Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ

Методические указания к лабораторной работе 1 по дисциплинам «Цифровое моделирование радиоэлектронных систем телекоммуникаций» и «Цифровое моделирование радиоэлектронных систем дистанционного мониторинга» для студентов всех форм обучения специальности 201600 – Радиоэлектронные системы

Екатеринбург
2007

УДК 621.396.06

Составители С.Н. Дмитриев, А.Г. Долматов
Научный редактор доц., канд. техн. наук Д.В. Астрецов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ : методические указания к лабораторной работе 1 по дисциплинам «Цифровое моделирование радиоэлектронных систем телекоммуникаций» и «Цифровое моделирование радиоэлектронных систем дистанционного мониторинга» / сост. С.Н. Дмитриев, А.Г. Долматов. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ УПИ, 2007. – 28 с.

Методические указания являются руководством к выполнению лабораторной работы и состоят из краткой теоретической части, задания для домашней подготовки и рабочего задания. Лабораторная работа посвящена изучению методики моделирования сигналов и помех.

Библиогр.: 4 назв. Прил. 4.

Подготовлено кафедрой «Радиоэлектронные и телекоммуникационные системы».

ВВЕДЕНИЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – овладение методикой моделирования на ЭВМ гармонического сигнала и случайных некоррелированных величин с заданным одномерным законом распределения вероятностей и контролем характеристик моделируемых случайных величин.

Лабораторная работа выполняется в компьютерном классе кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем.

Описание работы содержит краткое изложение теоретических основ изучаемого раздела дисциплины, задание по домашней подготовке и рабочее задание. Приведены также контрольные вопросы, которые дают возможность проверить степень подготовки к работе и могут быть использованы студентами для самоконтроля.

В приложении приведена краткая инструкция по работе с сервисным программным обеспечением при использовании среды программирования Borland C++ Builder.

Выполнение работы рассчитано на четырехчасовое занятие. Подготовка к работе осуществляется путем индивидуальной работы, рассчитанной на два часа.

Правила выполнения лабораторных работ следующие.

Подготовка к работе

При подготовке к работе следует:

1. Ознакомиться с описанием работы и рекомендуемой литературой.
2. Выполнить задание домашней подготовки.
3. Продумать ответы на контрольные вопросы.
4. Продумать методику выполнения экспериментальной части.

Выполнение работы

1. Студент допускается к работе после представления результатов домашней подготовки и ответа на вопросы преподавателя по теме выполняемой работы.
2. Включение ПК производится только преподавателем или дежурным инженером.
3. После выполнения работы необходимо представить результаты исследований преподавателю.

Оформление отчета

1. Отчет составляется на отдельных листах писчей бумаги.
2. В отчете должны быть приведены результаты домашней подготовки, экспериментальные результаты в виде таблиц или графиков, а также выводы по результатам работы.
3. Отчет по работе должен быть представлен к концу текущего занятия или к началу следующего. Зачет по работе выставляется после принятия преподавателем оформленного отчета.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

1. Экономичное (требующее малых затрат машинного времени) моделирование гармонического процесса с постоянными параметрами типа

$$u(t) = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi) \tag{1}$$

или

$$u(t) = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)\,, \tag{2}$$

где U_m – амплитуда сигнала; ω – циклическая частота сигнала; φ – начальная фаза сигнала, может быть осуществлено одним из следующих рекуррентных алгоритмов:

a) алгоритм с перекрестными связями.

Алгоритм моделирования записывается в виде

$$\begin{aligned} u_c[n] &= c \cdot u_c[n-1] + s \cdot u_s[n-1],\\ u_s[n] &= c \cdot u_s[n-1] + s \cdot u_c[n-1], \end{aligned} \tag{3}$$

где $c = \cos(\omega\Delta t)$; $s = \sin(\omega\Delta t)$; Δt – шаг дискретизации по времени.

Для вычисления $u[1]$ требуются начальные условия $u_c[0]$ и $u_s[0]$, которые находятся из нерекуррентных формул

$$\begin{aligned} u_c[n] &= U_m \cos(\omega n\Delta t + \varphi),\\ u_s[n] &= U_m \sin(\omega n\Delta t + \varphi), \end{aligned} \tag{4}$$

полученных при замене в (1) и (2) непрерывного времени дискретным, т.е. $t = n \cdot \Delta t$. Начальные условия при этом равны

$$u_c[0] = U_m \cos(\varphi),\ u_s[0] = U_m \sin(\varphi); \tag{5}$$

b) алгоритм Чебышева.

Независимо от вида гармонического процесса ((1) или (2)) моделирование осуществляется одним и тем же рекуррентным соотношением вида

$$u[n] = c' \cdot u[n-1] - u[n-2], \tag{6}$$

где $c' = 2\cos(\omega\Delta t)$; Δt – шаг дискретизации по времени.

В отличие от алгоритма *a* в данном случае для вычисления $u[1]$ требуются два предыдущих значения формируемого процесса: $u[0]$ и $u[-1]$. Они также находятся из нерекуррентной формулы при замене t на $n\Delta t$. Для косинусоидального сигнала (1)

$$u[n] = U_m \cos(\omega n\Delta t + \varphi) \tag{7}$$

начальные условия равны

$$u[0] = U_m \cos(\varphi),\ u[-1] = U_m \cos(\omega\Delta t - \varphi), \tag{8}$$

При моделировании синусоидального процесса (2) начальные условия определяются формулой

$$u[n] = U_m \sin(\omega n\Delta t + \varphi) \tag{9}$$

и равны

$$u[0] = U_m \sin(\varphi),\ u[-1] = -U_m \sin(\omega\Delta t + \varphi). \tag{10}$$

2. Моделирование случайных некоррелированных величин основывается на использовании псевдослучайных чисел, распределенных равновероятно на интервале (0, 1). Обращение к датчику таких чисел осуществляется с помощью функций randomize() и random(NUM), где первая из функций инициализирует датчик случайным числом, а вторая – возвращает при обращении целое псевдослучайное число, распределенное равновероятно на интервале [0, NUM – 1] (NUM – также целое число). Хорошее приближение равномерно распределенных на интервале (0, 1) чисел датчика $\{\xi_n\}$ дает использование значений NUM > 10^4. Функция randomize() должна быть вызвана до цикла, в котором происходит обращение к датчику.

Для получения последовательности чисел $\{\eta_n\}$ с равновероятным распределением на интервале (a, b), т.е.

$$w_\eta(y) = \begin{cases} \dfrac{1}{b-a}, & a < y < b \\ 0, & y \le a, y \le b \end{cases}, \quad (11)$$

следует воспользоваться соотношением

$$\eta_n = (b - a)\xi_n + a.$$

Моделирование случайных величин с заданным одномерным законом распределения основывается на известных свойствах преобразования исходных случайных чисел.

Для моделирования случайных чисел η с нормальным законом распределения

$$w_\eta(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_\eta} \cdot \exp(-\frac{(y - m_\eta)^2}{2 \cdot \sigma_\eta{}^2}) \quad (12)$$

может быть использован алгоритм формирования одновременно двух независимых значений, использующий машинный датчик псевдослучайных равновероятных чисел ξ_n:

$$\begin{aligned} \eta_n &= \sigma_\eta \sqrt{-2 \cdot \ln \xi_n} \cdot \sin(2\pi \cdot \xi_{n+1}) + m_\eta, \\ \eta_{n+1} &= \sigma_\eta \sqrt{-2 \cdot \ln \xi_n} \cdot \cos(2\pi \cdot \xi_{n+1}) + m_\eta. \end{aligned} \quad (13)$$

Асимптотически (при $k \to \infty$) нормальная случайная величина может быть получена и на основе свойства нормализации, следующего из центральной предельной теоремы теории вероятностей, в соответствии с алгоритмом

$$\eta^{(k)}{}_n = \sigma_\eta \sqrt{\frac{12}{k}} \cdot \sum_{r=1}^{k} (\xi_k - 0{,}5) + m_\eta. \quad (14)$$

В выражении (14) k – число равновероятных чисел ξ_n, извлекаемых из машинного датчика для формирования очередного n-го значения случайной величины η. Чем больше k, тем ближе закон распределения чисел η к гауссовскому. Обычно принимается $k = 5\ldots15$, особенно удобным является значение $k = 12$, так как (14) несколько упрощается:

$$\eta^{(12)}{}_n = \sigma_\eta \cdot \left(\sum_{r=1}^{12} \xi_k - 6 \right) + m_\eta . \qquad (15)$$

Ряд значений $\xi_1, \xi_2, \ldots \xi_n, \ldots \xi_N$, полученных в ходе N испытаний, является случайной выборкой из совокупности случайных величин с распределением $w_\xi(x)$.

Статистические характеристики выборки случайных величин с распределением $w_\xi(x)$ рассматриваются как оценки числовых характеристик этого распределения. Несмещенные оценки математического ожидания (начального момента первого порядка) и дисперсии (центрального момента второго порядка) определяются соответственно выражениями:

$$\hat{m}_\xi = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} \xi_n , \qquad (16)$$

$$\hat{D}_\xi = \hat{\sigma}_\xi^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{n=1}^{N} (\xi_n - \hat{m}_\xi)^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{n-1}^{N} \xi_n{}^2 - \frac{N}{N-1} \cdot \hat{m}_\xi{}^2 . \qquad (17)$$

Вследствие ограниченного объема выборки N выборочный (эмпирический) одномерный закон распределения неизбежно отличается от теоретического распределения $w_\xi(x)$.

Для приближенной оценки вида закона распределения используется гистограмма $\hat{w}_\xi(x)$. При построении гистограммы весь диапазон возможных значений чисел ξ_n разбивается на L интервалов Δ_l, $l = \overline{1, L}$. Затем подсчитывается количество чисел N_l, попавших в каждый интервал Δ_l, и строятся прямоугольники с основанием Δ_l и высотой $\hat{w}_l = N_l / (N \cdot \Delta_l)$. Обычно величина L выбирается в пределах 10…20, а объем выборки должен быть не менее $N = 10 \cdot L$.

Гистограмма дает лишь качественное представление о виде функции плотности распределения. Желательно определить, насколько хорошо согласуется та или иная гипотеза о распределении случайной величины с полученными экспериментальными данными. Для проверки гипотез о распределении применяют различные критерии согласия. Наиболее удобным и универсальным критерием согласия является критерий χ^2 Пирсона. Он совершенно не зависит ни от распределения случайной величины, ни от ее размерности. Количественной оценкой различия между выборочным $\hat{w}_\xi(x)$ и теоретическим $w_\xi(x)$ распределениями служит статистика d критерия согласия χ^2, определяемая по формуле

$$d = \sum_{l=1}^{L} \frac{(N_l - NP_l)}{NP_l} = \sum_{l=1}^{L} \frac{N_l^2}{NP_l} - N, \tag{18}$$

здесь N_l – число значений выборки в интервале Δ_l, которое использовано при расчете гистограммы; p_l – теоретическая вероятность попадания случайной величины ξ в интервал Δ_l, которая вычисляется исходя из предполагаемого теоретического распределения $w_\xi(x)$:

$$p_l = W_\xi(b_l) - W_\xi(a_l), \tag{19}$$

где $W_\xi(x) = \int\limits_{-\infty}^{x} w_\xi(t)dt$ – функция распределения; a_l, b_l – границы интервала Δ_l.

Разбиение на интегралы довольно произвольно. Необходимо, чтобы для граничных интервалов выполнялось условие $N \cdot p_l \geq 1$, для остальных – $N \cdot p_l \geq 10$. Если это условие не выполняется, интервалы необходимо укрупнить. Всегда должно соблюдаться $\sum\limits_{l=1}^{L} p_l = 1$.

При выполнении перечисленных условий статистика d имеет асимптотическое (при $N \to \infty$) χ^2 (хи-квадрат)-распределение с $m = L - 1$ степенями свободы. Задав вероятность α отклонения гипотезы о принадлежности выборки $\{\xi_n\}$ объемом N к совокупности ξ с распределением $w_\xi(x)$, находят из таблиц величину χ^2_α, такую, что $p[\chi^2 > \chi^2_\alpha] = \alpha$. Если $d \leq \chi^2_\lambda$, то можно считать выборочное распределение $\hat{w}_\xi(x)$ совпадающим с теоретическим $w_\xi(x)$. Величина χ^2_α называется доверительной границей с 100α-процентным уровнем значимости отклонения выборки от теоретического распределения. В зависимости от характера задачи используются 0,1-, 1- и 5-процентные уровни значимости, то есть $\alpha = 0{,}001\ldots0{,}05$. Таблица значений χ^2 для различных α и *m* приведена в прил. 1 [4].

Если исходное распределение зависит от неизвестных параметров $\theta_1, \theta_1, \ldots, \theta_R$, то в качестве критерия согласия используется статистика [2]:

$$\hat{d} = \sum_{l=1}^{L} \frac{[N_l - Np_l(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_1, \ldots, \hat{\theta}_R)]^2}{Np_l(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_1, \ldots, \hat{\theta}_R)}, \tag{20}$$

в которой $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_1, \ldots, \hat{\theta}_R$ – оценки неизвестных параметров, построенные по результатам наблюдений (например, оценки математического ожидания и дисперсии в распределении (12)). Статистика $\hat{d}$ в пределе при $N \to \infty$ имеет также χ^2-распределение, но уже с $m = L - R - 1$ степенями свободы.

Домашняя подготовка

1. Изучить принципы построения программного обеспечения лабораторной работы, приведенные в прил. 2.
2. Подготовить на языке C алгоритм моделирования гармонического процесса (функции InitHarmRec и GetHarmSample – см. прил. 2):

$$U(t) = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi). \tag{21}$$

Тип алгоритма задается преподавателем. Варьируемыми параметрами являются U_m, φ и отношение периода колебания $T = 2\pi / \omega$ к шагу дискретизации по времени Δt $N_t = T / \Delta t$, характеризующее величину шага дискретизации.

Следует учесть, что процедура должна возвращать как «моделируемый отсчет» гармонического сигнала, так и «точное» значение этого сигнала в тот же момент времени. Расчет «точного» значения выполняется на основе использования библиотечной функции cos(*x*).

3. Рассчитать математическое ожидание и дисперсию псевдослучайных чисел ξ_n машинного датчика random. При расчете использовать соотношения

$$m_\xi = \overline{\xi} = \int_{-\infty}^{\infty} x w_\xi(x) dx,$$

$$D_\xi = \sigma_\xi^2 = \overline{\xi^2} - (\overline{\xi})^2, \overline{\xi^2} = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 w_\xi(x) dx,$$

где $w_\xi(x)$ – плотность распределения вероятностей случайных чисел.

4. На основе одного из алгоритмов (13) или (14) (по заданию преподавателя) подготовить программу формирования выборки гауссовых случайных чисел с заданными параметрами m_η и σ_η. (функция GetGaussRN – см. прил. 2).

Рабочее задание

Работа выполняется в среде Borland C++ Builder 6.0, краткая инструкция по работе с сервисным программным обеспечением приводится в прил. 2.

1. Ввести в ПК составленную при домашней подготовке программу моделирования гармонического процесса вместо «заглушек» функций InitHarmRec и GetHarmSample (не следует менять имена функций, типы и порядок следования формальных параметров). Оттранслировать программу и, исправив ошибки, если они обнаружены, вызвать программу на решение. Эксперимент провести при следующих параметрах: $N_t = 50...60$ и 10...20 (вводить целые числа), U_m и φ – произвольные.
2. Провести испытание машинного датчика псевдослучайных чисел random() при различных объемах выборки ($N = 200$, 1000, 5000). Сопоставить результаты эксперимента с расчетными. Число интервалов разбиения гистограммы L выбирается в пределах 10...20.
3. Ввести в ПК составленную при домашней подготовке программу формирования выборки гауссовых случайных чисел (вместо «заглушки» функции GetGaussRN). Оттранслировать программу и, исправив ошибки, если они обнаружены, вызвать программу на решение. Параметры N и L в

эксперименте задаются такие же, как и в п. 2. Параметры m_η и σ_η – произвольные.

4. Оформить отчет, дав объяснение полученным результатам и сформулировав выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите преимущества и недостатки моделирования сигналов на основе рекуррентных соотношений. За счет чего достигается экономия вычислительных затрат?
2. Запишите экономичный алгоритм моделирования процесса $u(t) = at^2$, использующий рекуррентные соотношения.
3. Зависит ли точность моделирования гармонического сигнала от абсолютных значений частоты ω и шага дискретизации Δt?
4. В чем состоит преимущество задания целым числом отношения периода гармонического колебания к шагу дискретизации по времени?
5. Какие способы моделирования периодических сигналов вам известны?
6. Изобразите графически ожидаемую плотность вероятности псевдослучайных чисел машинного датчика.
7. Какие способы моделирования некоррелированных случайных величин с заданным распределением плотности вероятностей вы знаете?
8. Нарисуйте предполагаемый вид плотности распределения вероятностей при моделировании гауссовского процесса по алгоритму (6) при $k = 1, 2, 3$ ...
9. Что такое гистограмма? Как ее построить по имеющимся результатам измерений?
10. Как оценить степень соответствия выборочного распределения заданному теоретическому?

Библиографический список

1. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В.В. Быков. М. : Сов. радио, 1971. 328 с.
2. Ермаков С.М. Статистическое моделирование / С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов. 2-е изд., доп. М. : Наука, 1982. 296 с.
3. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика / В.С. Пугачев. М. : Наука, 1979. 496 с.
4. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. 13-е изд., испр. М. : Наука, 1986. 544 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Значения χ^2_α, определяемые условием $p[\chi^2 > \chi^2_\alpha] = \alpha$, при различном числе степеней свободы m и вероятности α

m	α			
	0,05	0,01	0,005	0,001
5	11,1	15.1	16,8	20,5
6	12,5	16,8	18,9	22,5
7	14,1	18,5	20,3	24,3
8	15,5	20,1	22,0	26,1
9	16,9	21,7	23,6	27,9
10	18,3	23,2	25,2	29,6
11	19,7	24,7	26,8	31,3
12	21,0	26,2	28,3	32,9
13	22,4	27,7	29,8	34,5
14	23,7	29,1	31,3	36,1
15	25,0	30,6	32,8	37,7
16	26,3	32,0	34,3	39,3
17	27,6	33,4	35,7	40,8
18	28,9	34,8	37,2	42,3
19	30,1	36,2	38,6	43,8
20	31,4	37,6	40,0	45,3
21	32,7	38,9	41,4	46,8
22	33,9	40,3	42,8	48,3
23	35,2	41,6	44,2	49,7
24	36,4	43,0	45,6	51,2
25	37,7	44,3	46,9	52,6

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Принцип построения сервисного программного обеспечения

Работа выполняется в среде Borland C++ Builder 6.0 и состоит из двух этапов. На первом этапе создается программа на языке С (допускается использование расширений языка С++), реализующая алгоритмы созданных в ходе домашней подготовки моделей. На втором этапе работы проводится испытание разработанных алгоритмов с использованием сервисного программного обеспечения (ПО).

Сервисное ПО представляет собой windows-приложение с графическим пользовательским интерфейсом, обеспечивающим привычное управление (при помощи кнопок и полей ввода данных) и графическое представление результатов испытаний. Реализация пользовательского интерфейса полностью возложена на прилагаемое программное обеспечение, студенту требуется лишь подготовить исследуемые алгоритмы. Нужное функционирование обеспечивается при этом совместной работой двух модулей программного обеспечения – головного и пользовательского. Головной модуль в ходе работы не изменяется и отвечает за пользовательский интерфейс и построение всех необходимых графиков по результатам работы пользовательских функций (функций пользовательского модуля). Реализован в виде windows-приложения с исполняемым файлом ***cmreslab1.exe***. Пользовательский модуль создается студентом и содержит код С++, реализующий алгоритмы в соответствии с лабораторным заданием. Пользовательский модуль компилируется средой в библиотеку ***mydll.dll***, которая динамически подгружается при работе головным модулем.

Алгоритм совместной работы модулей программного обеспечения обобщенно представлен блок-схемой на рис. П.3.1. Как следует из рисунка, ПО позволяет исследовать генераторы гармонических колебаний, датчики равномерно распределенных и гауссовых псевдослучайных чисел. Код датчика равномерно распределенных чисел при этом полностью реализован в головном модуле, для реализации остальных генераторов требуется предварительная подготовка пользовательских функций InitHarmRec, GetHarmSample и GetGaussRN, блок-схемы которых представлены в прил. 3.

При подготовке текста программ следует учитывать особенности использования указанных функций головным модулем: предполагается, что при вызове функция GetHarmSample возвращает только один отсчет моделируемого процесса, тогда как GetGaussRN должна возвращать заполненный массив. Кроме того, головным модулем моделируется ситуация многократного применения пользовательских алгоритмов. Для этого алгоритм генерации гармонического процесса вызывается дважды, а графики строятся по результатам только второго вызова.

Порядок работы с сервисным ПО

1. Запустить интегрированную среду Borland C++.
2. Открыть в указанном преподавателем каталоге проект mydll.bpr. Для этого следует выполнить команду меню File→Open Projekt…, в открывшемся окне перейти в заданный каталог, выбрать файл mydll.bpr и нажать кнопку *Open*. Откроется рабочий файл unit1.cpp, содержащий заготовки функций InitHarmRec, GetHarmSample и GetGaussRN. Исходный текст файла unit1.cpp представлен в прил. 4. Не нужно удалять либо переводить в комментарий эти «пустые» функции: до тех пор, пока тело функций не содержит кода, они играют роль «заглушек», которые позволяют головному модулю нормально функционировать.
3. Добавить код, реализующий алгоритмы генераторов. При редактировании рабочего файла не следует менять поведение функции DllEntryPoint, а также имена, типы и порядок следования формальных параметров функций InitHarmRec, GetHarmSample и GetGaussRN.

4. Оттранслировать библиотеку mydll.dll и запустить на счет головной модуль. Для этого можно воспользоваться командой меню Run→Run, клавишей F9 клавиатуры или кнопкой ▶ панели инструментов. Перед запуском необходимо проверить, правильно ли в настройках среды указан путь до исполняемого файла головного модуля. Откройте окно Run Parameters (команда меню Run→Parameters…) и проконтролируйте значение параметра Host Application. Параметр должен указывать на файл cmreslab1.exe, расположенный в том же каталоге, что и файлы текущего проекта. Если требуется коррекция, нажмите кнопку *Browse* и выберите правильный путь.
5. Исправить возникающие при трансляции и в ходе выполнения программы ошибки.
6. Выполнить лабораторную работу в соответствии с рабочим заданием. Интерфейс программного обеспечения описан в следующем пункте.

Краткая инструкция по работе с программным обеспечением

При старте головного модуля (файл ***cmreslab1.exe***) открывается окно моделирования гармонического процесса (рис. П.2.1). Окно содержит четыре кнопки, две заготовки графиков и поля для ввода параметров модели: Um – амплитуда моделируемой гармонической функции, Fi – начальная фаза (в градусах) и Nt – отношение периода гармонической функции к шагу дискретизации по времени.

Цикл моделирования реализации гармонического процесса запускается нажатием на кнопку *Построение графиков*. При этом правая часть окна заполняется графиками фрагментов смоделированных процессов. Ширина каждого фрагмента в точности соответствует одному периоду гармонического колебания моделируемого процесса. Первый фрагмент соответствует самому 1-му, второй – 50-му и третий – 100-му периоду моделируемого колебания.

Верхний график отражает текущее состояние двух процессов: моделируемого (кривая синего цвета) и ожидаемого, или расчетного (кривая красного цвета). Если графики процессов отличаются друг от друга слабо, то один график «накладывается» на второй и скрывает его. В результате видимым остается расчетный график, который выводится позже графика моделируемого процесса. На нижний график выводится текущее значение относительной ошибки на 1-м, 50-м и 100-м периодах моделирования. Относительная ошибка вычисляется как разница моделируемого и расчетного процессов, деленная на амплитуду колебания Um (кривая красного цвета).

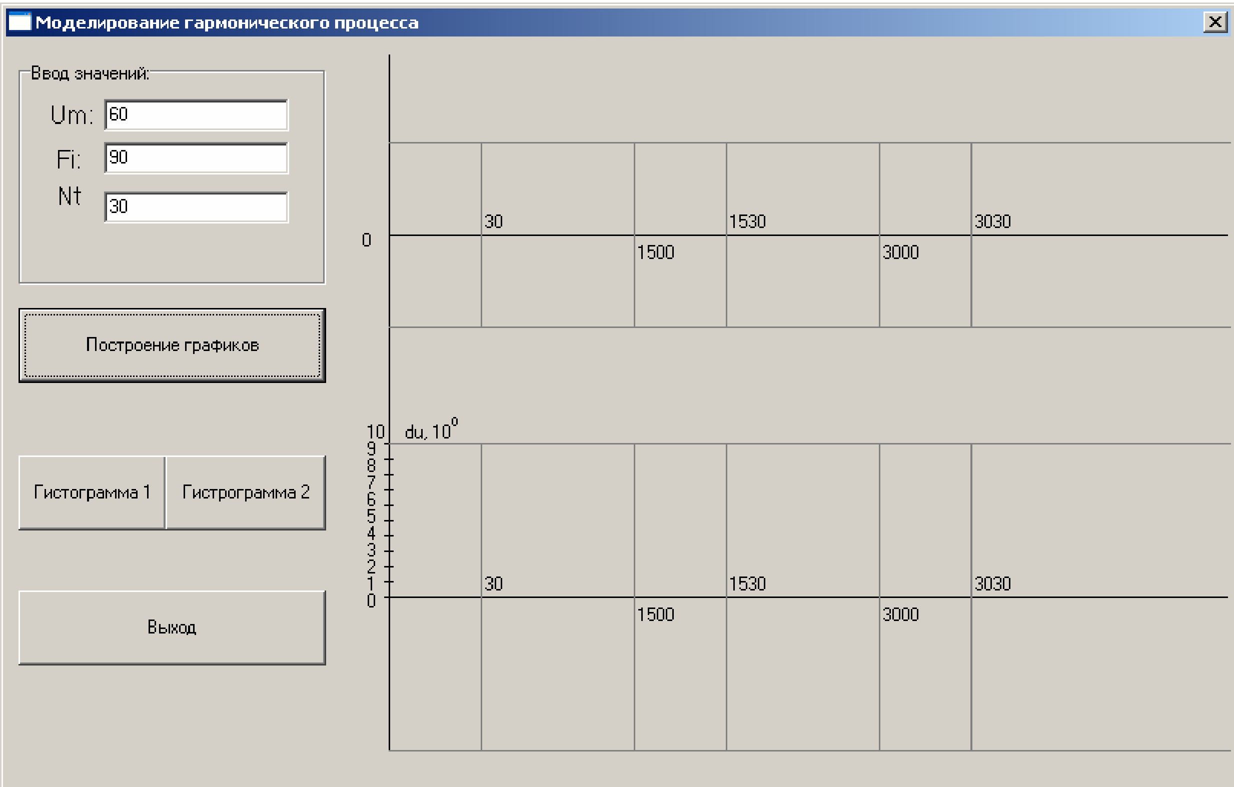

Рис. П.2.1 Окно моделирования гармонического процесса

На оси абсцисс обоих графиков указаны номера отсчетов начала и окончания выведенных фрагментов. На оси ординат отмечены расчетная амплитуда гармонического процесса и уровень текущей ошибки. Рядом с обозначением ошибки на нижнем графике (du) указан масштабирующий коэффициент (10^0 на рис. П.2.1); на этот коэффициент нужно умножить число, отложенное по оси ординат графика ошибки.

Кнопки *Гистограмма1* и *Гистограмма2* служат для перехода к окнам испытаний датчиков псевдослучайных чисел, кнопка *Выход* завершает работу приложения. Нажатие кнопки *Гистограмма1* открывает окно построения гистограммы и расчета статистических характеристик равномерно распределенных случайных чисел, кнопка *Гистограмма2* открывает аналогичное окно для чисел с гауссовским распределением. Строение окон одинаковое и отличается только набором вводимых параметров. Для чисел с равномерным распределением вводятся параметры NN – количество отсчетов в выборке, LL – число интервалов разбиения гистограммы, a и b – левая и правая границы интервала распределения случайных чисел. Для нормальных случайных чисел вместо a и b задаются параметры D – дисперсия и S – математическое ожидание.

При выборе значения NN следует учитывать, что головной модуль запрашивает для временного хранения данных память под массив размером NN элементов типа double. Если задать для NN слишком большое число, установленной в персональном компьютере оперативной памяти может оказаться недостаточно для удовлетворения запроса и программе будет выделена виртуальная память на жестком диске. Это существенно замедлит работу программы.

Цикл моделирования датчика случайных чисел запускается при нажатии кнопки *Построить*. Головной модуль получает из датчика NN псевдослучайных чисел, вычисляет математическое ожидание, дисперсию, статистику χ^2, строит и выводит на экран гистограмму. На рис. П.2.2 в качестве примера показано окно испытаний датчика гауссовых псевдослучайных чисел. Кнопка *Выход* закрывает текущее окно.

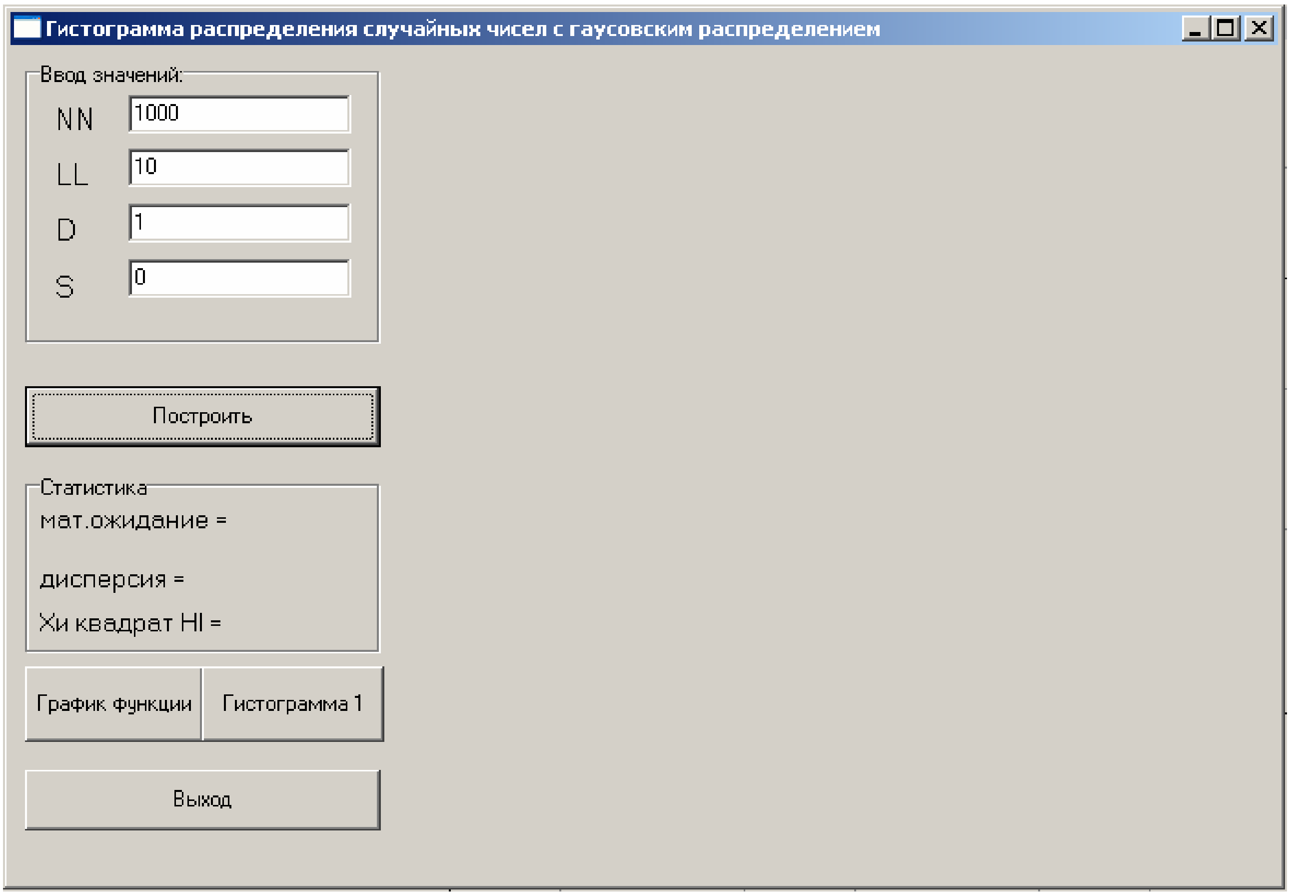

Рис. П.2.2. Окно испытаний датчика гауссовых псевдослучайных чисел

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

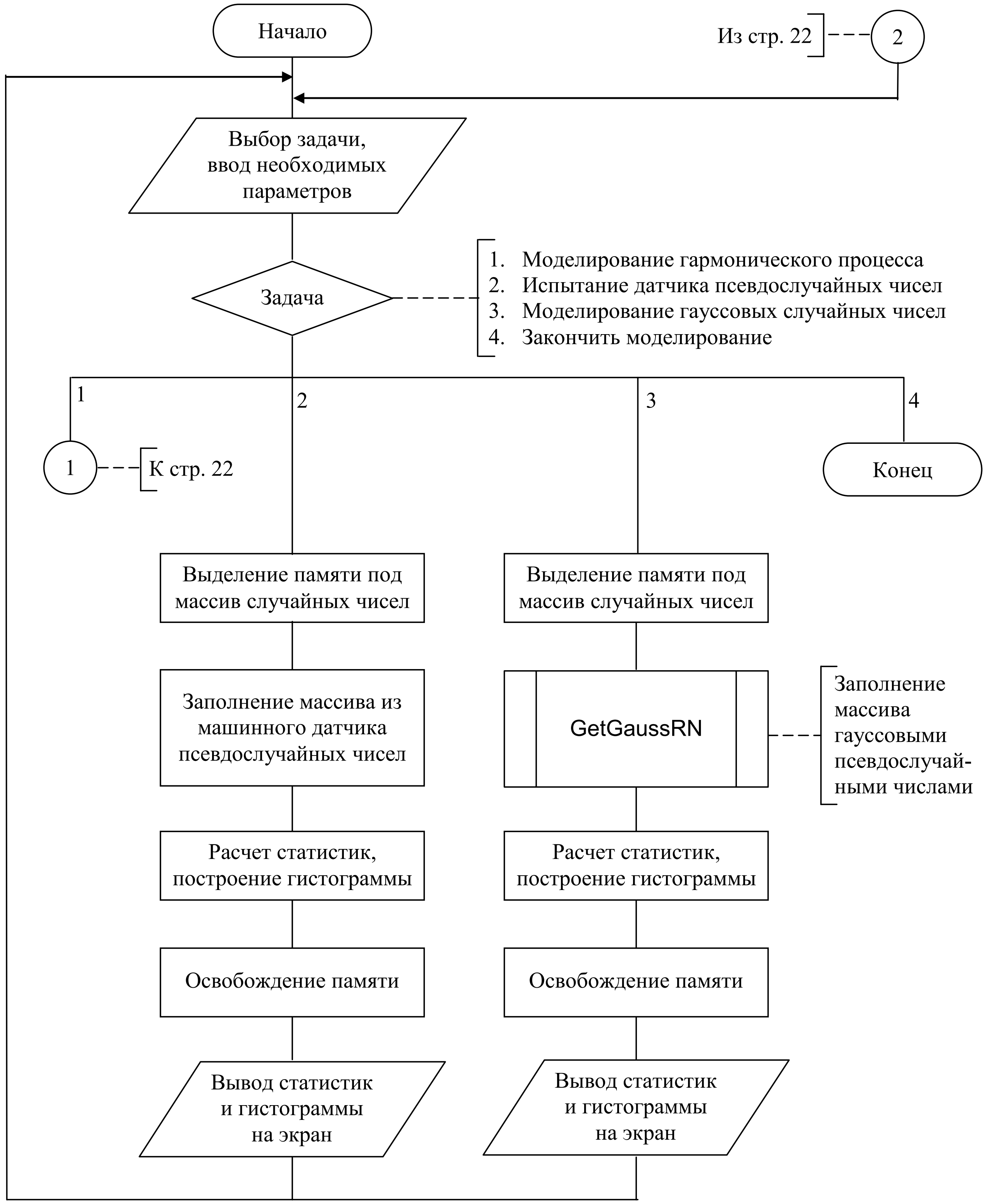

Рис. П.3.1. Блок-схема алгоритма работы модулей программного обеспечения

(продолжение см. на с. 22)

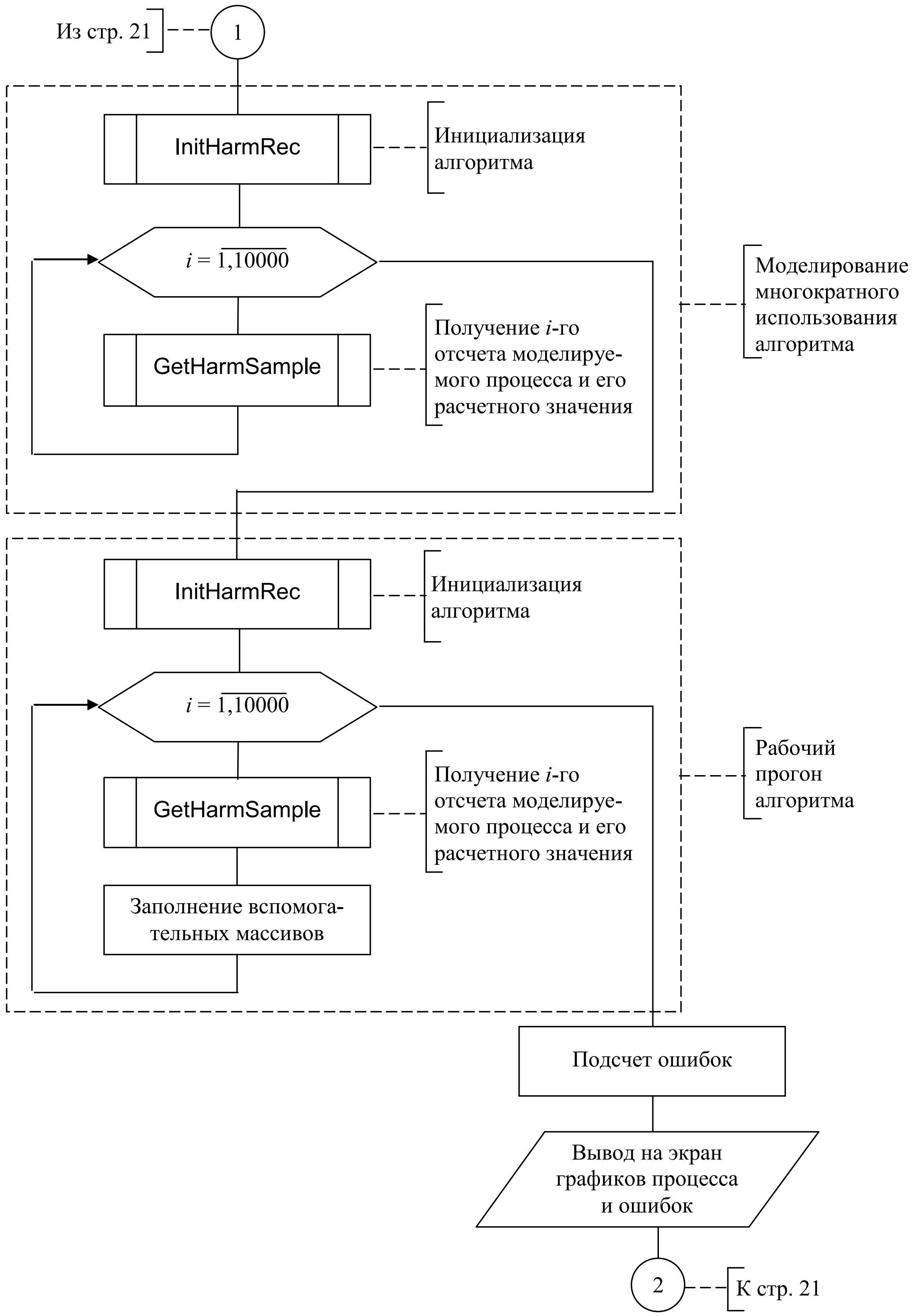
Из стр. 21
1
InitHarmRec
Инициализация алгоритма
i = 1,10000
GetHarmSample
Получение i-го отсчета моделируемого процесса и его расчетного значения
Моделирование многократного использования алгоритма
InitHarmRec
Инициализация алгоритма
i = 1,10000
GetHarmSample
Получение i-го отсчета моделируемого процесса и его расчетного значения
Заполнение вспомогательных массивов
Рабочий прогон алгоритма
Подсчет ошибок
Вывод на экран графиков процесса и ошибок
2
К стр. 21

Рис. П.3.2. Блок-схема программы инициализации алгоритма моделирования гармонической функции (функция InitHarmRec из библиотеки ***mydll.dll***)

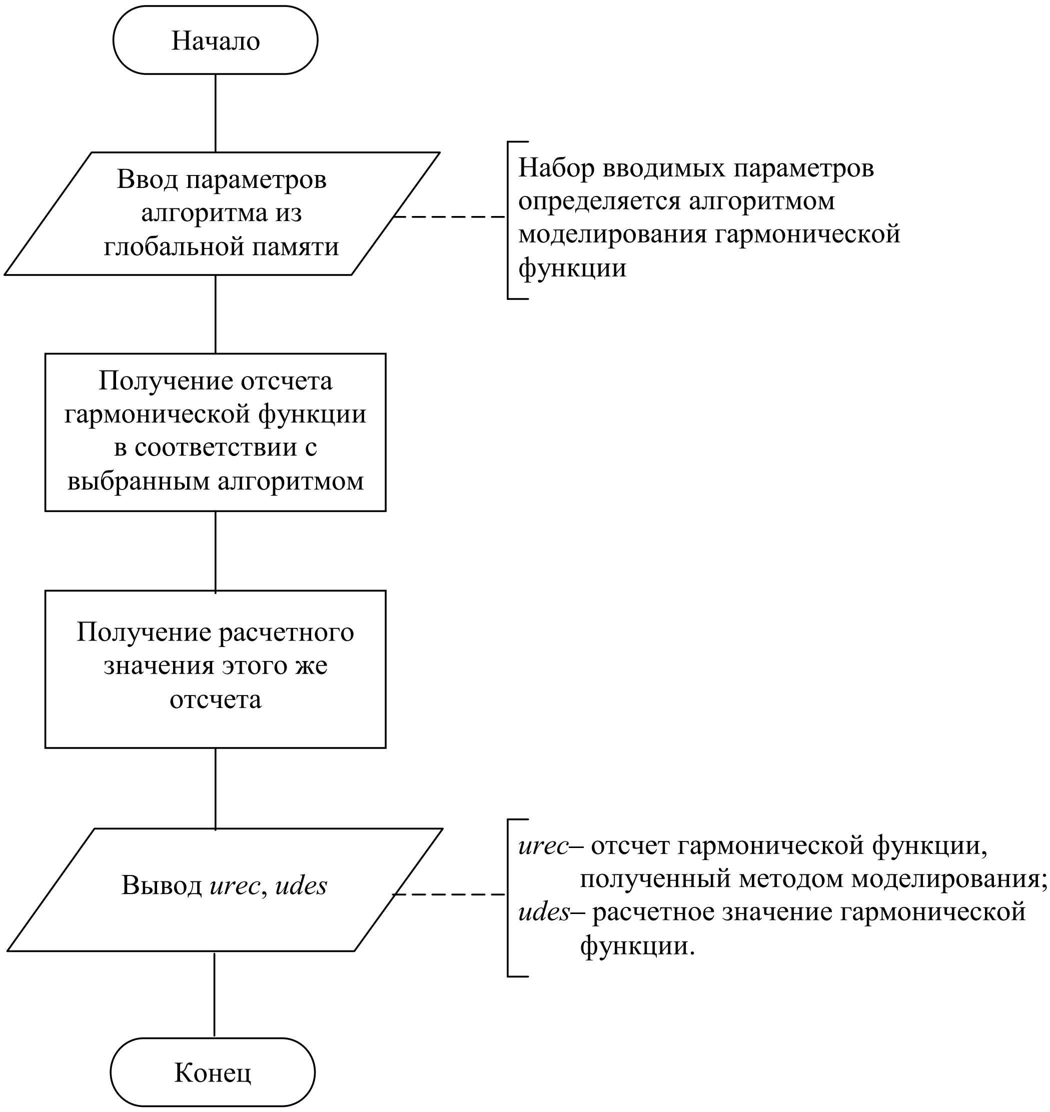

Рис. П3.3. Блок-схема программы моделирования гармонической функции (функция GetHarmSample из библиотеки ***mydll.dll***)

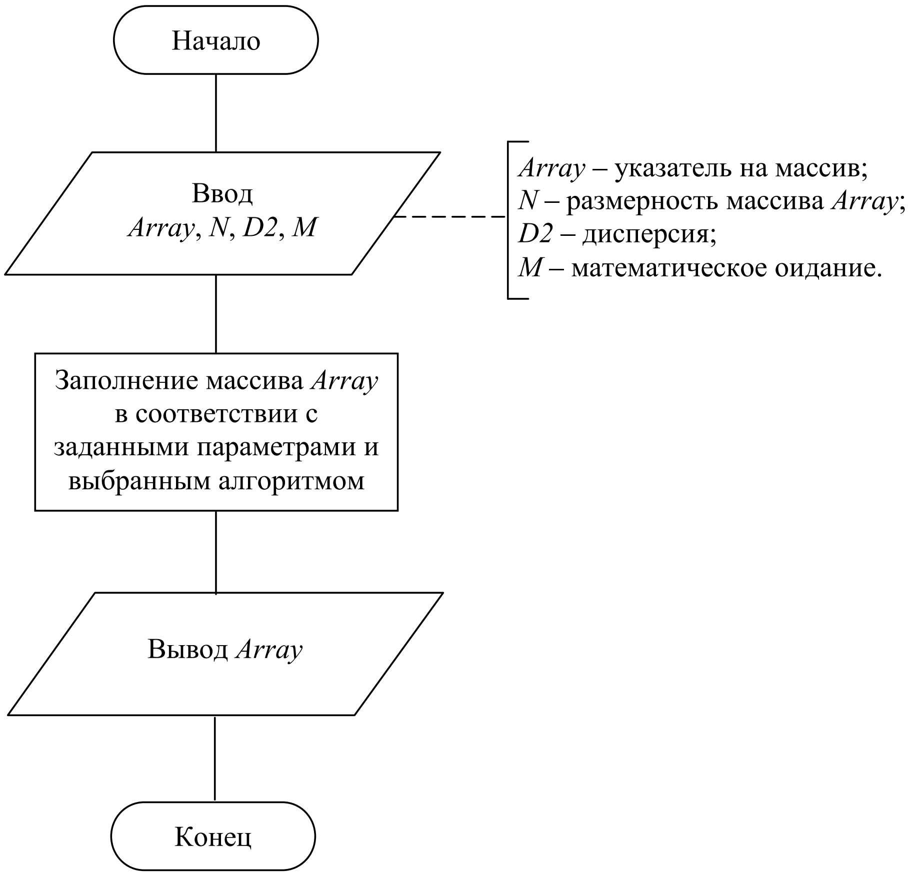

Рис. П.3.4. Блок-схема программы моделирования датчика псевдослучайных гауссовых чисел (функция GetGaussRN из библиотеки ***mydll.dll***)

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Исходный текст программы пользовательского модуля

```
//---------------------------------------------------------------------------
#include <clx.h>
#include <windows.h>
#include <math.h>
#include "unit1.h"
#pragma argsused
int WINAPI DllEntryPoint(HINSTANCE hinst, unsigned long reason, void*
lpReserved)
{
        return 1;
}
/*---------------------------------------------------------------------------
InitHarmRec(double Nt, double Um, double Fi)

Подпрограмма предназначена для инициализации параметров
рекуррентного алгоритма формирования отсчетов гармонической
функции (sin или cos). Подпрограмма вызывается один раз перед
последующими вызовами GetHarmSample.
Параметры:
  Nt - отношение периода функции к шагу дискретизации по времени;
  Um - амплитуда гармонической функции;
  Fi - начальная фаза (в градусах).

GetHarmSample(double* urec, double* udes)

Подпрограмма при каждом вызове должна возвращать один отсчет
```

```
гармонической функции, полученный рекуррентным методом и
расчетное значение функции в этой точке (полученное, например,
обращением к функции sin или cos библиотеки C).
Параметры urec и udes описываются как указатели:
  urec - отсчет гармонической функции, полученный рекур. методом;
  udes - расчетное значение гармонической функции.
*/

  void InitHarmRec(double Nt, double Um, double Fi)
 {
 }
  void GetHarmSample(double* urec, double* udes)
 {
 }

/*------------------------------------------------------------------------

GetGaussRN(double *Array, int N, double D2, double M)

Подпрограмма заполняет массив Array нормально распределенными
числами.
Параметры:
  Array - ссылка на массив;
  N - размерность массива;
  D2 - дисперсия чисел;
  M -  математическое оидание.*/

void GetGaussRN(double *Array, int N, double D2, double M)
{
}
```

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ

Составители Дмитриев Сергей Николаевич
Долматов Андрей Геннадьевич

Редактор *Е.А. Ишунина*

Компьютерный набор *А.Г. Долматов*

ИД № 06263 от 12.11.2001 г.

Подписано в печать 18.01.2007 Формат 60x84 1/16
Бумага писчая Плоская печать Усл. печ. л. 1,63
Уч.-изд. л. 1,1 Тираж 100 Заказ _____ Цена “С”

Редакционно-издательский отдел ГОУ ВПО УГТУ-УПИ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19