных, вывода на печать результатов расчета и сохранения их требуется программист высокого класса.

Задача в значительной степени упрощается при использовании электронных таблиц EXCEL. Эти таблицы позволяют упростить программирование вычислительных задач, предоставляют возможность видеть размещение исходных данных и результатов расчета (каждый вариант находится на отдельном листе, имеется возможность собирать их в книги). Имеется возможность распечатки результатов с широким диапазоном шрифтов, графического представления результатов расчетов в 2-х и 3-х мерном изображении.

Ниже приведен пример решения задачи расчета напряжений в диске ротора турбомашинны по методике Штоды А.В.



$$\sigma_{Rn} = A_n \sigma + B_n$$

$$\sigma_{Tn} = N_n \sigma + S_n,$$

$$\text{где } A_n = A_{n-1} \xi_n + N_{n-1} \theta_n$$

$$B_n = B_{n-1} \xi_n + (S_{n-1} - C_n) \theta_n$$

$$N_n = N_{n-1} \varphi_n + A_{n-1} \lambda_n$$

$$S_n = S_{n-1} \varphi_n + B_{n-1} \lambda_n - \mu C_n \theta_n - \psi_n$$

$$\psi_n = \frac{E_n + E_{n-1}}{2} [(\alpha t)_n - (\alpha t)_{n-1}]$$

$$\Theta_n = \frac{R_n}{R_{n-1}}; \varphi_n = \frac{R_n}{R_{n-1}} + \frac{E_n}{E_{n-1}}; \xi_n = 3 - \frac{R_n}{R_{n-1}} - \frac{X_n}{X_{n-1}}$$

$$\lambda_n = \left[\Theta_n - \mu \left(\frac{X_n}{X_{n-1}} + \frac{E_n}{E_{n-1}} - 2 \right) \right]; C_n = \rho \omega^2 R_{n-1}^2$$

Для сплошного диска $R_0=0$, $A_0=1$, $B_0=0$, $N_0=1$, $S_0=0$

Для диска с центральным не нагруженным отверстием

$$\sigma_{R0}=0, \sigma_{T0} \neq 0, A_0=0, B_0=0, N_0=1, S_0=0,$$
$$\sigma_{R1} = \frac{\sigma_{R0} - B_q}{A_q}; \sigma_{Rn} = A_n \sigma_{T0} + B_n; \sigma_{Tn} = N_n \sigma_{T0} + S_n.$$

Здесь σ_{Rn} и σ_{Tn} - соответственно радиальные и тангенциальные напряжения в n - м сечении диска.

Ниже приводится листинг программы на языке BASIC .

REM Листинг программы NAPRDSC

```
A0:
DIM
A(10),B(10),N(10),S(10),TT(10),PF(10),BZ
(10),LB(10),Z(10),R(10),PS(10),UF(10),CN
(10),GR(50),GT(10),EU(30),TE(30),AL(30),
TA(30),SD(30),TD(30),DL(50),T(50),K(50)
A1:
CLS
PRINT "Ввод характеристик материала
диска"
INPUT "плотность материала, kg/sm^3";
RO
INPUT "коэффициент Пуассона"; mu
PRINT "массив модуля упругости,
kg/sm^2"
INPUT "число точек массива"; nE
FOR m=1 TO nE
INPUT "температура"; TE(m)
INPUT "модуль упругости"; EU(m)
NEXT m
CLS
PRINT "массив коэф. линейного расши-
рения"
INPUT "число точек массива"; nA
FOR p=1 TO nA
INPUT "температура"; TA(p)
INPUT "коэффициент альфа"; AL(p)
NEXT p
PRINT "массив предела длительной
прочности"
INPUT "число точек массива"; nD
FOR q=1 TO nD
INPUT "температура"; TD(q)
INPUT "сигма длит., kg/sm^2"; GD(q)
NEXT q
CLS
A7:
PRINT "Нужно уточнить введенные дан-
ные (Y/N)?"
A8:
Locate,,1: A$=Inkey$: If A$= " " THEN
A8
PRINT A$: IF A$="N" OR A$="n"
THEN GOTO A9
IF A$="Y" OR A$="y"
THEN GOTO A1
PRINT "Ошибка ввода": GOTO A7
A9:
CLS
PRINT "Ввод геометрических дан-
ных"
FOR i=1 TO 10
PRINT "сечение"; I
INPUT "радиус, sm"; R(I)
INPUT "толщина диска, sm"; Z(I)
NEXT I
INPUT "Суммарная масса лопаток,
кг"; ML
INPUT "радиус ц.т. лопаток, см";
RCT
CLS
SCREEN 12
PRINT " Удовлетворяют введенные
данные (Y/N)?"
FOR i=1 TO 10
X=320-Z(I)*300/(R(1)-R(10))
Y=20+150*(R(1)-R(I))/(R(1)-R(10))
X1= 320 + Z(I)*300/(R(1)-R(10))
LINE (X,Y)-(X1,Y)
NEXT I
KeyLoop:
KEEP:
Locate, , 1: A$=Inkey$: If A$= ""
THEN KEEP
PRINT A$: IF A$="N" OR A$="n"
THEN GOTO A8
IF A$="Y" Or A$="y" THEN GOTO A4
PRINT " Ошибка ввода":GOTO
KeyLoop
```



```

TABL:
LPRINT TAB(10) "РЕЗУЛЬТАТЫ
РАСЧЕТА" LPRINT
FOR I=1 TO 10
LPRINT TAB(4) " сеч T(I) GR(I)
GT(I)"
LPRINT USING " ##.# ###.# #####.#
##.#";I;T(I);GR(I);GT(I)
NEXT I;
PRINT «Если Вы хотите продолжить
расчет, то выберите путь: при неизмен-
ной геометрии и материале диска ме-
няется режим работы и температуры
диска или выход из расчета (Y/N)»

```

```

A11:
FIN1:
Locate, ,1:A$=inkey$:If A$=""
THEN FIN1
PRINT A$:IF A$="N" or A$="n"
GOTO A10
IF A$="Y" or A$="y" THEN GOTO
A4
PRINT "Ошибка ввода":
GOTO A11
A10:
PRINT "Расчет окончен, нажмите
клавишу ESC"
END

```

Можно видеть, что даже для создания простейшего интерфейса пользователя требуются заметные усилия программиста.

Задача упрощается при использовании электронных таблиц Excel. Как известно, каждая ячейка таблицы Excel представляет из себя многоуровневое хранилище: это и ячейка памяти и математическая или логическая функция, указание по оформлению результата расчета и др.

Программирование заключается в наборе функций, определяющих получение результата, размещение ячеек для исходных данных. Расчет выполняется сразу же после занесения исходных данных. Таким образом, в единой таблице представлены и исходные данные и результаты расчета. Для инженеров представляет интерес расчет с исследованием каких-то отклонений в геометрии детали с получением мгновенного ответа по величинам напряжений и запасов прочности. Расчетные листы элементарно просто копируются, что позволяет иметь в наличии требуемое количество вариантов. Листы брошюруются в книги. Содержимое ячеек может быть проанализировано с использованием статистических приемов, по ним можно нарисовать диаграммы, графики и т.п. Вывод результатов на печать сопровождается хорошим сервисом. Все это говорит о больших преимуществах применения электронных таблиц Excel для инженерных и учебных задач.

На следующей странице приведены результаты расчета напряжений в диске турбины по данным, приведенным в книге.

1	2	3	4	5	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20	21	22
№ с е ч	R, см	R _n , R _{n-1}	X, см	X _n , X _{n-1}	R ² , см ²	C _{Ns} , кг/ см ²	ξ _n	θ _n	φ _n	λ _n	A _n	B _n , ² кг/см ²	N _n	S _n , кг/ см ²	σ _R , кг/ см ²	σ _T , кг/ см ²
0	4,8	-	4,8	-	23,1	-	-	-	-	-	0	0	1,00	0	0	2880
1	5,8	1,21	4,8	1,00	33,6	69,6	0,79	0,21	0,79	0,21	0,21	-1,46	0,79	-0,43	603	2880
2	7,0	1,21	4,8	1,00	49,0	101,	0,79	0,21	0,79	0,21	0,33	22,6	0,669	-1,00	932	1920
3	8,0	1,14	3,2	0,66	64,0	148	1,19	0,14	0,86	0,24	0,49	-47,6	0,655	-12,4	1392	1878
4	9,1	1,14	1,5	0,46	82,8	193	1,39	0,14	0,86	0,29	0,78	-94,9	0,712	-129	2135	2174
5	13,5	1,48	1,1	0,73	182	250	0,79	0,48	0,52	0,56	1,03	590	0,810	-156,	2532	2620
6	20,0	1,48	0,6	0,54	400	550	0,97	0,48	0,52	0,61	1,03	590	0,76	-319	1030	2067
7	20,4	1,02	1,0	1,67	416	1210	0,31	0,02	0,98	-0,18	0,43	-214	0,664	-213	306	1710
8	20,7	1,01	1,7	1,70	428	1260	0,29	0,01	0,99	-0,20	0,13	-76,7	0,610	-199	350	1543
9	22,4	1,08	1,5	0,88	501	1290	1,04	0,08	0,92	0,04	0,19	-199	0,610	-217	350	1543

И с х о д н ы е		Д и с к а		п л о т н		О м е г а	
рад., см	толщ., см	Т е м п е р а т у р ы	Д и с к а	с р е д t(i)	п л о т н	О м е г а	О м е г а
22,4	1,5	20	20	20	20	0,00285	1026
20,7	1,7	20	20	20	20	мю	Рцб лоп
20,4	1	20	20	20	20	0,3	73886
20	0,6	20	20	20	20	Млопат	нап. лоп
13,5	1,1	20	20	20	20	2,731	350
9,1	1,5	20	20	20	20	рад. ц.т.	сигма 0
8	3,2	20	20	20	20	25	2449
7	4,8	20	20	20	20	час. Вр.	
5,8	4,8	20	20	20	20	9800	
4,8	4,8	20	20	20	20		

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА ДИСКА						по сечениям диска			рас. ко-эф
tE	E	t alfa	alfa	tsgdl	S _{gmdl}	E(i)	alfa(i)	sgmdl(i)	TT(i)
20	690000	100	2,25E-05	20	4600	692289,	2,17839	4757,59	0
200	550000	200	2,36E-05	200	3100	692289,	2,17839	4757,59	0,20833
250	500000	300	2,45E-05	250	2000	692289,	2,17839	4757,59	0,20689
0	0	1	1	1	1	692289,	2,17839	4757,59	0,14285
0	0	1	1	1	1	692289,	2,17839	4757,59	0,1375
0	0	1	1	1	1	692289,	2,17839	4757,59	0,48351
0	0	1	1	1	1	692289,	2,17839	4757,59	0,48148
0	0	1	1	1	1	692289,	2,17839	4757,59	0,02
0	0	1	1	1	1	692289,	2,17839	4757,59	0,01470
0	0	1	1	1	1	692289,	2,17839	4757,59	0,08212

"РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ"									
Fi(i)	dzt(i)	lmbd(i)	psi(i)	N(i)	CN(i)	S(i)	A(i)	B(i)	рад. см.
0	0	0	0	1	0	0	0	0	4,8
0,79166	0,79166	0,20833	0	0,79166	70,4965	-4,40603	0,20833	-14,6867	5,8
0,79310	0,79310	0,20689	0	0,67097	102,929	-12,9218	0,32902	-33,8555	7
0,85714	1,19047	0,24285	0	0,65502	149,927	-25,7233	0,48754	-63,5684	8
0,8625	1,39375	0,29687	0	0,70970	195,823	-49,1360	0,76958	-119,061	9,1
0,51648	0,78315	0,56351	0	0,80022	253,377	-129,224	0,94585	-239,513	13,5
0,51851	0,97306	0,61784	0	0,99932	557,638	-295,535	1,30567	-563,773	20
0,98	0,31333	0,15636	0	1,18349	1223,89	-385,121	0,42909	-207,037	20,4
0,98529	0,28529	-0,19529	0	1,08229	1273,34	-344,642	0,13982	-83,4558	20,7
0,91787	1,03552	0,13140	0	1,01178	1311,07	-359,606	0,23367	-222,396	22,4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ						
рад. см	толщ.	темп	sigmaR	sigmaT	Kr	Kt
22,4	1,5	20	349,980	2118,72	13,5939	2,24550
20,7	1,7	20	259,036	2306,39	18,3664	2,06278
20,4	1	20	844,022	2513,81	5,63681	1,89257
20	0,6	20	2634,42	2152,27	1,80593	2,21049
13,5	1,1	20	2077,33	1830,90	2,29024	2,59849
9,1	1,5	20	1766,01	1689,26	2,69396	2,81637
8	3,2	20	1130,66	1578,75	4,20778	3,01351
7	4,8	20	772,076	1630,61	6,16207	2,91766
5,8	4,8	20	495,619	1934,75	9,59928	2,45901
4,8	4,8	20	0	2449,47	0	1,94229

Контрольный расчет напряжений в диске турбины: Г.С. Скубачевский, 1955, с. 93