

РАЗДЕЛ 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621:530.1:004.9

Яценко Л. Ф.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В СРЕДЕ DELPHI

У статті розглядається використання об'єктно-орієнтованого середовища Delphi для комп'ютерного моделювання хвильових явищ з метою створення лабораторного інструменту, що дозволяє ефективно демонструвати експерименти і виробляти кількісні виміри.

Ключові слова: візуалізація, хвильові процеси, комп'ютерне моделювання, об'єктно-орієнтоване середовище Delphi, програмування, технічні науки.

В статье рассматривается использование объектно-ориентированной среды Delphi для компьютерного моделирования волновых явлений с целью создания лабораторного инструмента, позволяющего эффективно демонстрировать эксперименты и производить количественные измерения.

Ключевые слова: визуализация, волновые процессы, компьютерное моделирование, объектно-ориентированная среда Delphi, программирование, технические науки.

In the article the use of the object-oriented environment of Delphi is examined for the computer design of the wave phenomena with the purpose of creation of laboratory instrument, allowing effectively to demonstrate the experiments and to produce the quantitative measuring.

Key words: visualization, wave processes, computer design, object-oriented environment of Delphi, programming, engineering's sciences.

Постановка проблемы. В настоящее время все сферы человеческой деятельности подвержены глобальным изменениям, происходящим под влиянием стремительно развивающейся информатизации общества. Это касается и сферы обучения. Современные инженеры, сотрудники фирм, занимающиеся разработкой наукоемкой продукции, должны владеть основами компьютерного моделирования, поскольку компьютерное моделирование – один из самых эффективных методов изучения физических и технологических процессов.

Как отмечено в работе [1], к достоинствам компьютерных моделей относят прежде всего то, что они позволяют в ходе вычислительных экспериментов изучить характеристики процессов, реальное исследование которых либо затруднено, либо невозможно. Формализованность и логичность компьютерных моделей позволяет изучить свойства объектов, выявить основные системообразующие факторы тех или иных явлений.

Delphi – среда разработки программ, опирающаяся на классический учебный язык Паскаль и ориентированная на операционную систему Windows. Идеологически Delphi рассматривается как технология визуального проектирования и объектно-ориентированного программирования. Ее освоение не представляет особых трудностей для студентов и выпускников технических специальностей, что позволяет собственными силами моделировать достаточно широкий круг актуальных задач, возникающих в процессе разработки или исследования.

В учебный план обучения студентов технических вузов обязательно включаются курсы, в которых рассматриваются физические основы волновых процессов в технике [2].

Компьютерное моделирование волновых процессов в среде Delphi предоставляет удобный лабораторный инструмент, позволяющий эффективно демонстрировать эксперименты и производить количественные измерения.

Анализ литературы. Следует отметить, что физика и информатика – «сиамские близнецы», поскольку информатика непосредственно связана с развитием физики, и ее компьютерная составляющая появилась только в результате технического прогресса. С другой стороны, появление и развитие различных языков и способов программирования привело к рождению такого мощного исследовательского инструмента, как компьютерное моделирование.

Современное компьютерное моделирование – мощный инструмент, широко применяющийся в технических отраслях науки как для исследований, так и для обучения.

Несколько приведенных ниже примеров показывают, насколько актуально применение моделирования волновых процессов для решения различных технических задач.

Так, достаточно активно развивается теория ударно-волновых процессов. Исследования в этой области показали, что в стержневых системах динамика продольного удара достаточно хорошо описывается волновой моделью плоского удара [3].

Методы математического моделирования волновых процессов предоставляют также уникальный аппарат исследования проблем газодинамики – движения газа в трубопроводах, низкочастотных вибраций, динамической устойчивости подземных трубопроводов [4].

В монографии В. Г. Баженова [5] рассматривается решение проблем динамического деформирования грунтовых сред с помощью компьютерной реализации моделей нелинейных волновых процессов.

Теория явлений интерференции и дифракции непосредственно используется для повышения технологической эффективности процессов обработки на станках с числовым программным управлением. Для оперативной диагностики состояния режущей части инструмента уже много лет используются методы лазерной и голографической интерферометрии [6], а в последние годы с успехом применяется метод лазерной нанометрии деформирования режущего инструмента [7].

Задачи моделирования тех или иных волновых явлений рассматриваются на протяжении достаточно долгого периода, но не перестают быть актуальными, поскольку с развитием информатики появляются новые, более мощные и доступные языки программирования и средства визуализации.

Например, классическая задача движения маятника неоднократно воспроизводилась многими авторами и привела к появлению теории нелинейных и вынужденных колебаний, так называемого маятника Капицы и т. д. [8].

В книге Х. Гулда и Я. Тобочника [9] программная реализация отдельных задач из области волновых явлений приводится на языке True Basic и, частично, на Паскале и Фортране-77.

Достаточно полезным, на наш взгляд, является материал, изложенный на сайте Олега Данилова, посвященный компьютерному моделированию механических колебаний [10]. Он относит интерактивные компьютерные модели к новым информационным технологиям, позволяющим «создавать обучающие динамически развивающиеся образы в различных информационных представлениях». Его программы написаны в среде программирования Borland Delphi (на языке программирования Object Pascal).

В учебном пособии Майера Р. В. [11] рассмотрены программы, с помощью которых можно решать волновое уравнение, изучать свойства автоволн.

В настоящее время наиболее популярными языками программной реализации моделей различных физических процессов являются Delphi и C++. Однако для многих разработчиков использование C++ остается достаточно трудным, в то

время как среда Delphi, наследующая строгость и логичность языка Object Pascal, предоставляющая визуальные методы проектирования и имеющая необыкновенно быстрый компилятор, оказывается более предпочтительной [12].

Остановимся на использовании Delphi для визуализации задач из теории волновых процессов.

Цель работы – продемонстрировать особенности моделирования волновых явлений в среде Delphi с возможностью их изучения и анализа на основе интерактивного изменения параметров моделируемых систем.

Изложение основного материала. Для достижения цели нами был создан электронный задачник по теме «Волновые явления», содержание которого соответствует разделу «Волновые явления» в изложении Х. Гулда и Я. Тобочника [9].

Среди рассмотренных задач, вошедших в электронный задачник и визуализированных в среде Delphi, выделим следующие: *Связанные осцилляторы; Фурье-анализ; Волновое движение; Интерференция и дифракция; Поляризация; Геометрическая оптика.* Из них в силу ограниченности объема настоящей публикации приведем подробное описание реализации в Delphi только двух первых задач.

Фурье-анализ. Постановка задачи. Разработать компьютерную программу Fourier, представляющую периодическую негармоническую функцию в виде суммы гармонических функций.

Произвольная периодическая функция $f(t)$ с периодом T может быть представлена в виде ряда по синусам и косинусам (ряда Фурье):

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_1^n (a_n \cos nw_0 t + b_n \sin nw_0 t), \quad (8)$$

где основная угловая частота $w_0 = 2\pi/T$.

В формуле (8) члены суммы для $n = 2, 3, \dots$ представляют собой вторую, третью и т. д. гармоники, а коэффициенты Фурье a_n и b_n выражаются формулами:

$$a_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos nw_0 t dt, \quad (9a)$$

$$b_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin nw_0 t dt, \quad (9б)$$

Постоянный член, равный $1/2 a_0$, – это среднее значение функции $f(t)$.

Для точного представления любой функции $f(t)$ требуется бесконечное число членов ряда. Однако на практике удается получить достаточно хорошее приближение к $f(t)$ и для небольшого количества членов ряда.

Алгоритм решения задачи и его реализация в среде Delphi.

1. С помощью процедуры StartBtnClick из выпадающего списка выбирается функция для разложения в ряд Фурье, ее амплитуда и требующееся для разложения количество гармоник.

```

procedure TMainForm.StartBtnClick(Sender: TObject);
begin
  N := StrToInt(Trim(Edit1.Text));
  Amp := StrToFloat(Trim(Edit2.Text));
  PaintBox1.Canvas.FillRect(ClientRect);
  Axis(PaintBox1, 8, 5, PaintBox1.Width-5, 5,
  PaintBox1.Height-5, 'Преобразование Фурье');
  coefficients;
  plot;
end;

```

```

2. Процедура Axis рисует оси координат
procedure Axis(PaintBox: TPaintBox; Ntick,
  xMin, xMax,
  yMin, Ymax: integer;
  Title: String);
var ddx, dx, dy, x0, y0, Lx, Ly, col, row, i: Integer;
begin

```

```

  dx := (xMax-xMin) div Ntick;
  dy := (yMax-yMin) div Ntick;
  if xMin*xMax < 0 then x0 := 0
  else x0 := xMin;
  if yMin*yMax < 0 then y0 := 0
  else y0 := MainForm.PaintBox1.Height div 2;
  //yMax;
  with PaintBox.Canvas do begin
    MoveTo(x0, yMin); // Вертикальная ось
    LineTo(x0, yMax);
    MoveTo(xMin, y0); // Горизонтальная ось

```

```

    LineTo(xMax, y0);
    Lx := dy div 10; // Определение длины делений
    Ly := dx div 10;
    ddx := 0;
    for i:=0 to Ntick do begin // Нанесение делений
      col := xMin + i*dx+ddx;
      ddx := ddx + 2;
      row := {yMin} + i*dy;
      MoveTo(col, y0{Max}-Lx);
      LineTo(col, y0{Max}+Lx);
      MoveTo(x0-Ly, YMax-row);
      LineTo(x0+Ly, YMax-row);
    end;
    TextOut(xMin+5*dx, yMin, Title);
    TextOut(xMin+Lx, yMax+Lx, IntToStr(x0));
    TextOut(xMax-(Lx div 2), yMax+Lx,
    IntToStr(xMax));
    TextOut(x0-15*Ly, yMax-4*Ly, IntToStr(yMin));
    TextOut(x0-15*Ly, yMin+Ly, IntToStr(yMax));
  end;

```

3. Процедура coefficients осуществляет расчеты коэффициентов разложения по формулам (9а), (9б).

4. Процедура plot отображает на графике вид расчетной функции.

Поскольку программа Fourier выводит на экран график суммы n гармоник, она позволяет наглядно представить и оценить точность, обеспечиваемую конкретной конечной суммой гармонических членов.

Примеры разложений прямоугольной и пилообразной функций приведены на рис. 1 и 2.

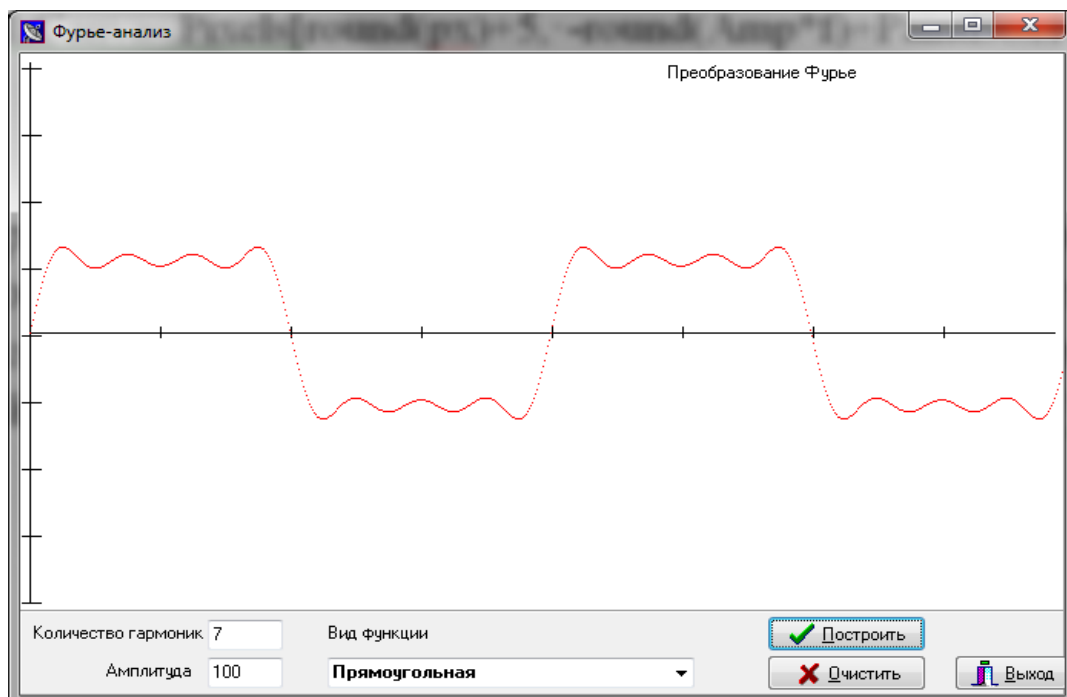


Рис. 1. Разложение прямоугольной функции в ряд Фурье.

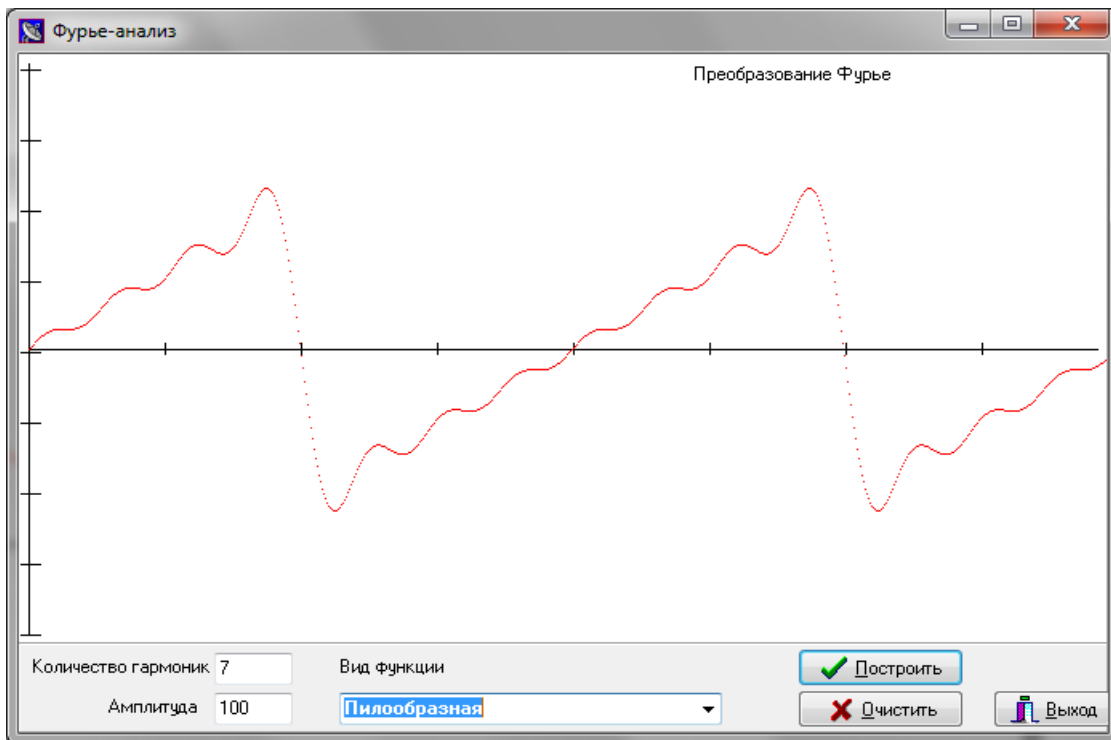


Рис. 2. Разложение пилообразной функции в ряд Фурье.

Связанные осцилляторы. Моделирование связанных осцилляторов. Одномерная цепочка состоит из N материальных частиц (осцилляторов) массой m каждая. Частицы, за исключением двух крайних, соединены пружинами с нулевой массой и жесткостью k_c . Жесткость крайних пружин, прикрепленных к неподвижным стенкам, равна k . В равновесном состоянии частицы находятся на расстояниях a друг от друга. Требуется построить компьютерную модель колебаний осцилляторов, позволяющую изучать процессы нормальных колебаний, биений, распространения волн и энергии.

Обозначим смещение i -й массы от состояния равновесия вдоль оси системы через u_i . Концы левой и правой пружин полагаем неподвижными, что выразим условием

$$u_0 = u_{N+1} = 0. \quad (1)$$

Сила, действующая на каждую отдельную массу, определяется лишь сжатием или растяжением связанных с ней пружин, поэтому уравнение движения i -й частицы имеет вид

$$m \frac{d^2 u_i}{dt^2} = -k_c(u_i - u_{i+1}) - k_c(u_i - u_{i-1}) = k_c(2u_i - u_{i+1} - u_{i-1}), \quad i = 2, N-1. \quad (2)$$

Уравнения для ближайших к стенкам частиц $i = 1$ и $i = N$ имеют вид

$$m \frac{d^2 u_1}{dt^2} = -k_c(u_1 - u_2) - k u_1, \quad (3a)$$

$$m \frac{d^2 u_N}{dt^2} = -k_c(u_N - u_{N-1}) - k u_N. \quad (3б)$$

Указанная система уравнений для u_i при $k_c = 0$ распадается на отдельные независимые уравнения, в которых движение каждой точечной массы не зависит от ее соседей. Приведенные уравнения движения описывают продольные колебания частиц, т. е. движение вдоль системы. Однако можно показать, что уравнения того же вида справедливы и для поперечных колебаний N одинаковых точечных масс, расположенных на растянутой пружине нулевой массы на одинаковом расстоянии друг от друга.

Для моделирования динамического поведения N связанных частиц воспользуемся для расчета смещений и скоростей частиц алгоритмом Эйлера-Кромера. Программа *Oscil* рисует смещение как функцию времени не более чем для четырех частиц. Мы рассматриваем случай, когда все частицы имеют одинаковую массу, которую мы полагаем равной единице.

Алгоритм решения задачи о связанных осцилляторах и его реализация в среде Delphi.

1. С помощью процедуры StartBtnClick вводятся параметры системы и начальные условия: число частиц N , шаг по времени dt , продолжительность процесса t_{max} , жесткость пружин k_c , начальное смещение первой частицы:

```
procedure TMainForm.StartBtnClick(Sender: TObject);
begin
    N := StrToInt(Trim(Edit1.Text));
    dt := StrToFloat(Trim(Edit2.Text));
    tmax := StrToFloat(Trim(Edit3.Text));
    kc := StrToFloat(Trim(Edit4.Text)); // Внутренние пружинки
```

```

Vel[1] := 0.0;    // Начальные условия
Vel[2] := 0.0;
U[1] := StrToFloat(Trim(Edit5.Text));
U[2] := 0.0;
k := 1;    // Пристеночные пружинки
PaintBox1.Canvas.FillRect(ClientRect);
Screen;
Move;
end;

```

2. Для разметки экрана N горизонтальными осями, проградуированными отметками времени с интервалом dt , применяется процедура Screen:

```

procedure TMainForm.Screen;
var
  ntick, dx, Ly, row, col, iplot, itick: integer;
begin
  ntick := 100;
  dx := Trunc(tmax/ntick); // Расстояние между
делениями
  Ly := Trunc(0.2*dx);    // «Высота» деления
  nplot := min(4, N);    // Число осциллято-
ров для рисования графиков
  dy := PaintBox1.Height div nplot; // Расстоя-
ние между графиками на экране
  row := 50;
  for iplot:=1 to nplot do begin
    with PaintBox1 do begin
      Canvas.MoveTo(0, row);
      Canvas.LineTo(Trunc(tmax), row);

```

```

for itick:=1 to ntick do begin
  col := Trunc(itick*dx);
  Canvas.MoveTo(col, row);
  Canvas.LineTo(col, row+Ly+2);
end;
row := row + Trunc(dy);
end;
end;
end;

```

3. Процедура Move осуществляет расчеты по формулам (1–3). Сначала переменной t дается приращение по времени: ей присваивается значение $t + dt$.

Для каждого отсчета времени в цикле перебираются N осцилляторов, для которых вычисляются ускорения точек, не связанных с неподвижными стенками

$$a(i) = k_c u(u(i+1) + u(i-1) - 2u(i)) \quad (4)$$

и ускорения конечных точек

$$a(1) = k_c(u(2) - u(1)) - ku(1), \quad (5a)$$

$$a(N) = k_c(u(N-1) - u(N)) - ku(N). \quad (5b)$$

Далее по алгоритму Эйлера-Кромера вычисляются скорости и смещения частиц

$$vel(i) = vel(i) + a(i)dt, \quad (6)$$

$$u(i) = u(i) + vel(i)dt. \quad (7)$$

Полученные значения смещений отображаются на экране (рис. 3 – для двух частиц, рис. 4 – для четырех частиц).

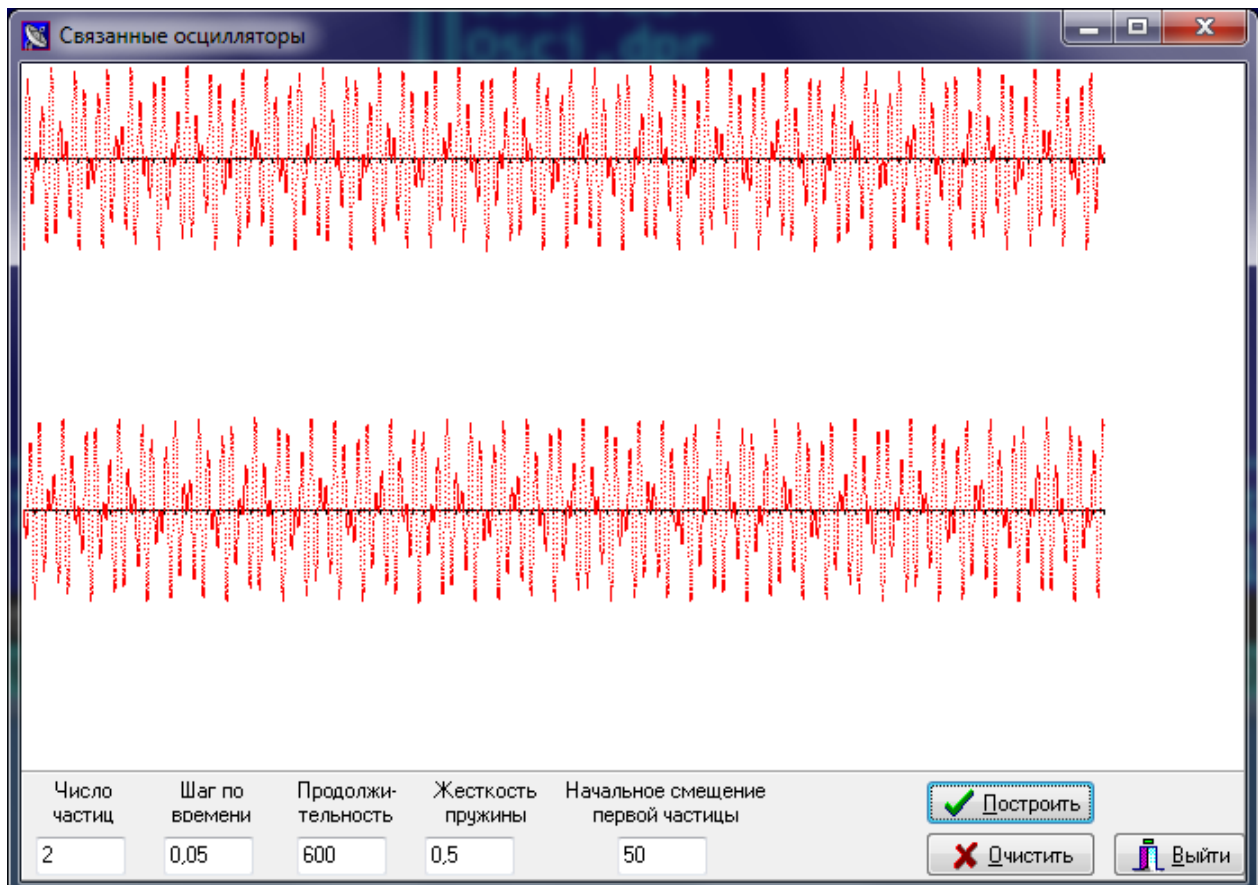


Рис. 3. Осциллограмма для двух связанных частиц.

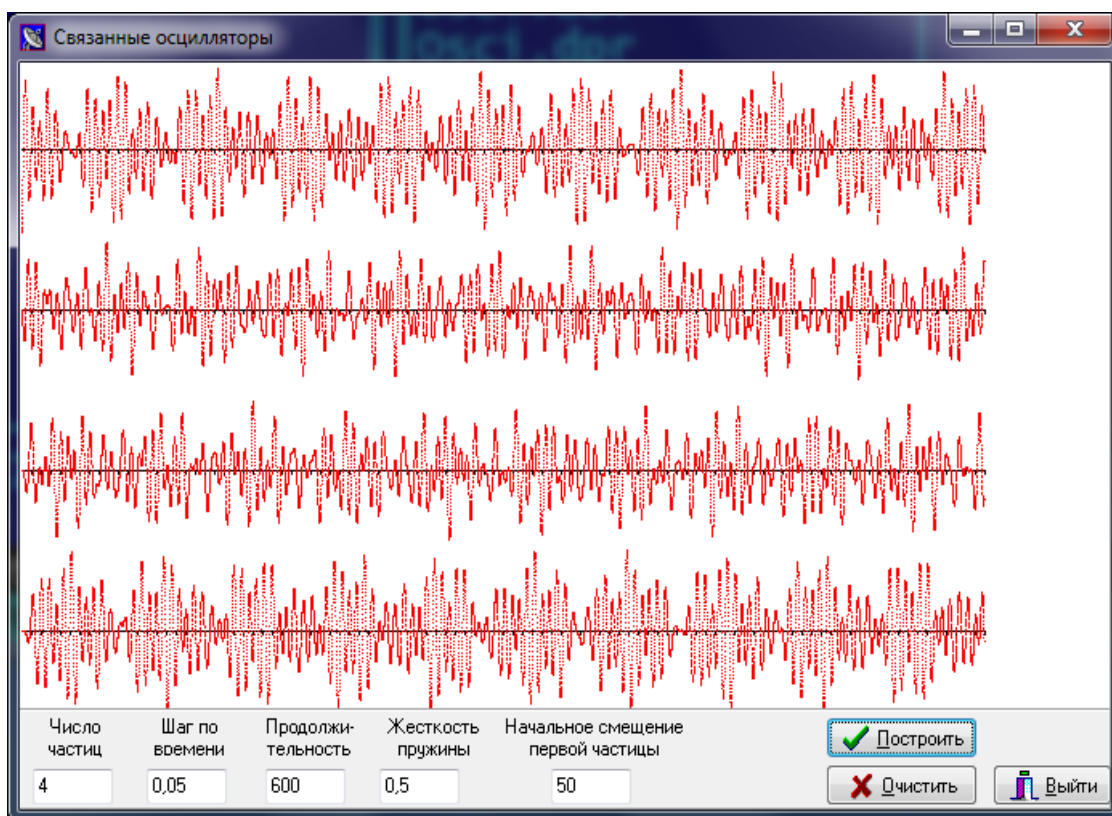


Рис. 4. Осциллограмма для четырех связанных частиц.

Выводы. В настоящей работе показано, что компьютерная визуализация широко используется при исследовании волновых процессов как составной части математических моделей различных физико-технических задач. Для реализации программного решения изучаемых проблем и визуализации результатов моделирования использован Borland Delphi 7.0.

В результате выполнения работы создан электронный задачник по теме «Волновые явления», который может быть использован как автономно для решения инженерных и технических проблем и на практических занятиях студентов при изучении физики, так и в виде динамически изменяющегося сайта для размещения и сопровождения его в локальной вычислительной сети или сети Интернет. Для создания средств навигации по задачнику использованы Adobe Photoshop и Macromedia Flash.

Отличительной особенностью данной работы является использование объектно-ориентированной среды Delphi для компьютерного моделирования волновых явлений с целью создания лабораторного инструмента, позволяющего эффективно демонстрировать эксперименты и производить количественные измерения. Это делает процесс исследования или обучения более наглядным, интересным и результативным. В работе приведены фрагменты программной реализации математических моделей в среде Delphi, что позволяет использовать их непосредственно или

на их основе создавать компьютерные реализации, моделирующие более сложные технические задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дульцев М. Д. Моделирование физических процессов средствами Delphi для изучения темы «Влажность воздуха» в курсе физики основной школы [Электронный ресурс] / М. Д. Дульцев // 20-Проблемы преподавания физики. – Режим доступа : <http://asf.ural.ru/VNKSF/Tezis/v17/VNKSF-17-20.pdf>.
2. Родиошкина Ю. Г. Подготовка по физике студентов технических вузов в рамках вариативного компонента учебного плана / Ю. Г. Родиошкина, Л. В. Масленникова // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2012. – № 1(1). – С. 18–24.
3. Слепухин В. В. Моделирование волновых процессов при продольном ударе в стержневых системах неоднородной структуры : автореф. дис. на соискание ученой степ. канд. техн. наук : спец. 05.13.18 / Виталий Владимирович Слепухин ; Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск, 2010. – 20 с.
4. Фик А. С. Диагностика волновых процессов течения газа, вызывающих низкочастотные колебания в трубопроводных сетях компрессорных станций: на примере компрессорной станции «Береговая» трубопровода «Россия–Турция» : автореф. дис. на соискание ученой степ. канд. техн. наук : спец. 05.02.13 / Андрей Степанович Фик ; Кубанский государственный технологический университет. – Краснодар, 2008. – 20 с.

5. Баженов В. Г. Математическое моделирование нестационарных процессов удара и проникания осесимметричных тел и идентификация свойств грунтовых сред : монография / В. Г. Баженов, В. Л. Котов. – М. : Физматлит ; Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2011. – 208 с.
6. Атамонов Е. В. Исследование напряженного состояния режущей части инструментов с применением оптических квантовых генераторов / Е. В. Атамонов, М. Х. Утешев, Ю. И. Некрасов // Геометрические методы исследования деформаций и напряжений : труды II-го Всесоюзного семинара. – Челябинск, 1976. – С. 137–146.
7. Некрасов Ю. И. Интегрированная система диагностики и управления обработкой на токарных станках с ЧПУ / Ю. И. Некрасов // Обработка металлов: (технология, оборудование, инструменты). – Новосибирск, 2005. – № 4(29). – С. 7–8.
8. Горелик Г. С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику / Г. С. Горелик. – М. : Физматлит, 1959. – 572 с.
9. Гулд Х. Компьютерное моделирование в физике : в 2-х ч. / Харви Гулд, Ян Тобочник ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1990. – Часть 1. – 349 с.
10. Данилов О. Компьютерное моделирование механических колебаний [Электронный ресурс] / О. Данилов. – Режим доступа : <https://sites.google.com/site/mechcommmod/home>.
11. Майер Р. В. Основы компьютерного моделирования : учебное пособие / Р. В. Майер. – Глазов : ГГПИ, 2005. – 25 с.
12. Сван Т. Основы программирования в Delphi для Windows 95 / Том Сван ; [пер. с англ.]. – К. : Диалектика, 1996. – 480 с.

УДК 6[24+81.5]+519.8

Билялова Л. Р., Казакова Э. В., Ситшаева З. З.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

У статті розглянуто автоматизовані системи моніторингу зсувних процесів, їх функціонально-технічна структура. Визначено надійність технічної організації АРМ системи моніторингу.

Ключові слова: автоматизована система, моніторинг, зсув.

В статье рассмотрены автоматизированные системы мониторинга оползней и их функционально-техническая структура. Определена надежность технической организации АРМ системы мониторинга.

Ключевые слова: автоматизированная система, мониторинг, оползень.

The article deals with the automated systems for monitoring of landslides and their functional and technical structure. The reliability of technical organization of the workstation for the monitoring system is determined.

Key words: automated system, monitoring, landslide.

Постановка проблемы. Мониторинг состояния окружающей среды автоматизированными системами (АС) является актуальной задачей обеспечения жизнедеятельности государства и человека. Научно-практическое значение пространственно-временных исследований оползневых процессов заключается в получении новых представлений о динамике процессов, их строении и эволюции, возможности прогнозирования и предотвращения негативных последствий.

Геостатические и геодинамические наблюдения на оползневых склонах, обеспечивающие изучение механизма и динамики оползневого процесса и являющиеся составляющей системы безопасности строительства и эксплуатации различных объектов, позволяют получать первичную информацию характеристик склона в виде соответствующих карт и профилей, а также геометрические параметры смещений земного покрова. Значительное место в повышении мобильности и точности геодезических наблюде-

ний занимает выбор методики и технологии их выполнения, создание и использование специальной аппаратуры, вспомогательных устройств и приспособлений, обеспечение автоматизации измерений, передачи и обработки данных. Поэтому функциональная организация, технические устройства, способы сбора, обработка, хранение и передача результатов наблюдений системы мониторинга оползневых склонов являются **целью** настоящей работы.

Изложение основного материала. В [1] предложены кластерные классификации причин возникновения оползней в АРК по источникам воздействия, их видов по геохарактеристикам и механизм процесса. На первом, самом длительном этапе жизненного цикла оползней, смещения почвы могут быть медленными и выявляются только точными геодезическими наблюдениями. При возрастании скорости деформации склона, на его поверхности появляются трещины, стенки срыва. Заключительная стадия, обычно проте-

кающая быстро, заканчивается формированием границ оползневого блока. В современной мировой практике для мониторинга относительных изменений геометрических параметров строительных и инженерных сооружений и участков рельефа местности успешно применяются различные системы мониторинга инженерных сооружений и рельефа.

В частности, в работе [2] описана система контроля над состоянием железнодорожных сооружений, основанная на беспроводных сенсорных сетях. Используя данные каждого узла датчика, передаваемые по радиоканалу, идентифицируются условия, способствующие образованию предельных напряжений, изменение коэффициентов скольжения пород, что позволяет предсказывать наступление чрезвычайных ситуаций.

В [3; 4] предложены геоинформационные системы мониторинга оползней, использующие как описанную выше технологию, так и спутниковые системы наблюдения и передачи данных в Центр принятия решений.

Аналогичными разработками в Украине активно занимается филиал международной компании SolData Group, создающей комплексные решения по внедрению АС технического мониторинга в сфере гражданского и промышленного строительства, окружающей среде. Компания обеспечивает весь цикл работ по внедрению мониторинговых систем: анализ и подготовку проектной документации; разработку функциональной структуры системы мониторинга с учетом местных геологических условий; подбор необходимого измерительного оборудования; установку и введение в эксплуатацию системы автоматизированных измерений; разработку базы данных (БД) и геоинформационных систем.

Автоматизация измерительных процессов осуществляют с помощью классических станций сбора данных (ССД) или беспроводных устройств «MICRON» [5]. ССД содержит все необходимые компоненты для коммутации, проведения измерений, накопления и передачи данных на локальный сервер (по проводному или беспроводному каналу связи) и центральный процессор (П), обеспечивающий заданный режим работы и ряд функций управления данными. Для расширения коммутационных возможностей вместе с П используется мультиплексор. Результаты измерений сети ССД передаются на локальный сервер данных, с которого программа GEOSCOPE обеспечивает доступ к БД как с монитора сервера, так и удаленно через Интернет.

Альтернативой ССД являются компактные устройства MICRON, оснащенные средствами радиосвязи и объединяемые в измерительные сети. Устройства MICRON могут быть установле-

ны в местах, где отсутствует возможность обеспечить наличие электропитания 220 В или же применение кабелей сопряжено с риском их частых повреждений.

Геодезические измерения проводятся с помощью скважинных экстензометров, позволяющих определять смещения грунтов на глубине до 45 м. Данные о перемещении якорей экстензометров, вызванном движением грунтов, автоматически передаются на ССД и далее на сервер с определённой периодичностью. После автоматической обработки их просмотр доступен через «GEOSCOPE WEB».

Альтернативой описанному способу является автоматизированная система мониторинга (АСМ), позволяющая с помощью аппаратно-программного комплекса GeoMos фирмы Leica Geosystems (Швейцария) [6] выполнять измерения геометрических и физических параметров, обработку данных и организацию архивов, извещать о превышении пороговых значений и предоставлять информацию организациям для принятия решений.

Она включает в себя

- современное оборудование (геодезическое оптическое, спутниковое глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС/GPS), датчики измерения пространственных перемещений, наклона и т. п.);
- каналы коммуникации (для удаленного управления измерительными приборами и датчиками, а также для передачи данных в центр управления);
- центр управления АСМ, в котором сосредоточены оборудование и программное обеспечение (ПО) для сбора и обработки данных и средства визуализации результатов измерений.

Управляющим ядром центра управления АСМ является сервер, на котором установлено специализированное ПО GeoMos, позволяющее управлять различными типами датчиков как единой системой. Данные, поступающие от различных датчиков в цифровом или аналоговом формате, анализируются совместно. Этим обеспечивается комплексность решения задачи по сбору оперативной информации о состоянии участка поверхности или сооружения.

ПО GeoMos содержит два основных модуля: Монитор и Анализатор. Первый работает в интерактивном режиме и предназначен для сбора информации, управления приборами и всем процессом; второй представляет собой автономное приложение для анализа, визуализации и последующей обработки данных. При этом используются стандартные технологии для обмена информацией. Сообщение между компьютерами

обеспечивается с помощью беспроводной и кабельной связи. Главным звеном программы Leica GeoMos, управляющей измерениями, поддерживающей различные установки и конфигурации аппаратных и программных средств, является БД на основе SQL.

В основе системы дистанционного контроля оползней, разработанной компанией «3D Спутниковая навигация», лежит высокоточное дифференциальное позиционирование и применение глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, что позволяет в автоматическом режиме определять параметры положения и движения грунта оползнеопасного участка с использованием радиосигналов; формировать сигналы о достижении оползнем априори заданных параметров состояния и передавать их в центр мониторинга и потребителям; проводить контроль и диагностику функционирования технических и аппаратно-программных средств; документировать состояние объекта мониторинга и работу системы.

Эти функции реализуются с помощью следующих технических средств:

- приёмный модуль ГЛОНАСС/GPS содержит четыре антенны, три из которых устанавливаются на контролируемом участке, при этом среднеквадратичная погрешность их определения взаимного положения составляет по горизонтали 8–12 мм, по вертикали 12–16 мм [7];
- АРМ, включающее специальное ПО дистанционного мониторинга трехмерных деформаций объекта;
- два радиомодема GSM/GPRS для беспроводной связи между приемным модулем и АРМ.

Исходя из вышеизложенного, составим и опишем обобщенную схему (рис. 1) технической и функциональной организации АС мониторинга (АСМ), которая характеризуется мобильностью, автоматизацией сбора и обработки информации, независимостью регистрирующих узлов от стационарных систем электроснабжения.

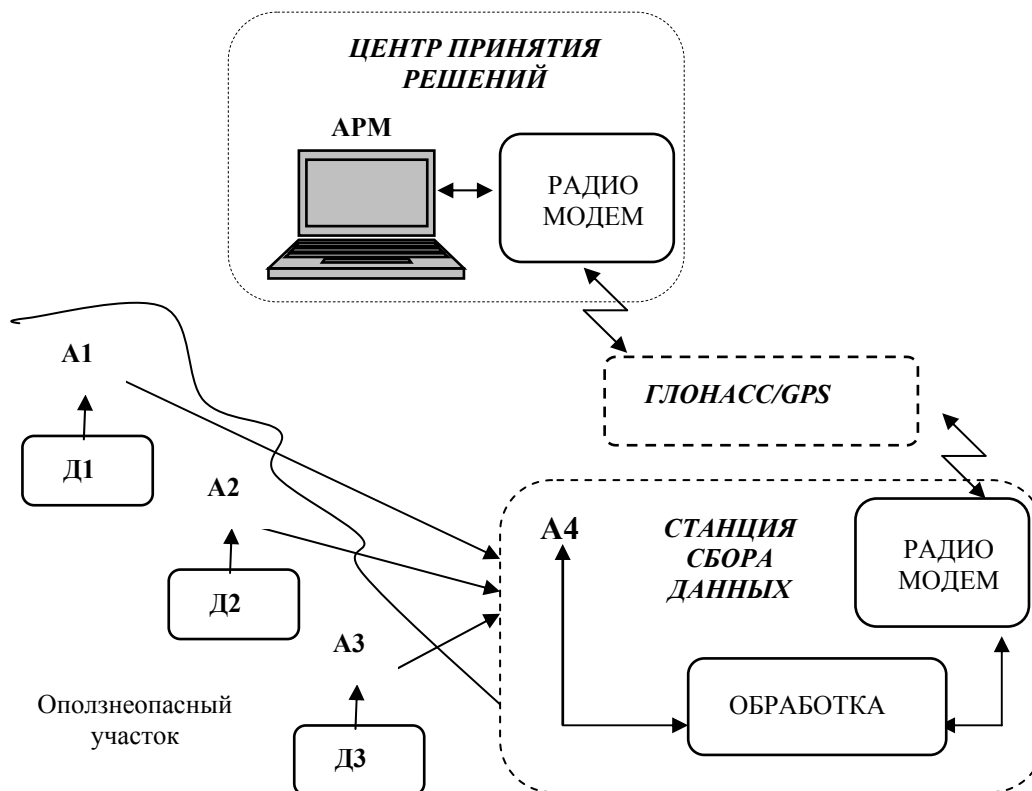


Рис. 1. Обобщенная схема АСМ оползней.

Данные измерений с датчиков Д1, Д2, Д3, расположенных на оползнеопасном участке, посредством антенн А1, А2, А3 передаются на антенну А4 и далее в модуль предварительной обработки в составе ССД. Для передачи данных измерений от ССД на АРМ Центра принятия решений используются радиомодемы и глобальная сеть ГЛОНАСС/GPS. Обратная связь для управления оборудованием и режимами измерений осуществляется по тем же коммуникационным

каналам (рис. 1). Такое системотехническое решение позволяет наращивать технические и функциональные возможности АСМ в процессе ее эксплуатации. Ясно, что устойчивость и качество работы АСМ зависит от надежности аппаратной составляющей АРМ. Потому далее представим техническую организацию аппаратной составляющей АРМ и рассчитаем ее надежность.

Элементная база состоит из многоядерных П TILE64 от Tiler Corporation [8]. Структура чипа

включает «ячейки», каждая из которых содержит процессорное ядро, поддерживающее рабочие частоты от 600 МГц до 1 ГГц, и коммутатор. Для ускорения доступа к данным каждая ячейка оснащена 2 кэшами памяти. Энергопотребление каждого ядра находится на уровне 170–300 мВт, и можно отключать неактивные ядра. Размер и пиковая производительность чипа зависят от количества его ядер. Поскольку каждое из 64-х ядер П TILE64 может работать со своей ОС, то целесообразно использовать ОС Linux, обеспечивающую более высокую производительность, ведь тогда каждое ядро является полнофункциональным П общего назначения со своими областями кэш-памяти L1 и L2, а также общим кэшем 3-го уровня.

Проведем расчеты, обосновывающие эффективность предлагаемой структурно-технической организации аппаратной составляющей АРМ АСМ.

Предварительно вычислим коэффициент сложности оползневого процесса. Пусть на протяжении 10 лет с интервалом 10^3 с ($\approx 0,5$ ч) осу-

ществляется наблюдение за оползневой телом длиной 10^2 м, шириной 10^2 м и мощностью 10 м, которому сопоставим равномерную сетку с шагом 10^{-3} м. Сложность математической модели [9], на основе которой проводится мониторинг, составляет $10^5 \times 10^4 \times 10^3 = 10^{12}$ операций за один прогон.

Техническая часть АРМ насчитывает 20 П TILE64, т. е. $1,28 \times 10^3$ ядер, обеспечивающих параллельную обработку 10^3 точек сетки, таким образом, всего $\approx 1,2 \times 10^6$ точек. Рассчитаем необходимый для 64-х ядерного П объем памяти: $10^3 \times 64 = 6,4 \times 10^4$ точек. Для обсчета одной точки сетки требуется 1 Кбайт оперативной памяти, т. е. для всего оползня необходимо $6,4 \times 10^4$ Кбайт.

Определим количество оборудования на одной печатной плате: 1 П TILE64, 10 Мб памяти (т. е. 4 микросхемы ОЗУ), 2 сетевых адаптера (для передачи данных и служебный), т. е. всего 7 интегральных схем. Задействуем 2 стойки, размещая на каждой по 10 вычислительных модулей (рис. 2).

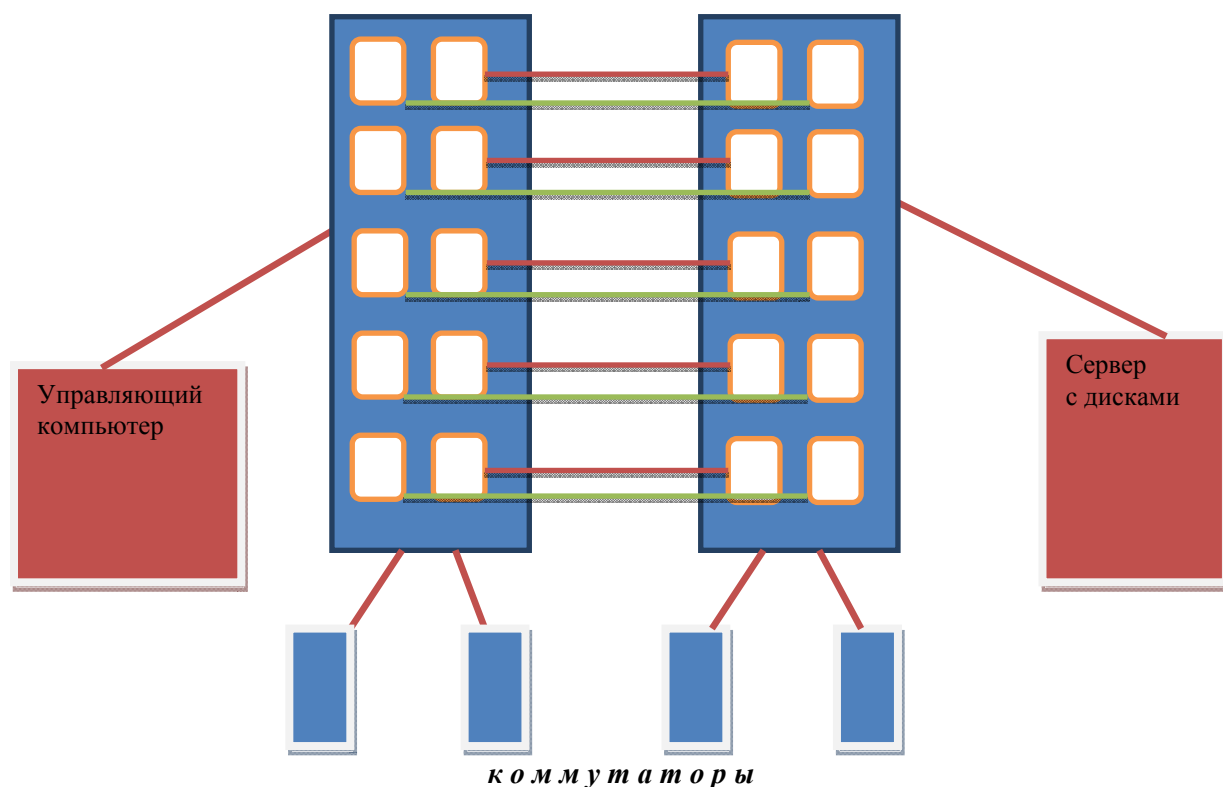


Рис. 2. Стойки вычислительных модулей.

Обеспечивать обмен данными и взаимодействие подсистем и их компонент между собой можно на базе стандартных телекоммуникационных средств: по коммутируемым либо не коммутируемым проводным, или по радиотелефонным каналам связи.

Спроектируем коммуникационную среду по два коммутатора Myninet и Ethernet (с пропуск-

ной способностью 2 и 100 Gbit/sec соответственно), всего 16 портов, по 4 в каждом коммутаторе, 10 кабелей. Для подключения внешней памяти выберем коммутатор EDS-508A-MM-SC-T для Ethernet с широко распространенными физическими интерфейсами 6x10/100BaseTX (витая пара) и 2x100BaseFX (многомодовое оптоволокно) [10].

Теперь рассчитаем надежность аппаратной части (АЧ), структура которой представлена на рис. 3.

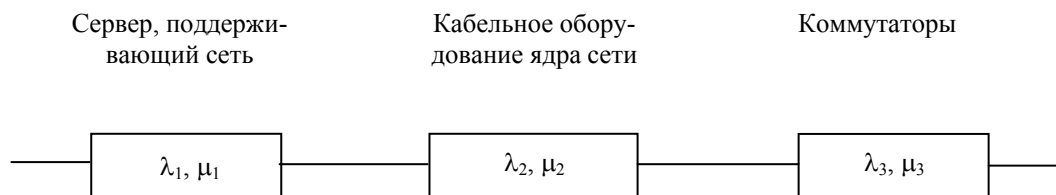


Рис. 3. Структура аппаратной части АРМ.

АЧ включает последовательно соединенные 1 сервер, 4 коммутатора и 10 кабельных фрагментов, составляющих ядро сети. Если интенсивность отказов и восстановлений описывается формулой $K_r = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$ (K_r – коэффициент готовности,

характеризующий вероятность нахождения АЧ в работоспособном состоянии в произвольный момент времени; λ – интенсивность отказов; μ – интенсивность восстановлений) [11], то расчетные значения характеристик представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики аппаратной подсистемы АРМ.

Оборудование	Интенсивность		Коэффициент готовности
	отказов $\lambda, 1/ч$	восстановления $\mu, 1/ч$	
Сервер	2×10^{-5}	0,1	$1 - 2 \times 10^{-4}$
Коммутатор	10^{-5}	0,01	$1 - 10^{-3}$
Один кабельный фрагмент	10^{-6}	1	$1 - 10^{-6}$
Подсистема серверов	2×10^{-5}	0,1	$1 - 2 \times 10^{-4}$
Подсистема коммутаторов	4×10^{-5}	0,01	$1 - 4 \times 10^{-3}$
Подсистема кабелей	10^{-5}	1	$1 - 10^{-5}$
Аппаратная часть АРМ	$\lambda_s = 7 \times 10^{-5}$	$\mu_s = 7 \times 10^{-5} / 42,1 \times 10^{-4} \approx 0,0166$	$K_{rs} = 1 - (2 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-3} + 10^{-5}) = 1 - 42,1 \times 10^{-4}$

Основываясь на проведенных расчетах, определяем T – среднее время наработки на отказ, T_b – среднее время восстановлений:

$$T = 1/\lambda_s = 1/7 \times 10^{-5} = 14,29 \text{ тыс. ч,}$$

$$T_b = 1/\mu_s = 1/0,0166 \approx 60,24 \text{ ч,}$$

$$K_r = T/(T+T_b) = 14290/(14290+60,24) \approx 0,9958.$$

Полученные данные показывают, что коэффициент надежности рассмотренной технической структуры превышает 99,5% на протяжении 14290 часов (т. е. 20 месяцев), а время ее восстановления составляет около 2,5 суток.

Выводы. Технические и программные средства представленной системы мониторинга оползневых процессов обеспечивают надежную и устойчивую работу в условиях действия различных факторов природного и техногенного характера. Надежность системы обеспечивается за счет возможности диагностики работоспособности ее составных частей и тестирования системы в целом, резервирования и дублирования каналов связи, источников электропитания и функционально важных составных частей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ситшаева З. З. Моделирование как инструмент систем техногенно-экологической безопасности / З. З. Ситшаева, Л. Р. Билялова, Э. В. Билялова // Человек – Природа – Общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валлеологии. Выпуск 4. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2011. – С. 33–35.
2. Шабельников А. Н. Интеллектуальные системы распределенного мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей с использованием системы мобильных объектов / А. Н. Шабельников, С. М. Ковалев, В. А. Шабельников // Сборник научных трудов V-ой междунар. науч.-практ. конф. «САПР». – Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2007. – № 2(77). – С. 170–174.
3. Скарнина Н. А. Геоинформационная система мониторинга и управления оползнями [Электронный ресурс] / Н. А. Скарнина // Геоэкология, гидрогеология, инженерная геология и природопользование : Пятая Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле, 29.11–02.12.2010 г. : тезисы докл. – Новосибирск, 2010. – Режим доступа : http://sibconf.igm.nsc.ru/sbornik_2010/10_geoeology/619.pdf.

4. Лябах Н. Н. Разработка интеллектуальной системы мониторинга оползневых ситуаций / Н. Н. Лябах, А. С. Сарьян // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям AIS-IT'10. – Дивноморск, 2010. – С. 279–282.
5. Автоматизированные системы технического мониторинга Sol Data [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://soldata.com.ua/ru/avtomatizacija_izmeritelnih_processov.html.
6. Хиллер Б. Автоматизированный деформационный мониторинг – инновационные технологии на службе обеспечения безопасности в горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности / Б. Хиллер // Маркшейдерский вестник. – 2010. – № 4. – С. 54–58.
7. Система дистанционного контроля оползней. 3D Спутниковая навигация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.3dsatnav.ru/solutions/monitoring_of_landslides.
8. Процессор Tiler TILE64.... Новости Hi-Tech индустрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ixbt.com/news/hard/index.shtml?09/07/92>.
9. Ситшаева З. З. Дискретная прогностическая модель оползневого процесса / З. З. Ситшаева, Л. Р. Билялова, Э. В. Билялова // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 27. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2011. – С. 138–142.
10. Сетевые коммутаторы Ethernet SWITCH [Электронный ресурс] // Интеллектуальные системы автоматизации технологии. – Режим доступа : <http://www.insat.ru/products/?category=184>.
11. Основные характеристики надежности аппаратных средств вычислительной техники [Электронный ресурс] // Московский государственный технический университет МИРЭА. – Режим доступа : <http://www.vt.fit.mirea.ru/text/harnad.html>.

НАШИ АВТОРЫ

Абдулгасис Азиз Умерович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Абдулгасис Дилявер Умерович – преподаватель кафедры профессиональной педагогики и инженерной графики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Абдулгасис Умер Абдуллаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта автомобилей, декан инженерно-технологического факультета Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Абибуллаев Эдем Абибуллаевич – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Абильтарова Эльвица Нуриевна – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры охраны труда Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь.

Абитова Шазиэ Юсуфовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры охраны труда Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Артемов Николай Прокофьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобилей и тракторов Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко, г. Харьков

Бабицкий Леонид Федорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации, энергетики и технического сервиса Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь

Бекиров Расим Нафеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой охраны труда Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Беликов Анатолий Серафимович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, г. Днепропетровск

Билялова Лилия Ремзиевна – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и социальной информатики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Богуцкий Борис Владимирович – студент специальности «Технология машиностроения» Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь

Богуцкий Владимир Борисович – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь

Братан Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь

Гаффарова Эльмира Усеиновна – заместитель директора Крымского республиканского предприятия «Производственное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства г. Красноперекопска»

Гербер Юрий Борисович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета механизации производства и технологии переработки сельскохозяйственной продукции Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь

Горбачевская Ольга Михайловна – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Дубинин Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Казакова Элина Владимировна – магистрант кафедры математического обеспечения вычислительных систем Московского государственного технического университета радиотехники, электроники и автоматики, г. Москва, Россия

Капля Александр Иванович – преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, г. Днепропетровск

Клец Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Коробко Андрей Иванович – начальник отдела качества обучения Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Кузнецова Татьяна Александровна – начальник группы исследований пожаров исследовательско-испытательной лаборатории Управления обеспечения деятельности ГУ Гостехногенбезопасности в АР Крым, г. Симферополь

Куклин Владимир Алексеевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры механизации, энергетики и технического сервиса Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь

Линчевский Павел Адамович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Одесского национального технического университета, г. Одесса

Лузан Сергей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Люманов Эскендер Меджитович – кандидат технических наук, доцент, первый проректор Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Мевлют Шевхи Тевабильевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Мостовая Анжелла Николаевна – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Назарько Ольга Александровна – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Николенко Илья Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и санитарной техники Национальной академии природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь

Ниметулаева Гульзара Шакировна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры охраны труда Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Новак Георгий Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Одесского национального технического университета, г. Одесса

Новиков Павел Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь

Пилипенко Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, г. Днепрпетровск

Плетнев Вячеслав Николаевич – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Подригало Михаил Абович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Подригало Надежда Михайловна – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Полянский Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков

Салиев Энвер Ибрагимович, кандидат наук государственного управления, доцент, директор Крымского республиканского предприятия «Производственное предприятие водопроводно-канализационного хозяйства г. Красноперекоска»

Ситшаева Зера Зекерьяевна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и социальной информатики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Соболевский Иван Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, энергетики и технического сервиса Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь

Сулейманов Эрнест Сейдаметович – старший преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Стреляная Юлия Олеговна – ассистент кафедры технологии машиностроения Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь

Умеров Эрвин Джеватович – старший лаборант кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Феватов Сададин Асанович – преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Хабрат Николай Иванович – доцент кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Харачих Гульнара Исмаиловна – кандидат технических наук, преподаватель кафедры охраны труда Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Чеботарь Сергей Васильевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры охраны труда Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Шароватова Елена Павловна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры охраны труда и техногенно-экологической безопасности Национального университета гражданской защиты Украины, г. Харьков

Шмигальский Владимир Никифорович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Шрон Борис Леонидович – студент специальности «Технология машиностроения» Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь

Шрон Леонид Борисович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь

Ягьяев Эльмар Энверович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

Яценко Людмила Феликсовна – кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и социальной информатики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

*ВЧЕНІ ЗАПИСКИ КРИМСЬКОГО ІНЖЕНЕРНО-
ПЕДАГОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ*

Випуск 36

Технічні науки

(Мовою оригіналу)

Головний редактор Якубов Ф. Я.
Заступник головного редактору Абдулгззіс У. А.
Відповідальний за випуск Фазилова А. Р.
Коректура та верстка Халілаєва С. Н.,
Ібрагімова Е. Е.,
Ібрагімова А. В.

Підписано до друку 26.11.2012 р. Формат 60×84¹/₈.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Обл.-вид. друк. арк. 12,65. Об'єм 16,25 друк. арк.
Тираж 100 прим.

Підготовлено до друку та віддруковано
у редакційно-видавничому відділі Науково-інформаційного центру
Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет»
95015, м. Сімферополь, вул. Севастопольська, пров. Учбовий, 8