

УДК 620.22:004.92

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СОВРЕМЕННОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

В.Н. ПУСТОВОЙТ, С.А. ГРИШИН, М.В. ЗАЙЦЕВА

(Донской государственный технический университет)

Приведена методика использования компьютерной графики для обработки экспериментальных данных в режиме реального времени, получаемых в научно-исследовательской практике современного материаловедения.

Ключевые слова: методика, компьютерная графика, исследование и обработка результатов нестационарных процессов.

Введение. Компьютерная графика все более широко внедряется в технику: разработка чертежей с помощью различных графических редакторов, твердотельное моделирование, системы САПР и т.д. Однако это применение не исчерпывает все ее возможности, поскольку некоторые элементы компьютерной графики могут найти реальное применение при исследовании течения нестационарных процессов и тем самым позволят получить более широкий спектр экспериментальных данных.

Ранее [1, 2] была показана возможность использования компьютерной графики при визуализации процессов в учебных и научных целях. Кроме этого, существует еще одна проблема, которая может быть успешно решена с помощью средств компьютерной графики.

В процессе проведения различного рода исследований часто возникает потребность обработки экспериментальных данных в целях получения каких-либо дополнительных характеристик. Для этого могут быть использованы математические методы, которые применяются в специальных программах, предназначенных для обработки экспериментальных данных, таких, как MathCAD, MatLab, Excel и др. Однако применение таких пакетов требует серьезных познаний в математике, а также подбора определенных математических функций и выбора аргументов. При этом универсальные математические пакеты не ориентированы на конкретный тип и структуру экспериментальных данных, и такие программы предназначены в основном только для обработки результатов эксперимента. Вместе с тем область проводимых экспериментальных исследований настолько широка, что ни один из существующих универсальных пакетов обработки данных эксперимента не может обеспечить полное выполнение задачи исследователя, тем более при обработке сигнала, поступающего с какого-либо датчика, в режиме реального времени.

В последнее время компьютеры успешно применяются в качестве измерительных приборов, и это находит все большее распространение в научно-исследовательской практике. При этом возникает возможность не только регистрировать электрический сигнал, поступающий на вход компьютера, но и проводить его обработку с целью получить какие-либо новые характеристики.

Оборудование и программное обеспечение. Рассмотрена возможность использования средств компьютерной графики при обработке экспериментальных данных, поступающих в виде электрического сигнала в режиме реального времени. При этом электрический сигнал подавался на вход ЭВМ через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), собранный по схеме и работающий по управляющей им программе [3]. Слабым электрическим сигналам требовалось усиление, для чего применялся прецизионный усилитель, собранный по определенной схеме [4].

Постановка задачи. Известно [5], что протекание любого физического процесса, например нагрев или охлаждение металла, можно представить в виде графика «пройденного пути». Дифференцирование элементарного участка этого пути дает значение «скорости», а дифференцирование элементарного участка графика скорости дает, соответственно, величину «ускорения». Обработку подобных графиков «пройденного пути» можно выполнить с помощью графического дифференцирования, проводимого ЭВМ. В данном случае была использована программа на Turbo-Basic [3], которая позволяла выводить на экран дисплея ЭВМ график течения процесса. После ее переработки с помощью метода графического дифференцирования появилась возможность от-

слеживать не только график самого нестационарного процесса, но и обрабатывать полученные в реальном времени экспериментальные данные и получать одновременно на экране ЭВМ сразу несколько характеристик, т.е. график самого нестационарного процесса (график «пройденного пути»), а также график «скорости», а при необходимости и график «ускорения», что позволяет визуально наблюдать за изменением изучаемого процесса, значительно сокращая время на обработку экспериментальных данных и получая более достоверные по точности результаты.

'Программа на языке ТВ с выводом на экран дисплея графиков изменения пути, скорости, ускорения и формирования обменного DXF.

```

1 CLS: Screen 9
2 Window(0,297)-(420,0)
3 Print "Записывать данные чертежа в DXF (Y/N)"
4 j$=inkey$: if j$="" then 4
if j$="n" goto 5
if j$="y" goto 6
5 regim=1: goto 13
6 regim=2: goto 7
'Открытие DXF чертежа
7 line input "Задайте имя DXF чертежа: ";PL$
8 open "о",1,PL$+".DXF"
9 print #1,0
10 print #1,"SECTION"
11 print #1,2
12 print #1,"ENTITIES"
'Ввод данных
13 XX=0:YY=0:XXv=0:YYv=0:XXa=0:YYa=0:XX1=0:YY1=0:XXv1=0:YYv1=0:
XX2=0:YY2=0:XXv2=0:YYv2=0:x=0:y=0:n=400:tk=29:tz=0.03:j=tk/tz:h=n/j:Tpr=0
Ms=55: Mv=10 :Mv1=1: Mv2=1: Ma=10: sd=10:
'Выполнение чертежа и запись в DXF
14 CLS: Mtimer: View (1,300)-(460,330),0,1: View (470,300)-(590,330),0,4:
View (600,300)-(638,330),0,5: View (1,1)-(638,290),0,10:
Line (XX,YY)-(XX,YY+280),4: if regim=1 goto 15
XS=XX: YS=YY: XF=XX: YF=YY+280: gosub 50
15 Line (XX,YY)-(XX+630,YY),4: if regim=1 goto 16
XS=XX: YS=YY: XF=XX+630: YF=YY: gosub 50
16 'драйвер TLC-549
B=&H2F8: N=8: 'порт COM2
OUT B+4,1: for T=0 to 100: next T
OUT B+3,64: for T=0 to 500: next T
goto 150
100 OUT B+4,0: D=0: for F=0 to N-1
OUT B+4,2: E=INP(B+6) AND 16: OUT B+4,0
if E=16 then D=D+2^(N-1-F)
next F
D=5*D/(2^N-1): OUT B+4,1: Return
150: 'Вольтметр
160 Gosub 100
D=INT(100*D)/100: y=D: if x=0 then 18 else 19
18 YY=y: YYv=y: YYa=y:
19 Gosub 200
25 if x=n goto 30
if x>640 goto 30

```

```

Locate 23,2,0: Print "Tпр="(Tpr);"с.   ":Tpr=Tpr+tz
if Tpr>tk goto 30
x=x+h: delay tz:
'Прерывание работы программы клавишей F12
ON KEY (31) gosub 999
KEY (31) ON
goto 160
30 T1=Mtimer: T2=T1/1000000: Locate 23,2,0: Print "T="(T2);"с.   ":
if regim=1 goto 40
'Закрытие DXF
34 print #1,0
35 print #1,"ENDSEC"
36 print #1,0
37 print #1,"EOF"
38 close 1
39 Locate 23,60,0: Print "DXF= ";PL$
40 Locate 23,77,0: Print "END": beep
41 End
50 'Подпрограмма записи отрезка графика
print #1,0: print #1,"LINE": print #1,8: print #1,"0": print #1,10
print #1,XS: print #1,20: print #1,YS: print #1,11: print #1,XF: print #1,21
print #1,YF: return
200 'Подпрограмма скорости в координатах X=V,Y=y
y=y*Ms: Line (XX,Yy)-(x,y),15 : if regim=1 goto 202
XS=XX: YS=Yy: XF=x: YF=y: gosub 50
202 'скорость
if x=0 goto 206
Vo=Vc: Vc=((sqr(((Yy-v-y)^2)+(h^2)))/h): Sk1=Vc*Mv
Line (XXv+sd,YYv)-(Sk1,y),14: if regim=1 goto 204
XS=XXv: YS=Yy: XF=Sk1: YF=y: gosub 50
204 XX=x: YY=y: XXv=Sk1: YYv=y
'ускорение
if Vo=0 goto 206
Ay=((Vc-Vo)/h)*Ma: Line (XXa+sd,YYa)-(Ay+sd,y),13: if regim=1 goto 206
XS=XXa+sd: YS=Yy: XF=Ay+sd: YF=y: gosub 50
206 XXa=Ay: YYa=y: Return
999 beep: beep

```

В данном случае график самого процесса (т.е. график «пройденного пути») строился на основании данных величины электрического сигнала, полученного, например, от термопары, усиленного и поступающего на вход ЭВМ через АЦП. Этот сигнал проходил обработку по разработанной программе и в общем случае имел вид, представленный на рис.1. То есть такой график формировался по точкам T_1 , T_2 , T_3 и т.д. При этом элементарный участок графика «пройденного пути»

$$S = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}, \quad (1)$$

где X_1 , Y_1 и X_2 , Y_2 – координаты соответственно начальной и конечной точек T_1 и T_2 .

Для получения значений скорости на этом участке «пройденного пути» проводилась обработка по приведенной выше программе методом графического дифференцирования в результате чего скорость

$$V = \frac{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}}{(X_2 - X_1)}, \quad (2)$$

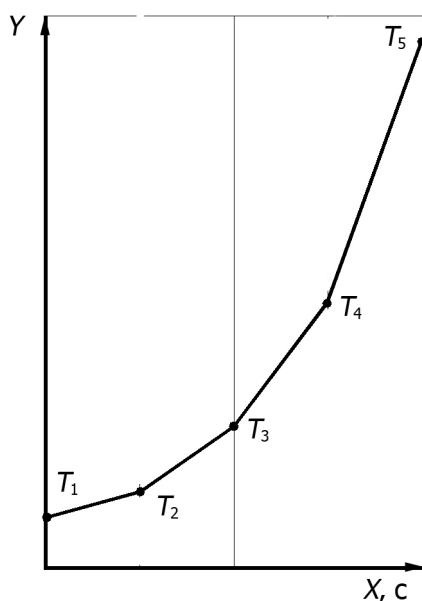


Рис. 1. График «пройденного пути» (фрагмент)

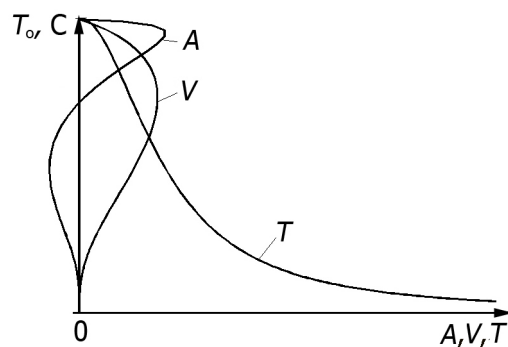


Рис. 2. Термограмма охлаждения и ее производные – скорость и охлаждение:
 T – термограмма охлаждения образца;
 V – график скорости охлаждения;
 A – ускорение охлаждения

Кроме этого, в процессе эксперимента программа одновременно позволяла формировать обменный DXF-файл, который затем можно было перенести в какой-либо графический редактор, например AutoCAD, для дальнейшей обработки, сравнения, анализа, вывода графика на бумажный носитель и т.д. Такая методика и созданная для нее программа могут быть использованы, например, при проведении исследования охлаждающей способности закалочных сред, регистрации развития трещины методом электропотенциалов и других процессов.

Наглядным примером применения такой методики служат экспериментальные данные, полученные с термопары в процессе охлаждения (рис. 2).

Разработанная методика была применена для исследования кинетики разрушения при развитии усталостной трещины в термически обработанных призматических образцах (рис. 3).

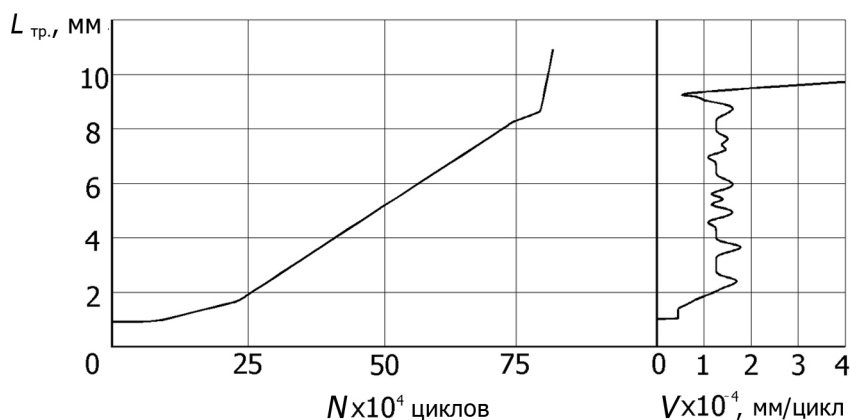


Рис. 3. Кинетика развития усталостной трещины и ее производная – скорость V

С другой стороны, можно проводить и интегрирование графика, что позволяет получать площадь фигуры, ограниченной кривой, характеризующей исследуемый процесс. Так, при интегрировании элементарного участка «пути» получается следующая площадь:

$$S = (X_1 - X_0) Y_1, \quad (3)$$

где X_0, X_1, Y_1 – координаты соответственно предыдущей и последующей точек измерения (рис.4).

Для реализации этого была разработана программа, позволяющая выполнять процесс графического интегрирования графика «пути».

```

200 'Подпрограмма построения графика
'разрушения образца и определения работы
'зарождения Az и развития Ar трещины
Line (XX,YY)-(x,y),15 : if regim=1 goto 202
XS=XX: YS=YY: XF=x: YF=y: gosub 50
202 Si=(y+YY)/2*(x-XX)
    if y>YY then 204 else 206
206 Ap=Ap+Si
208 XX=x: YY=y:
204 Az=Az+Si
Return
    
```

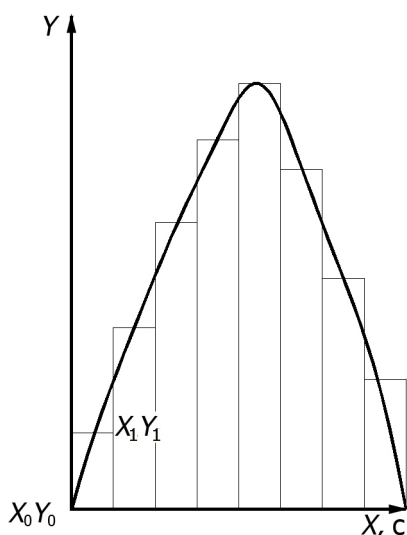


Рис.4. Формирование элементарных участков площади диаграммы

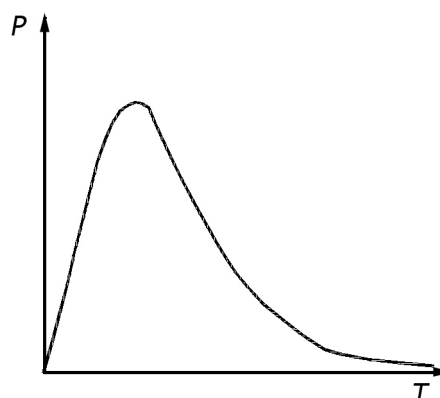


Рис.5. Диаграмма разрушения образца при испытаниях на динамический изгиб

В процессе работы этой программы каждый элементарный участок пути дает значения площади, которые затем суммируются и по окончании процесса получается результат – вся площадь под кривой, характеризующей процесс.

Данная методика обработки экспериментальных данных позволяет, например, автоматизировать процесс разделения на составляющие испытаний при ударном изгибе в целях получения значений работы зарождения и развития трещины. В этом случае в результате испытания на ударный изгиб призматического образца с надрезом на экране ЭВМ формировалось графическое изображение диаграммы разрушения в координатах «усилие – время» (рис.5). Методом графического интегрирования с помощью ЭВМ, работающей по разработанной программе, получали площади соответствующих участков диаграммы, которые использовались для дальнейших расчетов и определения составляющих ударной вязкости: работы зарождения и развития трещины по мето-

дике, описанной в литературе [6]. В процессе работы такой программы проводилось суммирование площади до максимума функции графика разрушения образца, которая соответствовала работе зарождения трещины a_z , а затем суммировалась следующая часть графика убывающей функции от максимума до конца процесса, которая соответствовала работе развития трещины a_p . Сумма a_z и a_p соответствовала полной работе разрушения образца.

Заключение. Приведенная методика применения ЭВМ и средств машинной графики может быть использована при изучении практически любого нестационарного процесса как в учебном, так и в научно-исследовательском практикуме и будет отличаться лишь программой, обрабатывающей экспериментальные данные.

Библиографический список

1. Гришин С.А. Применение ЭВМ, элементов математического анализа и средств машинной графики при исследовании динамических характеристик машин и механизмов / С.А. Гришин, Т.Н. Бурунова // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. Сер. Вопросы машиноведения и конструирования машин. – 1999. – С.98-100.
2. Гришин С.А. Применение компьютерной графики в научных исследованиях / С.А. Гришин, Т.Н. Бурунова // Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика: материалы междунар. межвуз. науч.-метод. конф. кафедр графических дисциплин. Вып.6. – Н.Новгород, 2001. – С. 45-46.
3. Гёлль П. Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс: пер. с франц. / П. Гёлль. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК, 1999. – 144 с.
4. Якубовский С.В. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
5. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.
6. Буланенко В.Ф. О разделении ударной вязкости на составляющие методом осциллографирования в координатах «усилие – время» / В.Ф. Буланенко, М.В. Пирусский // Заводская лаборатория. – 1972. – №6. – С.750-751.

Материал поступил в редакцию 15.04.2011.

References

1. Grishin S.A. Primenenie E`VM, e`lementov matematicheskogo analiza i sredstv mashinnoj grafiki pri issledovanii dinamicheskixarakteristik mashin i mexanizmov / S.A. Grishin, T.N. Burunova // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. Ser. Voprosy` mashinovedeniya i konstruirovaniya mashin. – 1999. – S.98-100. – In Russian.
2. Grishin S.A. Primenenie komp`yuternoj grafiki v nauchny`x issledovaniyax / S.A. Grishin, T.N. Burunova // Nachertatel`naya geometriya, inzhenernaya i komp`yuternaya grafika: materialy` mezhdunar. mezhvuz. nauch.-metod. konf. kafedr graficheskix disciplin. Vy`p.6. – N.Novgorod, 2001. – S. 45-46. – In Russian.
3. Gyll` P. Kak prevratit` personal`ny`j komp`yuter v izmeritel`ny`j kompleks: per. s francz. / P. Gyll`. – 2-e izd., ispr. – M.: DMK, 1999. – 144 s. – In Russian.
4. Yakubovskij S.V. Cifrovye i analogovy`e integral`ny`e mikrosxemy`: spravochnik / S.V. Yakubovskij, L.I. Nissel`son, V.I. Kuleshova. – M.: Radio i svyaz`, 1990. – 496 s. – In Russian.
5. Korn G. Spravochnik po matematike (dlya nauchny`x rabotnikov i inzhenerov) / G. Korn, T. Korn. – M.: Nauka, 1973. – 832 s. – In Russian.

6. Bulanenko V.F. O razdelenii udarnoj vyazkosti na sostavlyayushhie metodom oscillografirovaniya v koordinatax «usilie – vremya» / V.F. Bulanenko, M.V. Pirusskij // Zavodskaya laboratoriya. – 1972. – #6. – S.750-751. – In Russian.

APPLICATION TECHNIQUE OF COMPUTER GRAPHICS FOR NONSTEADY PROCESSES RESEARCH IN MODERN MATERIAL SCIENCE

V.N. PUSTOVOIT, S.A. GRISHIN, M.V. ZAITSEVA

(Don State Technical University)

The application technique of computer graphics for processing the experimental data in the mode of real time is presented. The data are received in the research practice of modern material science.

Keywords: *technique, computer graphics, research and processing of results of nonsteady processes.*