

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Т. Ю. Бугакова, П. Ю. Бугаков

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Методические указания по подготовке курсовой работы
для обучающихся по направлению подготовки
09.03.02 Информационные системы и технологии (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2022

УДК 004
Б90

Рецензент: кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *А. А. Колесников*

Бугакова, Т. Ю.

Б90 Моделирование систем : методические указания по подготовке курсовой работы / Т. Ю. Бугакова, П. Ю. Бугаков. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – 66 с. – Текст : непосредственный.

Методические указания подготовлены кандидатами технических наук, доцентами Т. Ю. Бугаковой на кафедре прикладной информатики и информационных систем и П. Ю. Бугаковым на кафедре картографии и геоинформатики СГУГиТ.

В методических указаниях изложены материалы для обеспечения эффективности самостоятельной работы обучающихся в процессе выполнения курсовой работы по дисциплине «Моделирование систем» для направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии (уровень бакалавриата) очной и заочных форм обучения. В работе представлено структурное описание, содержание теоретического и практического контента курсовой работы.

Методические указания рекомендованы к изданию научно-методическим советом Института геодезии и менеджмента СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 004

© СГУГиТ, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Разработка имитационной модели непрерывного дискрет- ного потока данных.....	6
1.1. Постановка цели моделирования системы.....	6
1.2. Концептуальная модель информационной системы	6
1.3. Описание объекта для моделирования информационной си- стемы	10
1.4. Математический алгоритм информационной системы.....	13
2. Разработка логической структуры модели системы	22
2.1. Разработка обобщенной блок-схемы	22
2.2. Разработка логической блок схемы	24
2.3. Разработка программной блок-схемы	25
2.4. Разработка детальной блок-схемы	25
3. Разработка и тестирование программы.....	27
3.1. Программная реализация информационной системы.....	27
3.2. Описание интерфейса информационной системы.....	31
3.3. Тестирование системы методом «черного ящика»	47
3.3.1. Понятие системы «черный ящик»	47
3.3.2. Имитация пространственно-временного состояния «Со- стояние покоя»	48
3.3.3. Имитация пространственно-временного состояния «По- ступательное равномерное движение»	50
3.3.4. Имитация пространственно-временного состояния «Скачок»	51
3.3.5. Имитации пространственно-временного состояния «Циклическое движение»	52
3.3.6. Проверка параметров точности системы	54
Заключение.....	60
Список литературы	61
Приложение.....	63

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологий строительства, совершенствование методов и инструментов контроля техногенных объектов не приводят к полному исчезновению проблемы техногенного риска и полной безопасности жизни и здоровья людей. Своевременное определение изменения пространственно-временного состояния (ПВС) техногенных объектов (ТО) необходимо для минимизации величины техногенного риска и предупреждения возможных аварийных и чрезвычайных ситуаций.

Для промышленных сооружений, таких как гидроэлектростанции, атомные электростанции, и других инженерных сооружений, представляющих потенциальную угрозу здоровью и жизни человека, выполняется непрерывный контроль их состояния. Это требуется для своевременного обнаружения деформаций различного рода, вызываемых не только деятельностью человека, конструктивными особенностями самого строения, но и влиянием внешних факторов.

Мониторинг пространственно-временного состояния техногенных объектов является одной из важнейших задач современной геодезии. Во избежание чрезвычайных ситуаций специалисты ведут постоянное наблюдение за состоянием зданий, сооружений или их конструктивных элементов. Наблюдения за деформациями начинаются с самого возведения, и продолжаются на протяжении всего строительства и эксплуатации объекта. Они представляют собой комплекс измерительных и описательных мероприятий по выявлению деформаций, определению их рода и причин их возникновения. Для оперативного сбора и обработки результатов геодезических измерений, выполненных в процессе наблюдения за объектом, необходимо специальное программное обеспечение, реализующее алгоритмы выявления и локализации деформационных процессов в его конструкции [1–5].

Для определения изменения состояния объекта в пространстве и времени необходимо иметь набор данных, которые получают в результате многократных циклов наблюдений за объектом. В настоящее время активно используются автоматизированные системы мониторинга, отслежи-

вающие положение объекта в любое время суток с заданным временным интервалом. Для этого в теле объекта закрепляются датчики, передающие сигнальную информацию о своем положении.

Целью курсовой работы является разработка информационной системы определения и контроля пространственно-временного состояния техногенного объекта на основе непрерывно-дискретного потока данных, передаваемых с автоматизированных систем мониторинга.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Разработать имитационную модель непрерывно-дискретного потока данных.
2. Разработать логическую структуру модели системы.
3. Выполнить программную реализацию информационной системы.
4. Провести тестирование информационной системы методом «черного ящика».
5. Выполнить оценку точности параметров модели системы.

Структура и содержание курсовой работы представлена в главах настоящих методических указаний.

В приложении представлен образец титульного листа отчета по курсовой работе, образец оформления задания к курсовой работе и графика выполнения.

1. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НЕПРЕРЫВНОГО ДИСКРЕТНОГО ПОТОКА ДАННЫХ

1.1. Постановка цели моделирования системы

Цель: разработка информационной системы определения и контроля пространственно-временного состояния техногенного объекта на основе непрерывно-дискретного потока данных с помощью языка программирования C#, интегрированной среды разработки Visual Studio 2022, платформы разработки Windows Forms и базы данных SQLite.

Задачи:

- 1) разработать имитационную модель непрерывно-дискретного потока данных;
- 2) разработать информационную систему определения и контроля пространственно-временного состояния техногенного объекта;
- 3) разработать логическую структуру системы;
- 4) выполнить программную реализацию информационной системы;
- 5) провести тестирование информационной системы методом «черного ящика»;
- 6) выполнить оценку точности параметров модели системы.

1.2. Концептуальная модель информационной системы

Концептуальная модель рассматривается как теоретическая основа при разработке моделей систем и отражает основные концепции принятия решения о построении модели [1]. Все элементы концептуальной модели определены в соответствии с целью и имеющимися ресурсами для моделирования, обозначены причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования. Обычно содержательная модель включает формулировку цели моделирования, характеристику взаимодействия объекта с внешней средой, перечень основных сведений об объекте моделирования, необходимых для достижения цели мо-

делирования, критерии оценки эффективности моделирования, формулировку возможных стратегий достижения цели моделирования при заданных условиях и ограничениях и т. д.

Объектом для построения концептуальной модели в курсовой работе является техногенный объект, созданный человеком в процессе производственно-хозяйственной деятельности и взаимодействующий с окружающей средой (здания, инженерные сооружения, мосты, туннели и т. д.).

Основой для определения пространственно-временного состояния материального объекта служит поток непрерывно-дискретных сигналов, поступающих с датчиков, закрепленных в теле объекта. Непрерывность потока сигналов обусловлена периодом наблюдения за объектом $T \rightarrow \infty$, дискретность определяется циклами измерений в моменты времени t передачи сигнала.

Наблюдение за реальными техногенными объектами производится геодезическими методами, включая автоматизированные системы мониторинга (АСМ). Автоматизированные системы мониторинга позволяют осуществлять постоянное удаленное наблюдение за сооружениями путем автоматизированных измерений контролируемых параметров через заданный интервал времени t и программного анализа полученных данных.

Достигается это путем установки разветвленной сети специального измерительного оборудования (датчиков) на объекте и автоматической обработкой поступающих сигналов.

Автоматизированная система мониторинга предназначена для автоматизированного наблюдения за объектом, контроля его состояния и передачи данных приемнику сигнальной информации с некоторой периодичностью. Полученные данные обрабатываются преобразователем сигналов и записываются в базу данных, после чего используются в расчетах для получения информации о состоянии объекта.

Общий принцип функционирования АСМ изображен на рис. 1.

Концептуальная модель представлена тремя основными блоками:

- имитационная модель работы АСМ;
- блок аналитики;
- блок управления (рис. 2).



Рис. 1. Принцип работы автоматизированной системы мониторинга

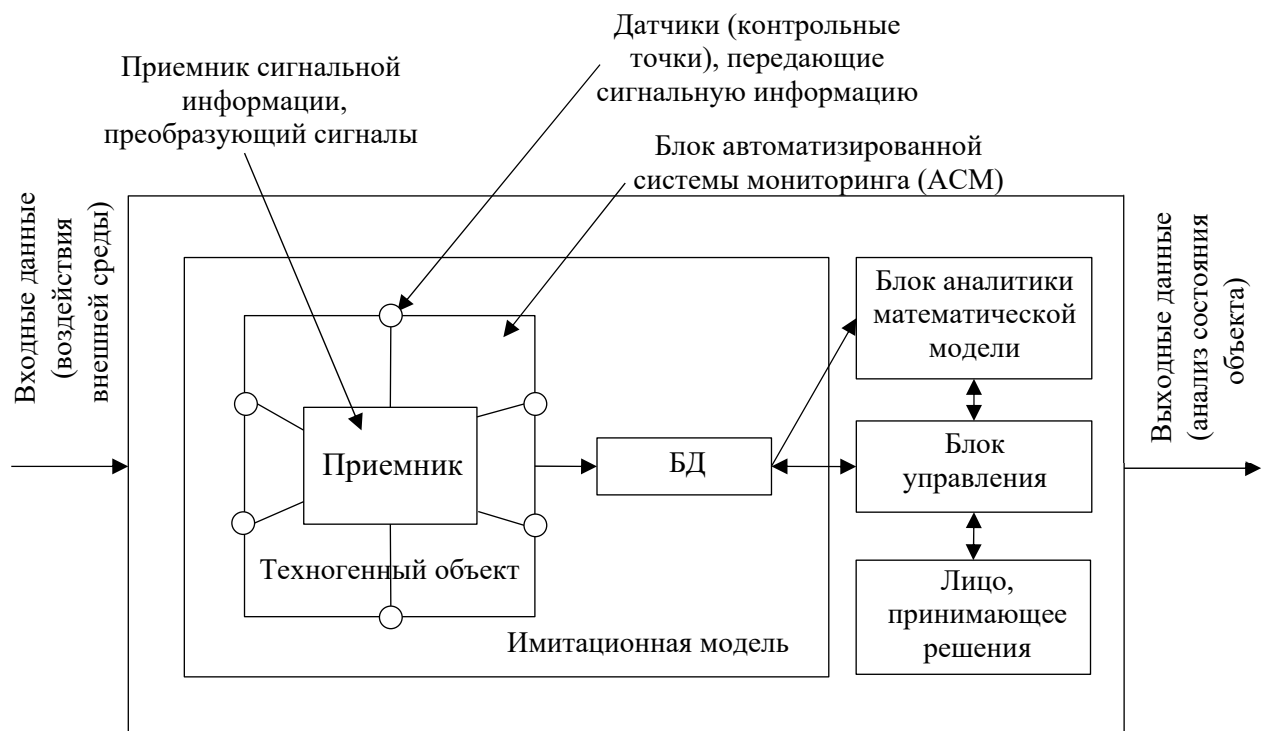


Рис. 2. Концептуальная модель информационной системы

Функционирование АСМ заменяется имитационной моделью, позволяющей генерировать непрерывно-дискретный поток сигнальной информа-

ции для наполнения базы данных (БД) координатами Z контрольных точек (датчиков), расположенных на техногенном объекте, и имитирует циклы измерений. Координаты Z контрольных точек определяют их положение в пространстве в вертикальной плоскости относительно неподвижной системы координат XYZ .

В блоке аналитики содержится математический алгоритм, основанный на принципах декомпозиции и агрегирования. Результаты оценки состояния из блока аналитики передаются в блок управления по запросу лица, принимающего решения (оператора).

Принцип работы информационной системы определения и контроля пространственно-временного состояния техногенного объекта на основе непрерывно-дискретного потока данных определяется совокупностью средств передачи данных и информации, нацеленных на пользователей в программной среде.

Сигналы с датчиков автоматизированной системы мониторинга с частотой F поступают в базу данных. Блок управления выполняет запрос к БД и направляет данные в блок аналитики для математической обработки. В блоке аналитики данные проходят через математический алгоритм, в результате чего формируется информация о пространственно-временном состоянии объекта. Эта информация отправляется в блок управления. Если состояние объекта не изменилось и находится в допустимых пределах, то лицо, принимающее решения (ЛПР), через интерфейс блока управления отправляет запрос к БД для анализа следующего цикла измерений. В случае прогнозирования предаварийного или аварийного состояния объекта ЛПР выполняет запрос к блоку аналитики для дальнейшего анализа структурных частей объекта на основе принципа декомпозиции для выявления пространственных параметров объекта, где произошли изменения, т. е. локализации места деформации. Декомпозиция имеет древовидную структуру. В данном случае объект рассматривается в виде системы контрольных точек, имеющей структурные особенности, привязанных к форме объекта. Процесс декомпозиции выполняется по схеме: анализ состояния всего объекта в целом, анализ состояния выделенных структурных частей (блоков) объекта, анализ состояния структурных элементов блоков (подблоков) объекта и далее декомпозиция выполняется до неделимого элемента – контрольной точки [2–8].

Определение состояния объекта для одного цикла измерений представляет собой одну реализацию информационной системы в один момент времени t .

Задание на курсовую работу:

- выполнить программную реализацию имитационной модели генерации непрерывно-дискретного потока сигнальной информации для наполнения базы данных координатами Z контрольных точек;
- выполнить программную реализацию блока аналитики;
- выполнить программную реализацию блока управления.

1.3. Описание объекта для моделирования информационной системы

В курсовой работе объект для моделирования определяется индивидуальным вариантом, который генерируется в программе Vargen, разработанной в Центре трансфера технологий СГУГиТ. Всего программа позволяет генерировать 100 вариантов заданий.

Для примера рассмотрим вариант № 56. Согласно этому варианту, моделируемый объект представляет собой жилое здание на монолитной плите, состоящее из трех структурных блоков.

Главное окно программы с результатом генерации данных для варианта 56 показано на рис. 3.

Для генерации данных для своего варианта индивидуального задания необходимо указать его номер в соответствующем текстовом поле и нажать кнопку «Сгенерировать вариант». При этом заполнится таблица, содержащая координаты Z контрольных точек объекта. На вкладке «Схема объекта» будет отображено графическое и текстовое описание объекта для моделирования, выполняемого в курсовой работе.

Координаты контрольных точек организованы в структуру, показанную в табл. 1.

Один цикл наблюдений представлен совокупностью высотных координат Z всех контрольных точек объекта. Количество циклов и контрольных точек объекта зависит от варианта и генерируется программой Vargen автоматически.

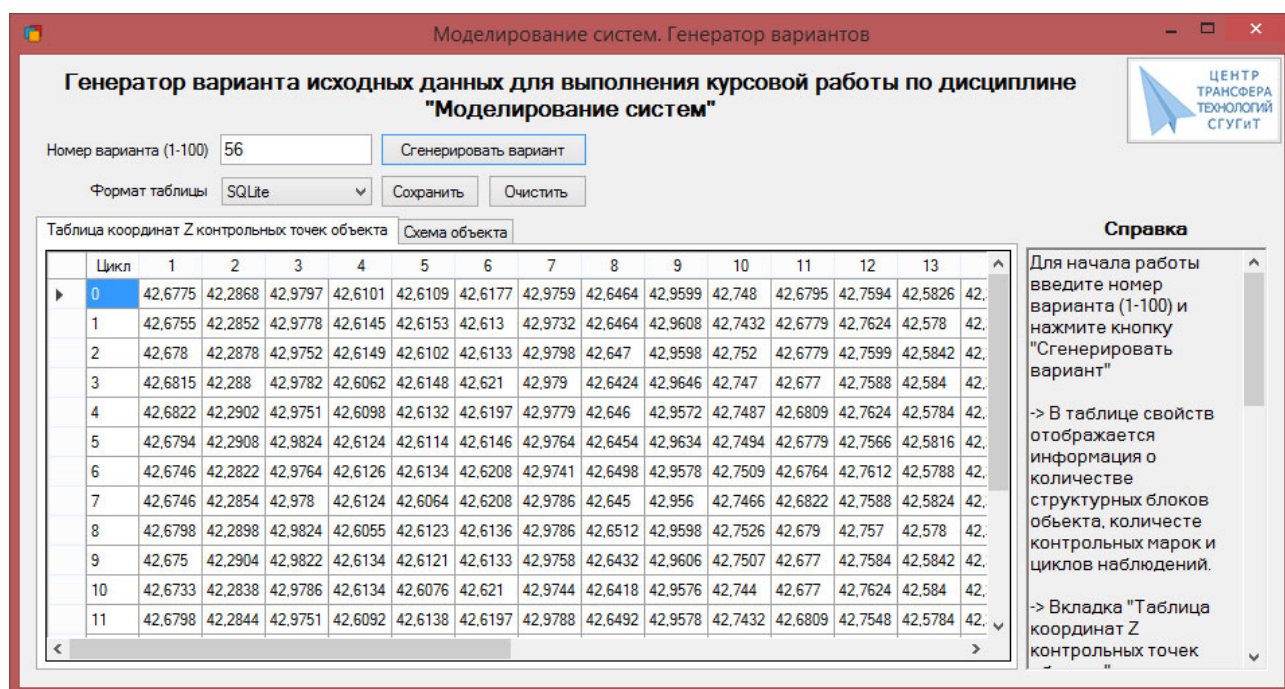


Рис. 3. Главное окно программы Vargen с данными для варианта № 56

Таблица 1

Структура таблицы координат контрольных точек

№ цикла	Точка 1	Точка 2	...	Точка m
0	Координата Z точки 1 в 0-м цикле наблюдений	...	...	Координата Z точки m в 0-м цикле наблюдений
...	...	...	...	...
n	Координата Z точки 1 в n -м цикле наблюдений	...	...	Координата Z точки m в n -м цикле наблюдений

Пример графической схемы и описания моделируемого объекта для варианта № 56 показан на рис. 4. На схеме объекта выделены и обозначены буквами его структурные блоки, которые будут исследоваться в курсовой работе отдельно как изолированные подобъекты. Кроме конфигурации структуры объекта, количества контрольных точек и циклов наблюдений программа Vargen генерирует значение погрешности измерений.

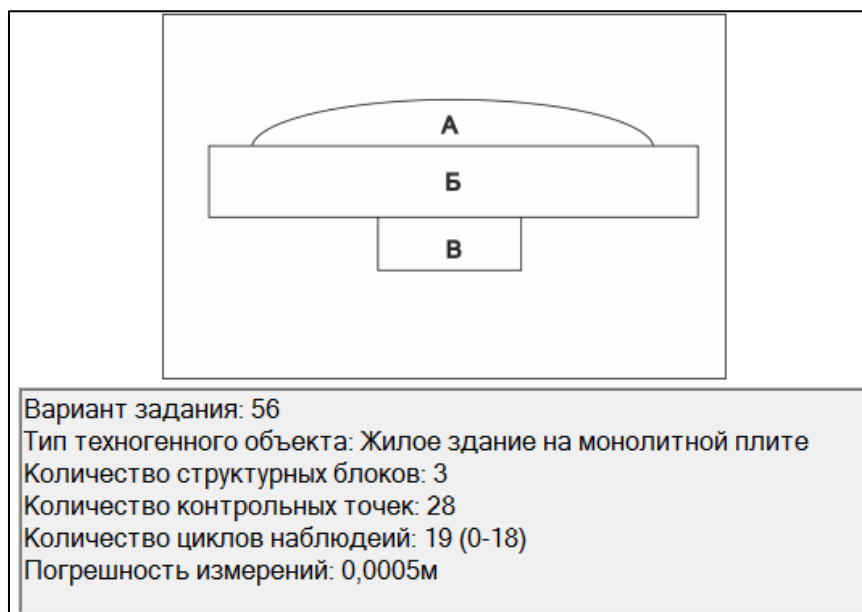


Рис. 4. Пример генерации схемы объекта и его описания для варианта № 56

Для того чтобы приступить к выполнению курсовой работы, необходимо сохранить все сгенерированные данные в отдельной папке. Для этого требуется выбрать формат таблицы, нажать кнопку «Сохранить» и выбрать место для сохранения папки с данными по варианту.

По умолчанию программа сохраняет табличные данные в формате SQLite, однако имеется возможность выбрать формат MDB (MS Access) или CSV (рис. 3). Схема объекта сохраняется в файле растровой графики PNG. Описание объекта моделирования записывается в текстовый документ TXT. В рассматриваемом примере табличные данные сохранены в формате SQLite.

Программа Vargen оснащена краткой справочной информацией, которая выводится в правой части окна (рис. 3). Данная справка может быть полезной для обучающихся заочной формы обучения, выполняющих курсовую работу в рамках дисциплины «Моделирование систем» самостоятельно.

После сохранения данных необходимо открыть схему моделируемого объекта в любом графическом редакторе и расставить контрольные точки по внешним границам структурных блоков. На всех блоках должно равномерно располагаться одинаковое количество точек. Если их количество не кратно количеству блоков, то оставшиеся точки расставляются произволь-

ным образом. Все точки на схеме пронумеровываются. На рис. 5 представлен пример схемы объекта с нанесенными контрольными точками.

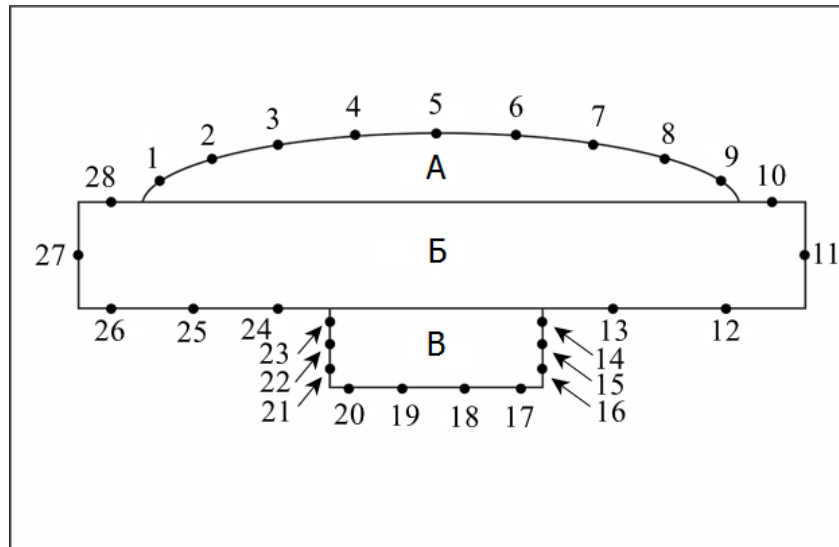


Рис. 5. Схема объекта с расставленными контрольными точками

1.4. Математический алгоритм информационной системы

В качестве исходных данных для математического алгоритма используется таблица с циклами измерений координат Z контрольных точек объекта (табл. 2), закрепленных на исследуемом объекте, значение допустимой точности выполненных измерений E , а также коэффициент экспоненциального сглаживания A , используемый при прогнозировании состояния техногенного объекта. Координаты Z всех контрольных точек передаются в БД в дискретные моменты времени t в соответствии с частой измерений F . Измерение координат Z контрольных точек в один момент времени t называется циклом и представлен в таблице отдельной строкой, а количество полей соответствует количеству контрольных точек [9–12].

Математический алгоритм определения пространственно-временного состояния объекта на каждом уровне декомпозиции имеет следующую структуру операций.

1. Определение функции $S(t)$, характеризующей изменение состояние объекта.
2. Прогнозирование функции $S(t)$.
3. Оценка функции $S(t)$.

Функция $S(t)$ определяет изменение пространственно-временного состояния объекта в моменты времени $t = 0, 1, 2 \dots n$, где n – количество циклов измерений, и представляет собой фазовую траекторию в фазовом пространстве, полученную в результате операции агрегирования дискретно-непрерывного потока данных.

Фазовое пространство – это математическое n -мерное пространство, где каждому свойству объекта сопоставляется своя координатная ось, а каждая точка которого соответствует одному и только одному состоянию из множества всех возможных состояний системы. В качестве свойств в математическом алгоритме приняты координаты Z контрольных точек объекта в момент времени t .

Значение функции $S(t)$ в момент времени t определяется точкой в фазовом пространстве, называется фазовой точкой и представляет собой одно состояние объекта (системы контрольных точек). Таким образом, функция $S(t)$ – это след от перемещения фазовой точки в фазовом пространстве, который представляет собой фазовую траекторию, характеризующую изменение состояния объекта. Фазовая траектория по сути представляет собой математическую модель функции отклика системы на внешние воздействия [13–15].

Выполнение операций математического алгоритма определения пространственно-временного состояния объекта

1. Определение функции $S(t)$.

Согласно определению, состояние объекта на момент времени t определяется совокупностью его свойств в этот момент времени. В качестве свойств объекта принимается множество координат Z контрольных точек объекта. Таким образом, применяя процедуру агрегирования, состояние объекта представляется точкой в фазовом пространстве с координатами Z_i , где $i (1, 2 \dots m)$ – номер контрольной точки объекта одного цикла измерений $k = 0, 1 \dots n$.

$$P_k(t) = \{Z_{k,1}(t), Z_{k,2}(t), \dots, Z_{n,m}(t)\}, \quad (1)$$

где Z – координата контрольной точки; k ($0, 1 \dots n$) – номер цикла измерения, соответствующий моменту времени t ; i – номер контрольной точки. Размерность фазового пространства зависит от количества учитываемых свойств, т. е. от количества m координат Z контрольных точек.

Для построения функции $S(t)$ в двумерном пространстве необходимо преобразовать формулу (1) к векторному представлению

$$\overline{P_k(t)} = \{\overline{Z_{k,1}(t)}, \overline{Z_{k,2}(t)}, \dots, \overline{Z_{n,m}(t)}\}. \quad (2)$$

Вектор определяется в пространстве длиной μ и направлением α . Таким образом координатами фазовой точки в момент времени t , характеризующими состояние объекта в фазовом пространстве, будут значения μ и α , а функция (1) будет иметь вид

$$\overline{S_k(t)} = \{\overline{\mu_k(t)}, \overline{\alpha_k(t)}\}. \quad (3)$$

Положение объекта в двумерном пространстве определяется по фазовым координатам μ и α .

Длина вектора вычисляется по формуле

$$\mu_k = |\overline{P_k}| = \sqrt{Z_{k,1} + Z_{k,2} + \dots + Z_{n,m}}. \quad (4)$$

Угол между векторами вычисляется по формуле

$$\alpha_k = \arccos\left(\frac{\overline{P_0} \cdot \overline{P_k}}{|\mu_0| \cdot |\mu_k|}\right). \quad (5)$$

По рассчитанным фазовым координатам вычисляются значения фазовых координат функции $S_k(t) - \mu_k(t)$ и $\alpha_k(t)$ (табл. 2).

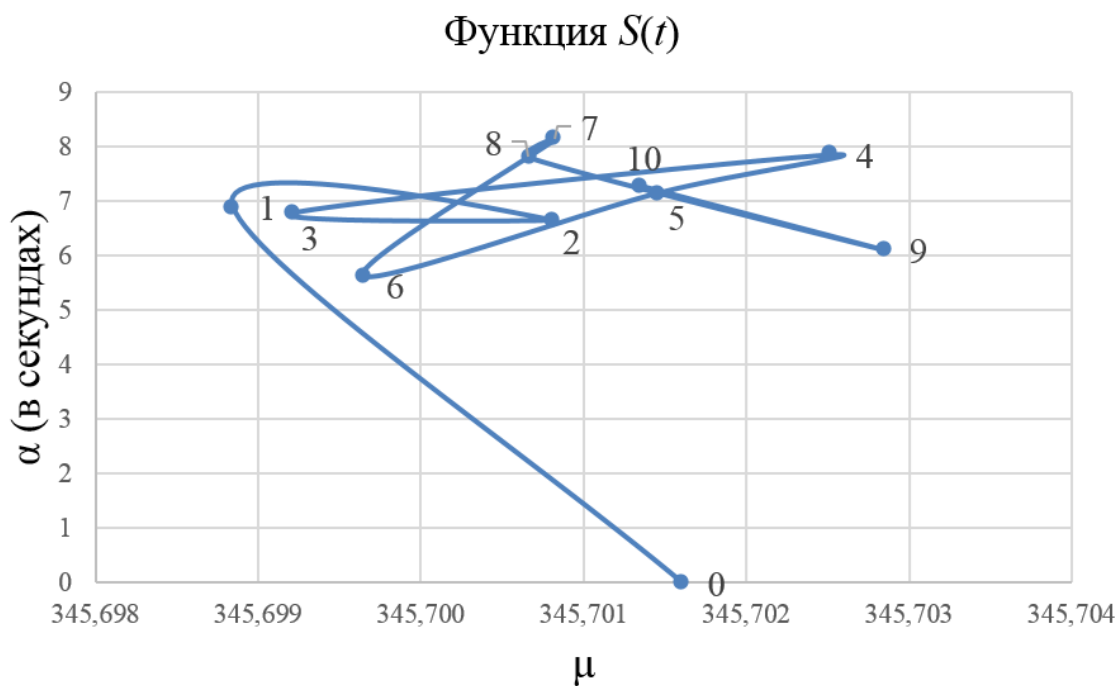
Состояние объекта определяется в фазовом пространстве, определенном осями μ и α , т. е. фазовое пространство инвариантно и определено прямоугольной системой координат.

Строится график функции $S_k(t)$ (рис. 6).

Таблица 2

Расчет фазовых координат функции $S(t)$

№ цикла измерений, k	1	2	3	4	5	....	m	$\mu_i(t)$	$\alpha_i(t)$
0	70,0389	70,8655	70,1146	70,1112	70,3353	....	70,3861	345,701603	0
1	70,0388	70,8622	70,1156	70,1112	70,3367	....	70,3888	345,698841	0,00003351
2	70,0379	70,8681	70,1132	70,1072	70,335	....	70,3899	345,700806	0,00003232
3	70,0373	70,8684	70,1112	70,1091	70,3338	....	70,3869	345,699217	0,00003295
4	70,0377	70,8619	70,1149	70,1115	70,3312	....	70,3866	345,702514	0,00003812
5	70,0368	70,8661	70,1133	70,1132	70,3336	....	70,3831	345,701452	0,00003471
6	70,0363	70,8648	70,1161	70,1127	70,3316	....	70,3863	345,699646	0,00002732
7	70,0407	70,8611	70,1156	70,114	70,3367	....	70,3831	345,700824	0,00003951
8	70,039	70,8614	70,1109	70,1122	70,332	....	70,3874	345,700662	0,00003788
....									
n	70,0355	70,8648	70,1184	70,1138	70,338	70,2672	70,3847	345,701341	0,00003538

Рис. 6. График функции $S(t)$

2. Прогнозирование функции $S(t)$.

Прогнозирование функции $S(t)$ выполняется методом экспоненциального сглаживания, математическая модель которого определена формулой

$$S(t)_{\text{пр}} = A \cdot y_t + (1 - A) \cdot S_{t-1}, \quad (6)$$

где $S(t)_{\text{пр}}$ – прогнозная функция; A – коэффициент экспоненциального сглаживания, $A \in [0, 0.1, 0.2..1]$; y_t – значение реальной функции $S(t)$; S_{t-1} – значение прогнозной функции для предыдущего момента времени.

Величина $S(t)_{\text{пр}}$ является линейной комбинацией всех измерений, вес которых убывает по геометрической прогрессии со временем. Текущее наблюдение имеет вес A . Коэффициент $A = 0$ означает, что функция y_t настолько стабильная, что можно не использовать новую информацию о процессе. Напротив, $A = 1$ означает, что предшествующей информации о процессе доверять нельзя. Точность и скорость реакции системы на изменение в модели зависят от величины постоянной сглаживания A . Малая величина A обеспечивает большую точность оценки при неизменной модели, но медленную реакцию на изменение в модели, а увеличение A будет способствовать увеличению скорости этой реакции.

Прогнозные функции для фазовых координат $\mu(t)$ и $\alpha(t)$ вычисляются для четырех коэффициентов прогнозирования $A = 0,1; 0,4; 0,7; 0,9$. Пример вычисления прогнозных функций в Excel приведен в табл. 3.

Таблица 3

Пример вычисления прогнозных функций в Excel

Цикл наблюдения, k	$\mu(t)$	Коэффициент экспоненциального сглаживания A			
		0,1	0,3	0,7	0,9
0	199,786845	199,785740	199,785986	199,786477	199,786722
1	199,783173	199,785483	199,785142	199,784164	199,783528
2	199,784210	199,785356	199,784862	199,784196	199,784142
3	199,785138	199,785334	199,784945	199,784855	199,785038
4	199,790574	199,785858	199,786634	199,788858	199,790020
5	199,785302	199,785802	199,786234	199,786369	199,785774
6	199,786070	199,785829	199,786185	199,786159	199,786040
7	199,785873	199,785833	199,786091	199,785959	199,785890
8	199,783057	199,785555	199,785181	199,783927	199,783340
9	199,786148	199,785614	199,785471	199,785482	199,785867
10	199,785404	199,785593	199,785451	199,785427	199,785450
11	Прогноз	199,785597	199,785512	199,785565	199,785602

Графики прогнозных функций представлены на рис. 7.

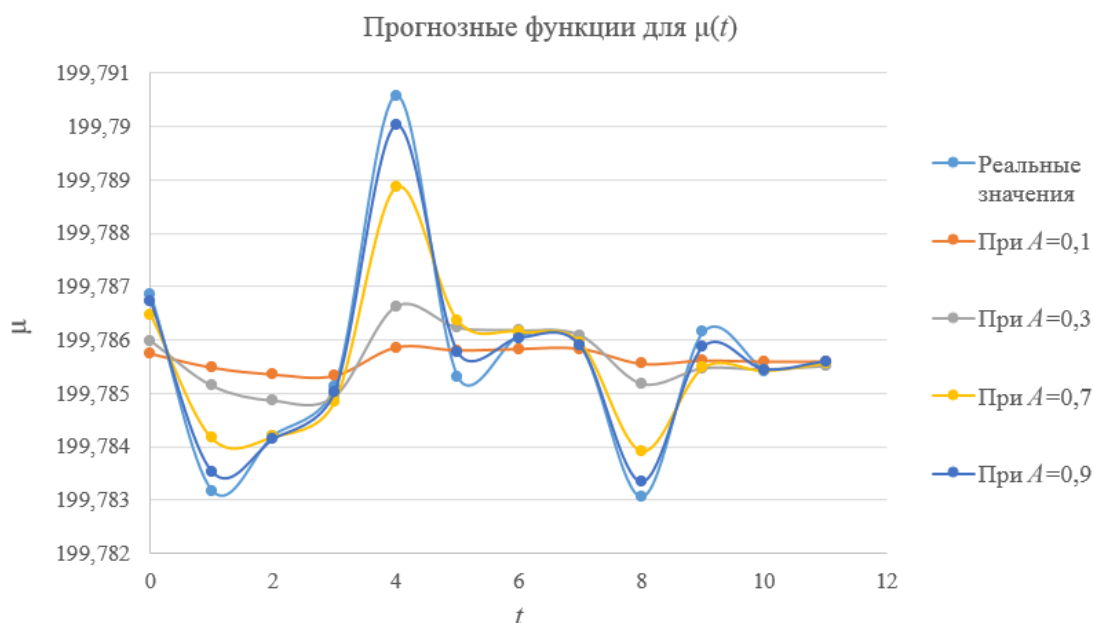


Рис. 7. Пример вычисления прогнозных функций в Excel

3. Оценка функции $S(t)$.

Пространственно-временное состояние объекта может изменяться или не изменяться в зависимости от внешних воздействий на объект. Задача оценки функции $S(t)$ состоит в том, чтобы определить значимость этого изменения и определить предельно безопасные границы состояния объекта. Для этого необходимо определить величину отклонения текущего значения состояния от начального (нулевого) состояния $\Delta S = |S_k - S_0|$. Если ΔS не будет превышать величину некоторого допустимого значения R , т. е. $\Delta S < R$, то состояние рассматривается как неизменяемое; в случае $\Delta S = R$ состояние будем считать предаварийным; при $\Delta S > R$ – аварийным.

Величина R – это радиус окружности в фазовом пространстве с началом в фазовой точке S_0 начального (нулевого) состояния объекта (рис. 8).

Состояние внутри окружности классифицируется как неизменяемое (S_1), на границе окружности – предаварийное (S_3), за пределами окружности – аварийное (S_2, S_4, S_5, S_n).

Величина радиуса определяется как длина вектора и вычисляется следующим образом.

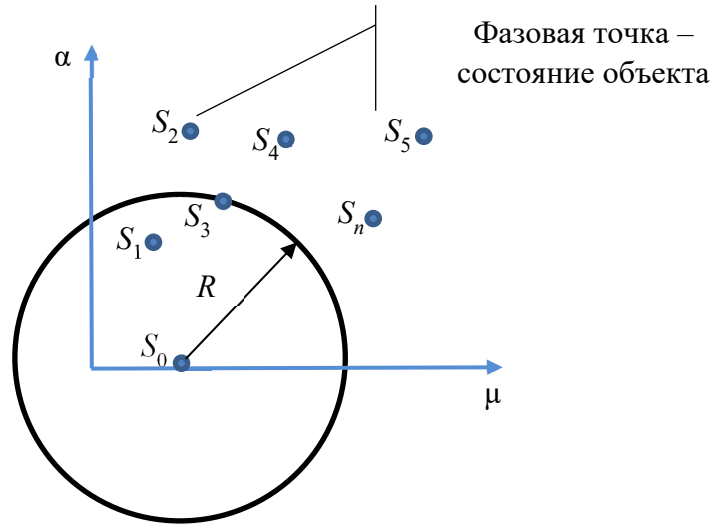


Рис. 8. Радиус окружности в фазовом пространстве

Погрешность E координат Z_i определяет предельно возможное изменение положение каждой контрольной точки в вертикальной плоскости. Для вычисления радиуса R необходимо установить соотношение между величиной E в декартовом пространстве и R в фазовом.

Формулы для вычисления нижней и верхней границы предельных изменений координат Z :

$$Z_{k,i}^+ = Z_{k,i} + E; \quad (7)$$

$$Z_{k,i}^- = Z_{k,i} - E. \quad (8)$$

По значениям (7) и (8), применяя формулы (4) и (5), вычисляем значения $\mu_k^\pm$ и $\alpha_k^\pm$.

Значение R вычисляется как разность предельных значений фазовых координат

$$R_k = \frac{|\mu_k^+ - \mu_k^-|}{2}. \quad (9)$$

Для определения и классификации состояния объекта определяются условия: $L_k = |\mu_k - \mu_0| < R_k$ – состояние объекта классифицируется как неизменяемое; $L_k = |\mu_k - \mu_0| = R_k$ – состояние объекта классифицируется как

предаварийное; $L_k = |\mu_k - \mu_0| > R_k$ – состояние объекта классифицируется как аварийное.

Пример расчетов предельных значений и оценки состояния объекта приведен в табл. 4. Для наглядности и контроля строится график фазовых траекторий для функции $S(t)$, и предельных $S^+(t)$ и $S^-(t)$ (рис. 9).

Таблица 4

Расчеты предельных значений фазовых координат и оценка состояния

Цикл	μ^+	μ	μ^-	R	L	Состояние
0	345,701848	345,701603	345,701358	0,00048989	0	Неизменяемое
1	345,699086	345,698841	345,698596	0,00048989	0,0027614	Аварийное
2	345,701051	345,700806	345,700561	0,00048989	0,0007965	Аварийное
3	345,699462	345,699217	345,698972	0,00048989	0,0023854	Аварийное
4	345,702758	345,702514	345,702269	0,00048989	0,0009109	Аварийное
5	345,701697	345,701452	345,701207	0,00048989	0,0001508	Нормальное
6	345,699891	345,699646	345,699401	0,00048989	0,0019568	Аварийное
7	345,701069	345,700824	345,700579	0,00048989	0,0007788	Аварийное
8	345,700907	345,700662	345,700417	0,00048989	0,0009405	Аварийное
9	345,703086	345,702841	345,702596	0,00048989	0,0012385	Аварийное
10	345,701586	345,701341	345,701096	0,00048989	0,0002618	Неизменяемое
Прогноз	345,701177	345,700939	345,700698	0,00047861	345,7016	Аварийное

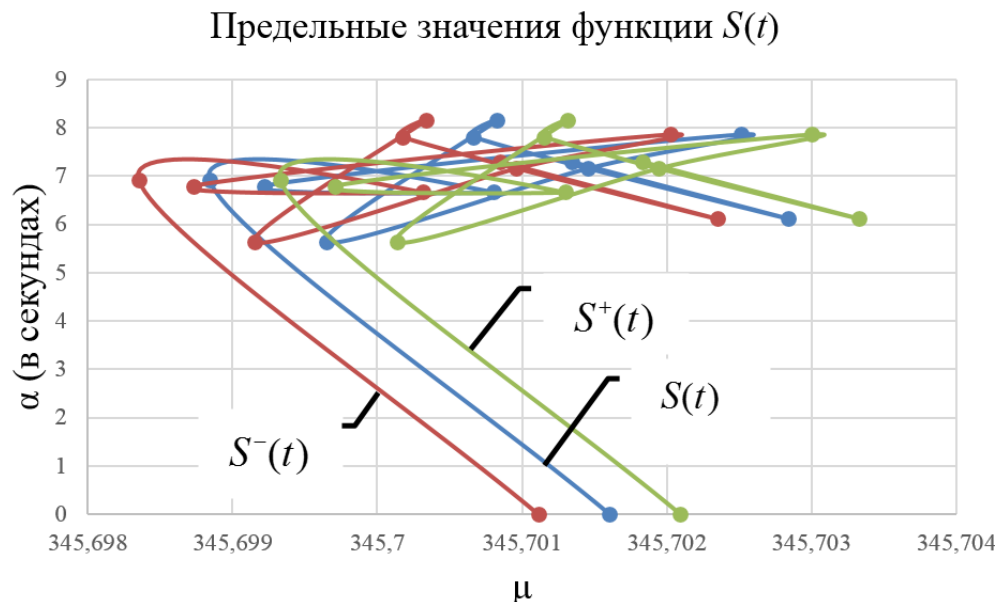


Рис. 9. График фазовых траекторий для функции $S(t)$ и предельных $S^+(t)$ и $S^-(t)$

Математический алгоритм определения пространственно-временного состояния объекта выполняется для всех уровней декомпозиции объекта. Количество уровней декомпозиции зависит от сложности формы объекта и его конструктивных элементов. Общий вид алгоритма представлен на рис. 10.

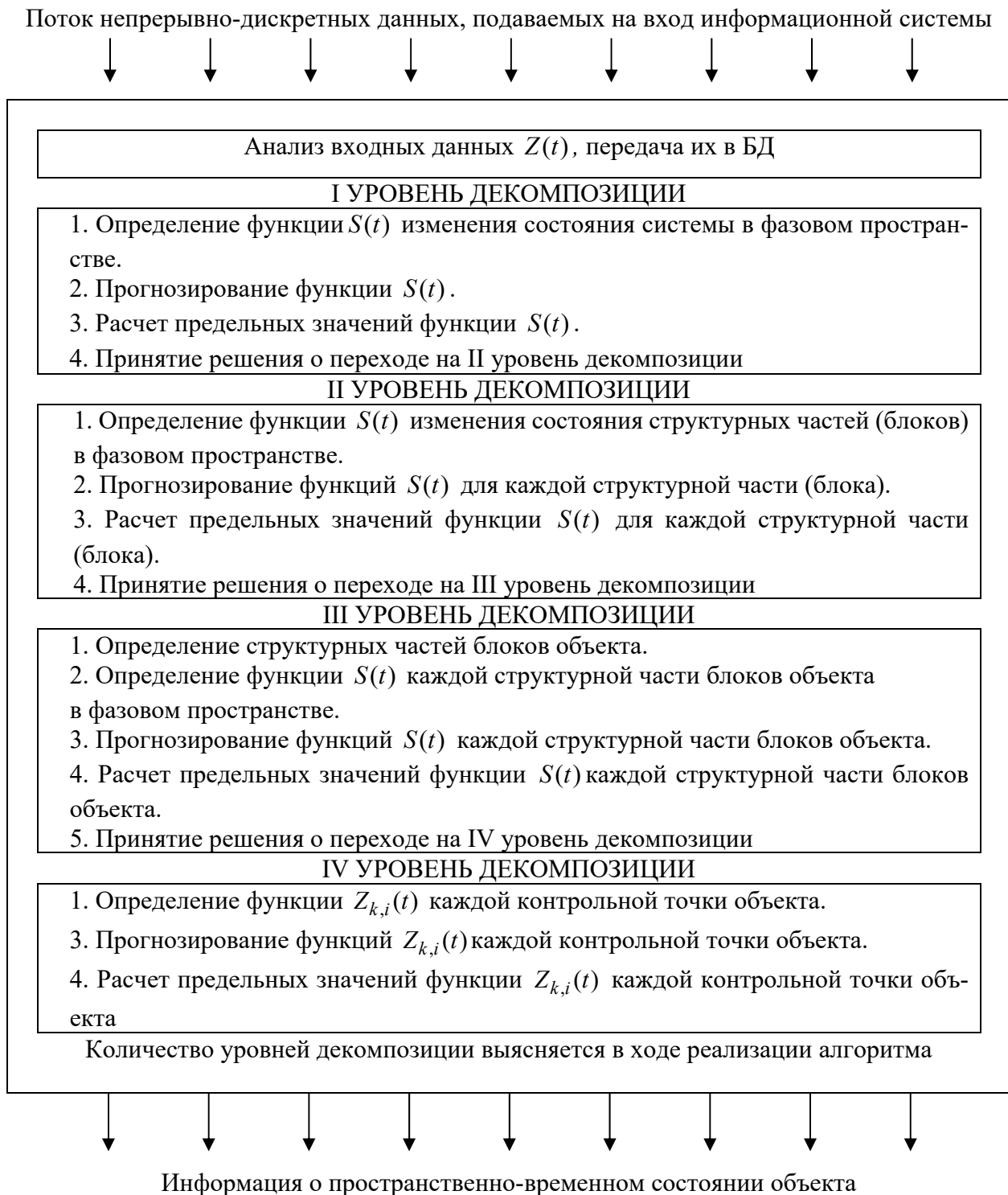


Рис. 10. Общий вид математического алгоритма определения пространственно-временного состояния объекта

2. РАЗРАБОТКА ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ

2.1. Разработка обобщенной блок-схемы

Для отчета по курсовой работе необходимо составить четыре блок-схемы:

- 1) обобщенную блок-схему программы;
- 2) логическую блок-схему функционирования программы;
- 3) детальную блок-схему (или блок-схемы) функционирования программы;
- 4) программную блок-схему.

Составление блок-схем необходимо выполнить в векторном редакторе, руководствуясь общими правилами оформления, описываемыми в ГОСТ 19.701–90 (ISO 5807:1985).

Обобщенная (укрупненная) схема моделирующего алгоритма задает общий порядок действий при моделировании системы без каких-либо уточняющих деталей. Обобщенная схема показывает, что необходимо выполнить на очередном шаге моделирования. Она имеет линейную структуру (без разветвлений и циклов) и показывает общий функциональный состав программы по уровням декомпозиции, при этом исходными данными для расчетов на каждом последующем уровне декомпозиции являются результаты, получаемые на предыдущем.

Обобщенная блок-схема должна содержать блоки ввода исходных данных, функциональные блоки, соответствующие уровням декомпозиции (их количество будет зависеть от того, сколько уровней фактически было реализовано), а также блоки вывода результатов работы программы. Блоки ввода / вывода должны сопровождаться комментариями с указанием файлового формата или формы представления данных. Комментарии функциональных блоков должны содержать перечень выполняемых действий. Пример обобщенной блок-схемы программного обеспечения, реализующего 1, 2 и 4 уровни декомпозиции, представлен на рис. 11.

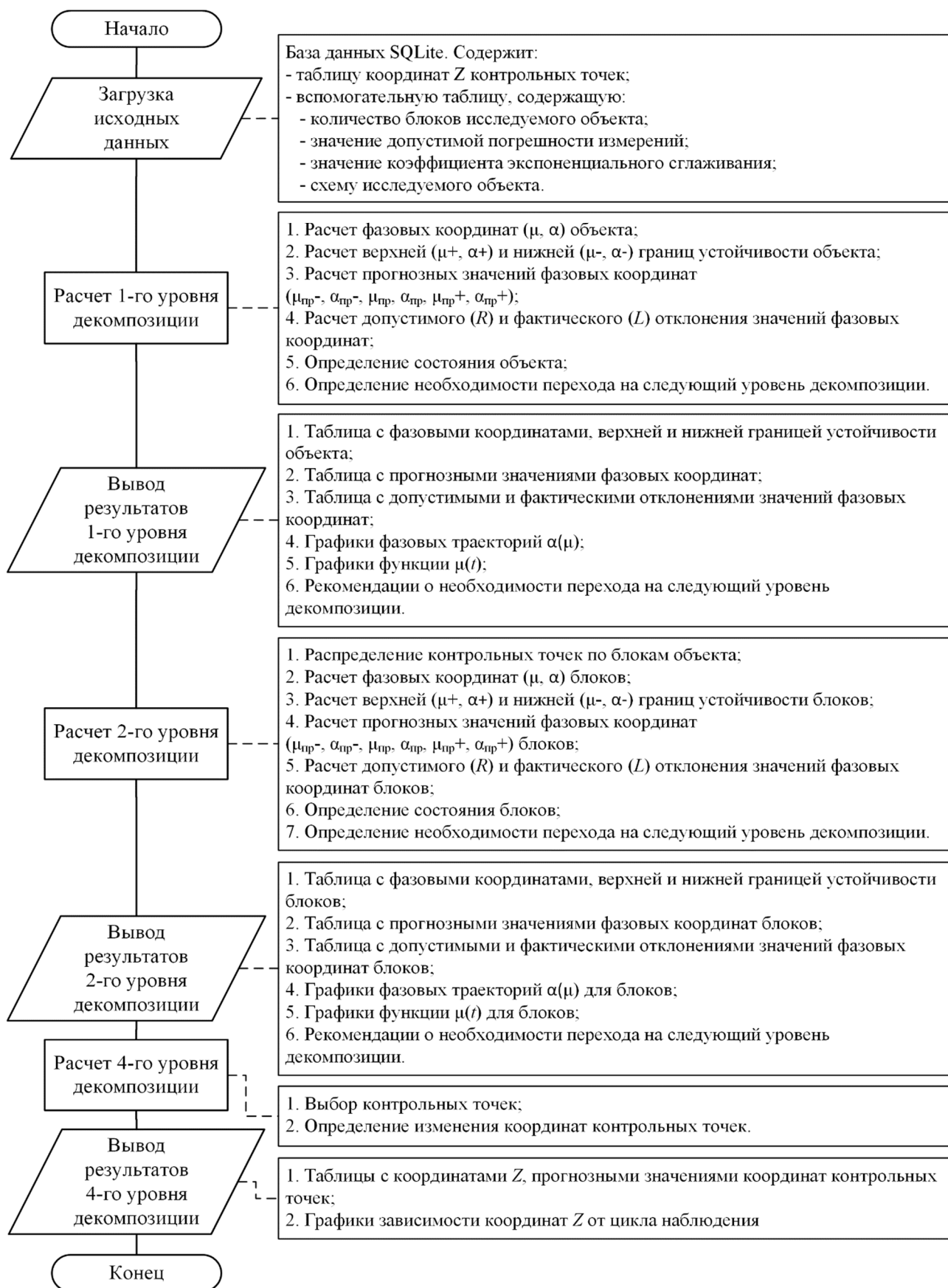


Рис. 11. Пример оформления обобщенной блок-схемы
(для 1, 2 и 4 уровней декомпозиции)

2.2. Разработка логической блок-схемы

Логическая блок-схема отражает порядок работы программы с точки зрения пользователя. Для отображения того или иного действия пользователя в блок-схеме используются условия. Фрагмент логической блок-схемы, показывающий пример реакции программы на действие пользователя, изображен на рис. 12.

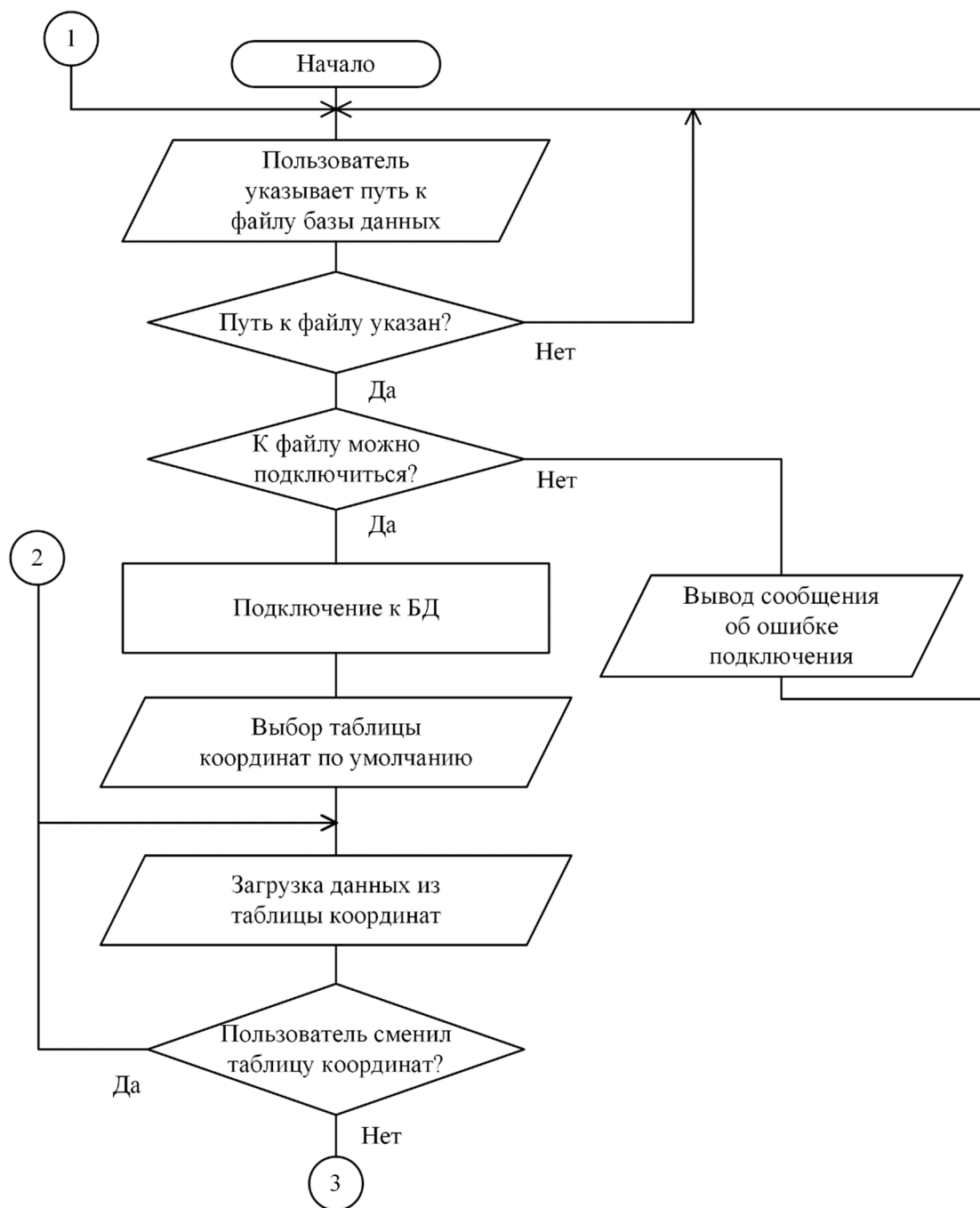


Рис. 12. Пример фрагмента логической блок-схемы

2.3. Разработка программной блок-схемы

Программная блок-схема изображает связь основных программных модулей или функций, показанных в виде детальных блок-схем. Вызов функций обозначается специальным блоком («Подпроцесс»), показанным на рис. 13, внутри которого записывается наименование функции. Для каждого подпроцесса подписывается ссылка на фрагмент программного кода.



Рис. 13. Блок «Подпроцесс»

Фрагмент программной блок-схемы показан на рис. 14.

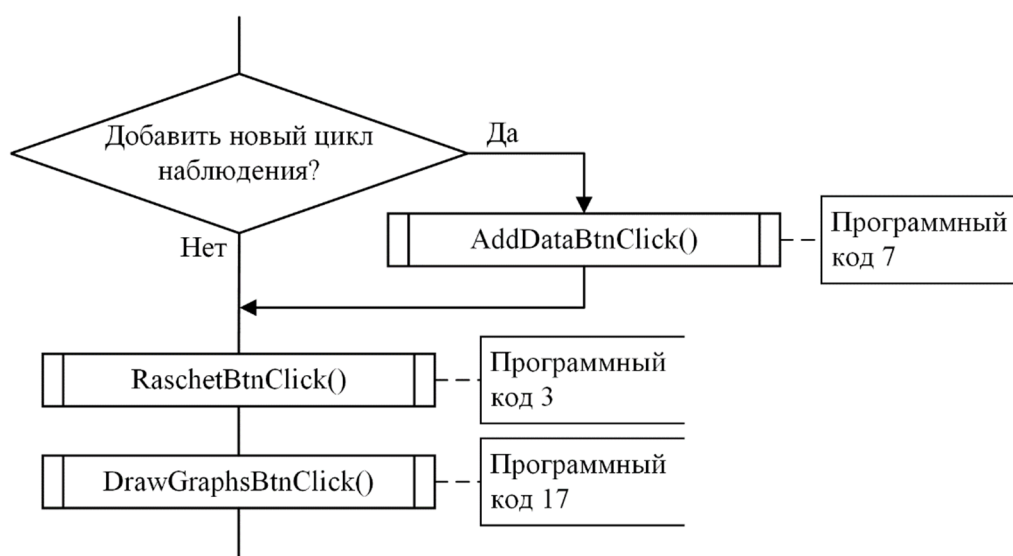


Рис. 14. Пример фрагмента программной блок-схемы

2.4. Разработка детальной блок-схемы

Детальная блок-схема может представлять собой *одну или несколько* блок-схем, показывающих программную реализацию основных расчетных модулей или функций. На этой блок-схеме детально изображаются все ал-

горитмические конструкции (условия и циклы) с указанием используемых переменных, массивов, структур и т. д. Каждая детальная блок-схема или ее фрагмент должен иметь ссылку на программный код и блок на логической схеме. Ссылку можно организовать условным цифровым обозначением. Пример детальной блок-схемы показан на рис. 15.

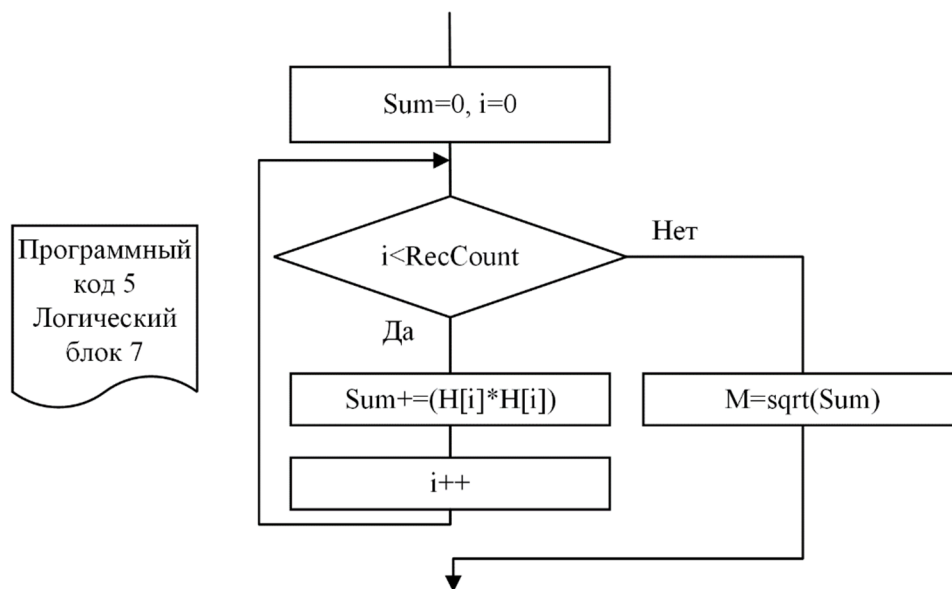


Рис. 15. Пример фрагмента детальной блок-схемы

3. РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ

3.1. Программная реализация информационной системы

Для программной реализации автоматизированной системы мониторинга пространственно-временного состояния техногенных объектов был выбран высокоуровневый язык программирования C#. Данный выбор продиктован его популярностью среди разработчиков программного обеспечения для операционных систем семейства Windows, однако при выполнении курсовой работы обучающийся может выбрать любой другой подходящий язык программирования.

Использование в данном примере программной реализации АСМ языка программирования C# накладывает определенные ограничения на выбор интегрированной среды разработки. Также на выбор инструментария в значительной степени влияют особенности решаемых задач. В частности, среда разработки должна иметь средства создания графического пользовательского интерфейса, а также встроенные или подключаемые компоненты для визуализации табличных данных и графиков. В связи с этим, в данном примере была выбрана интегрированная среда разработки Visual Studio 2022. Графический пользовательский интерфейс реализуется с использованием технологии Windows Forms для платформы .NET Framework.

Поскольку исходные данные для разрабатываемой АСМ были подготовлены в формате SQLite, то для программной реализации процессов подключения и взаимодействия с данной системой управления базами данных используется пакет System.Data.SQLite, который доступен для установки в пакетном менеджере NuGet, интегрированном в среду разработки Visual Studio.

Прежде чем приступить к написанию программных модулей автоматизированной системы мониторинга пространственно-временного состояния техногенных объектов, необходимо провести подготовительные работы с данными, полученными при генерации в программе Vargen. Неподготовленные данные представляют собой три файла: базу данных, графический файл со

схемой объекта, а также текстовый документ, содержащий сведения о количестве блоков и погрешности измерений. Цель подготовки данных заключается в создании дополнительной таблицы в имеющейся базе данных и сохранении в нее графического изображения и трех числовых значений (количество блоков, погрешности измерений и начального значения коэффициента экспоненциального сглаживания). Такая подготовка позволит загружать исходные данные в АСМ разом из одного файла с базой данных, иначе загрузка должна происходить за три итерации из каждого файла в отдельности.

Для сохранения всех исходных данных в одном файле базы данных необходимо открыть его в любом редакторе, поддерживающем формат SQLite, например, в DB Browser SQLite. В базе данных по умолчанию будет располагаться только одна таблица «Данные». Необходимо создать новую таблицу «Значения» и задать для нее структуру, показанную на рис. 16. Поле «А» предназначено для хранения значения коэффициента экспоненциального сглаживания, поле «Е» – для хранения погрешности измерений. Оба эти поля должны иметь вещественный тип данных REAL. Поле «Схема» должно иметь бинарный тип данных BLOB, позволяющий хранить любые данные, в том числе графические изображения. Последнее поле «Количество» – целочисленное и предназначено для хранения количества структурных блоков моделируемого объекта. В дальнейшем все эти данные будут загружаться в АСМ автоматически при выборе файла базы данных.

Заполненная таблица «Значения» будет иметь вид, изображенный на рис. 17. Стоит отметить, что поместить изображение в поле типа BLOB можно с использованием технологии Drag&Drop, просто перетащив файл со схемой объекта в бинарное поле заранее добавленной записи.

Процесс функционирования разрабатываемой информационной системы мониторинга пространственно-временного состояния техногенных объектов можно поделить на несколько этапов:

- загрузка исходных данных;
- анализ состояния исследуемого объекта путем обработки данных всей имитационной модели (первый уровень декомпозиции);
- деление имитационной модели объекта на блоки и выполнение анализа состояния каждого блока объекта в отдельности (второй уровень декомпозиции);

- деление блока имитационной модели объекта, сформированного на втором уровне декомпозиции, на подблоки и выполнение анализа состояния каждого подблока объекта в отдельности (третий уровень декомпозиции);
- анализ изменения координаты Z выбранных контрольных точек имитационной модели (четвертый уровень).

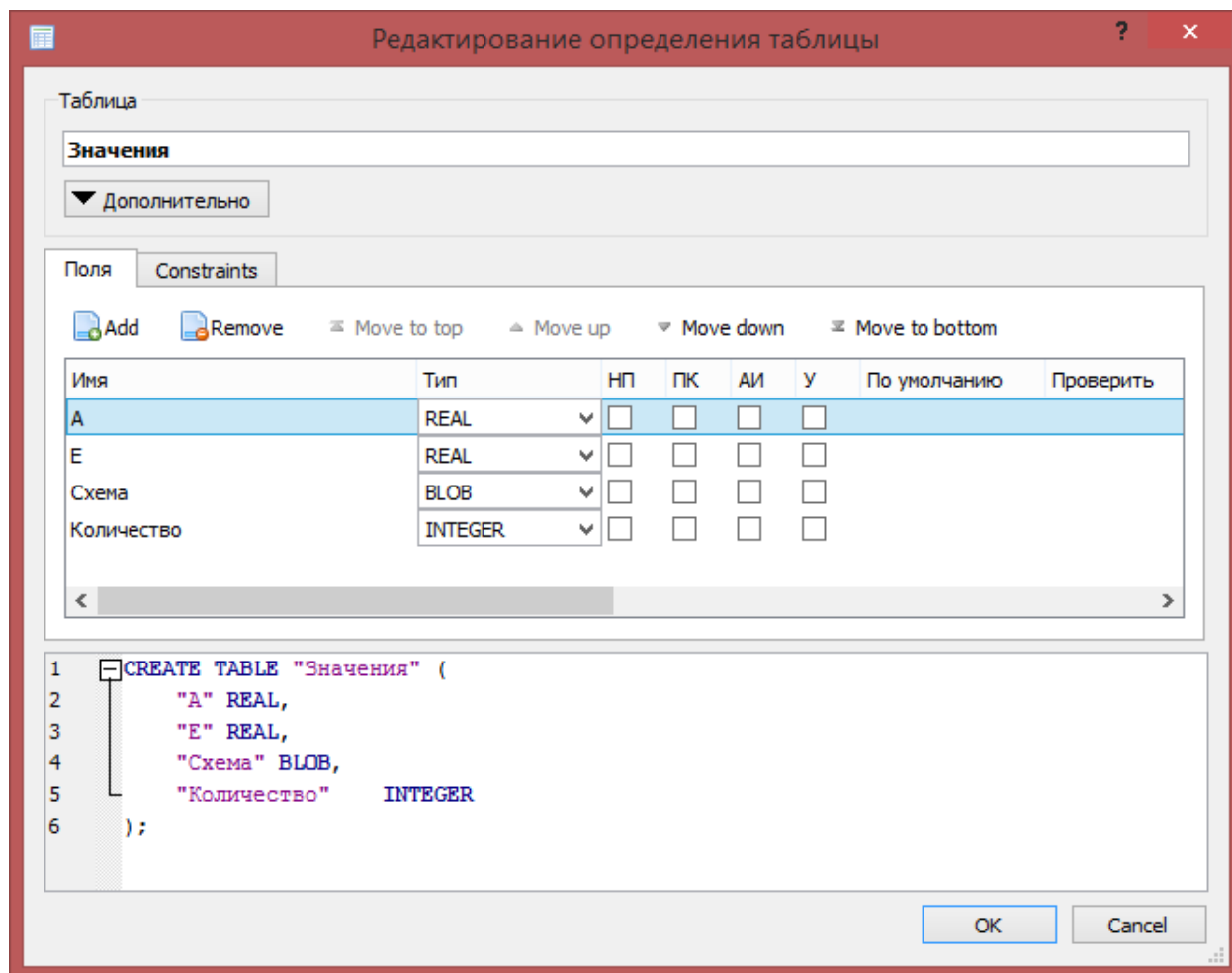


Рис. 16. Создание дополнительной таблицы «Значения»

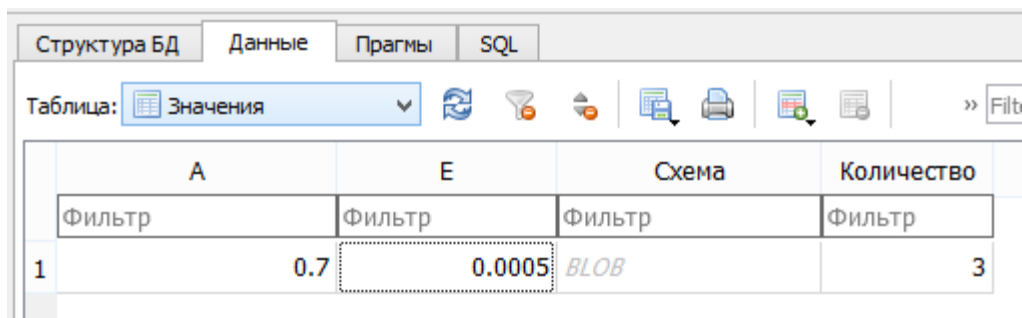


Рис. 17. Результат заполнения таблицы «Значения»

Следует отметить, что для обработки данных и построения графиков на всех уровнях декомпозиции используется одна и та же математическая модель. Различие будет только в объеме обрабатываемых данных.

Рассмотрим пример. Имитационная модель объекта представлена табличными данными, включающими в себя координаты 16 контрольных точек, полученных в результате 10 циклов наблюдения. На первом уровне декомпозиции производится обработка всех загруженных данных, на втором уровне выделяются, например, 4 блока, включающих в себя по 4 контрольные точки. Таким образом, на втором уровне декомпозиции обработка будет затрагивать исходные данные только для четырех контрольных точек, но выполнится 4 раза для каждого блока в отдельности.

В связи с этим программную реализацию автоматизированной системы мониторинга состояния техногенных объектов необходимо выполнять с учетом описанной функциональной повторяемости. Отличным решением будет использование принципов объектно-ориентированного программирования.

Рассмотрим алгоритм генерации нового цикла наблюдения. Допустим, дана таблица исходных данных, содержащая результаты n циклов наблюдения координат контрольных точек. Фрагмент таблицы для $n = 4$ (циклы 0–3) показан в табл. 5.

Таблица 5

Пример таблицы координат контрольных точек

Цикл наблюдения	1	2	...
0	$Z_{0,1}$	$Z_{0,2}$	
1	$Z_{1,1}$	$Z_{1,2}$	
2	$Z_{2,1}$	$Z_{2,2}$	
3	$Z_{3,1}$	$Z_{3,2}$	
Новый цикл			

Расчет координаты i -й контрольной точки для нового цикла наблюдения выполняется по формуле

$$Z_{n,i} = Z_{(n-1),i} + rand([-d_i \dots d_i]), \quad (10)$$

где n – общее количество циклов наблюдений; функция $rand()$ вычисляет псевдослучайную величину в интервале $[-d_i..+d_i]$; d – максимальная разность между координатами i -й контрольной точки в соседних циклах наблюдений. Значение d_i вычисляется по формуле

$$d_i = \frac{\sum_{k=0}^{n-2} |Z_{(k+1),i} - Z_{k,i}|}{n-1}, \quad (11)$$

где k – номер цикла наблюдения.

Полученное значение координаты i -й точки для нового цикла наблюдения $Z_{n,i}$ записывается в соответствующую ячейку добавленной строки таблицы.

3.2. Описание интерфейса информационной системы

Интегрированная среда разработки Visual Studio и платформа .NET предоставляют широкие возможности создания программ с привлекательным графическим пользовательским интерфейсом. При этом может быть использована технология Windows Forms или платформа Windows Presentation Foundation (WPF).

Общие требования к оформлению пользовательского графического интерфейса автоматизированной системы мониторинга состояния техногенных объектов включают в себя следующие позиции:

- 1) пользовательский интерфейс программы должен быть логично организован и удобен в использовании;
- 2) все элементы управления (окна, кнопки, списки, переключатели, графики) должны быть подписаны;
- 3) отображаемые графики должны поясняться легендой;
- 4) оси графиков должны быть подписаны;
- 5) в узловых точках на графиках должны стоять маркеры, подписанные номерами циклов наблюдения;
- 6) значения на осях графиков не должны повторяться и не должны быть излишне громоздкими. Если значения по оси повторяются, то необходимо увеличить количество знаков, выводимых после запятой;

7) последняя прогнозная точка на графиках прогноза $\alpha(\mu)$ должна быть обозначена другим маркером;

8) по возможности графики должны быть сплайновыми, если позволяет компонент, с помощью которого они строятся;

9) разрабатываемое программное обеспечение должно сопровождаться подробной инструкцией по его использованию. В инструкции обязательно должны быть указаны единицы измерения для координат контрольных точек, погрешности измерения, α .

В примере, который разбирается в настоящих методических указаниях, используется технология создания пользовательских интерфейсов Windows Forms, которая уже стала классической. Выбор данной технологии обуславливается простотой настройки визуальных компонентов пользовательского интерфейса и организации взаимодействия с программной реализацией функциональной логики приложения.

Пример программной реализации информационной системы имеет однооконный пользовательский интерфейс. Все элементы управления сгруппированы по пяти вкладкам: «Данные», «Первый уровень декомпозиции», «Второй уровень декомпозиции», «Третий уровень декомпозиции», «Четвертый уровень декомпозиции». Первая вкладка содержит визуальные элементы управления исходными данными программной системы. Четыре остальные вкладки предназначены для конфигурирования и отображения результатов вычислительных экспериментов на отдельных уровнях декомпозиции имитационной модели техногенного объекта.

Для формирования интерфейса были использованы следующие визуальные компоненты:

- TabControl – компонент для создания и управления вкладками, группирующими элементы управления программой;

- SplitContainer – компонент, представляющий собой две панели, расположенные горизонтально или вертикально друг от друга и позволяющие менять их ширину в Runtime-режиме. Данный компонент удобен для масштабирования элементов управления пользовательского интерфейса без изменения размеров окна программы;

- GroupBox – панель с подписью, предназначенная для группировки элементов управления для формирования логически выстроенной визуальной структуры окна программного обеспечения;

- DataGridView – компонент, предназначенный для отображения табличных данных;
- PictureBox – панель для визуализации графических изображений;
- Chart – панель для построения графиков и диаграмм;
- ListBox – многострочный компонент для вывода данных в виде списка;
- CheckBox – компонент, представляющий собой переключатель в виде галочки или флажка;
- CheckedListBox – многострочный компонент, предназначенный для формирования списка элементов CheckBox;
- TextBox – поле для ввода и вывода данных в виде текстовых строк;
- ComboBox – компонент, представляющий выпадающий список;
- Button – кнопка;
- Label – компонент для вывода статического текста, используемый чаще всего в качестве подписи или пояснения.

Компоновка компонентов на вкладке «Данные» показана на рис. 18. На ней расположены элементы управления для подключения к файлу базы данных и подключения к таблице исходных данных. Также на вкладке «Данные» присутствуют кнопки для добавления и удаления циклов наблюдения, поля для ввода значений коэффициента экспоненциального сглаживания и погрешности измерений. В правой стороне вкладки расположены табличный компонент DataGridView и панель для визуализации схемы объекта PictureBox, расположенные на панелях горизонтального SplitContainer. Изменение ширины или высоты окна программы пользователем должно приводить к соответствующей адаптации размеров компонентов, расположенных в нем. Для этого при разработке пользовательского интерфейса информационной системы мониторинга состояния техногенных объектов необходимо выполнить настройку якорей Anchor (Top, Left, Right, Bottom) или параметра Dock (None, Fill, Top, Left, Right, Bottom) для всех визуальных компонентов в окне.

На вкладке «Первый уровень» расположены табличные компоненты DataGridView для отображения фазовых координат и результатов мониторинга состояния объекта, а также вложенный TabControl, включающий в себя две вкладки: «Фазовые траектории $\alpha(\mu)$ » и «Функция $\mu(t)$ » (рис. 19).

Первая вкладка «Фазовые траектории $\alpha(\mu)$ » предназначена для отображения сплайновых фазовых траекторий, включение и выключение которых осуществляется группой компонентов CheckBox. Аналогичным образом конструируется вкладка «Функция $\mu(t)$ ». Отличие заключается только в данных, которые будут выводиться в компоненты этой вкладки.

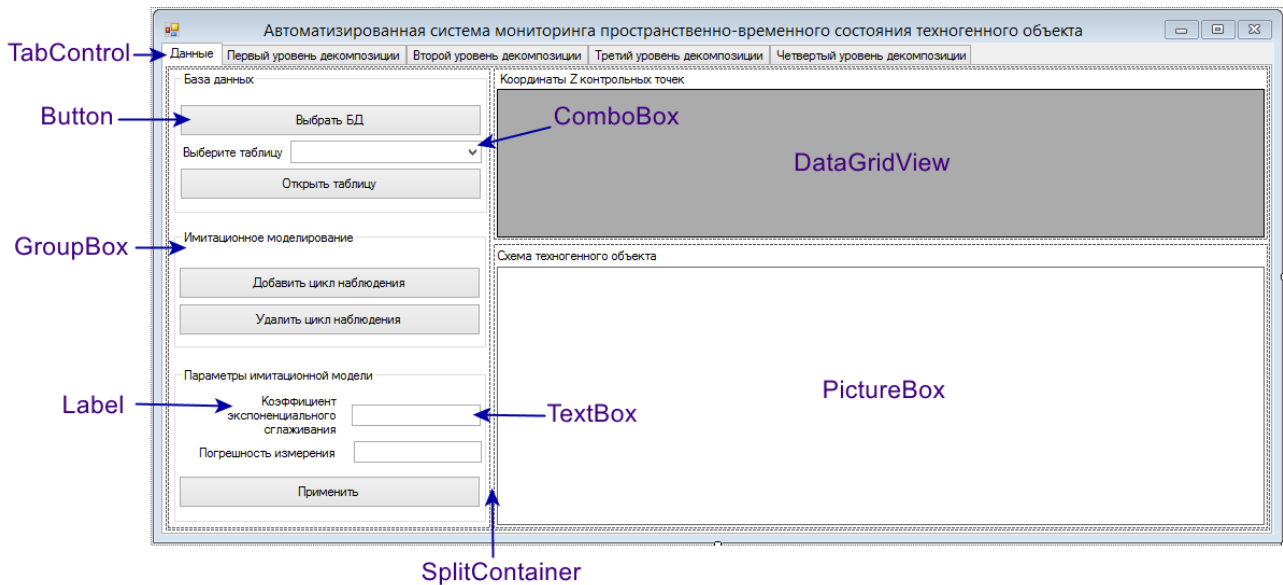


Рис. 18. Компоновка вкладки «Данные»

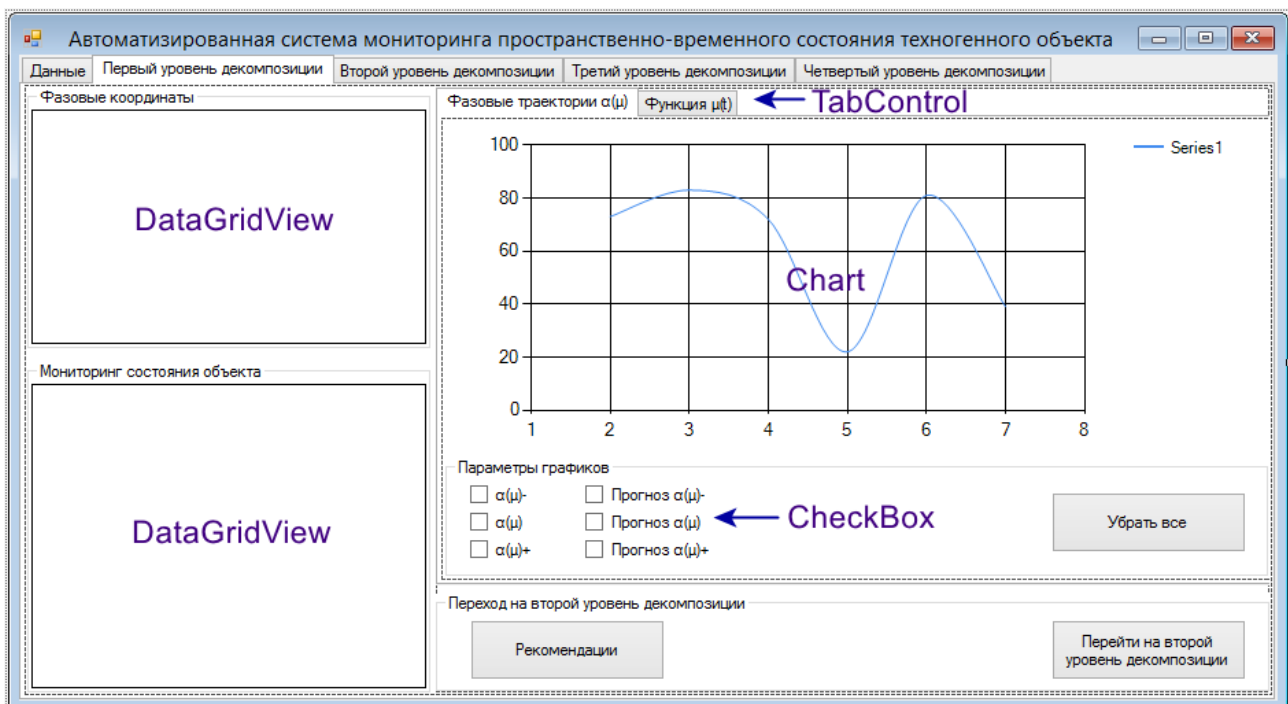


Рис. 19. Интерфейс вкладки «Первый уровень декомпозиции»

Вкладка «Второй уровень декомпозиции» имеет более сложную компоновку по сравнению с первым уровнем декомпозиции. Здесь добавляется еще один вложенный набор вкладок TabControl, группирующий компоненты для распределения контрольных точек по структурным блокам объекта, а также для вывода результатов выполненных расчетов и построения графиков (рис. 20).

Вкладка «Распределение контрольных точек по блокам» содержит панель PictureBox для отображения схемы объекта, выпадающий список для выбора названия текущего блока, а также списки для распределения точек.

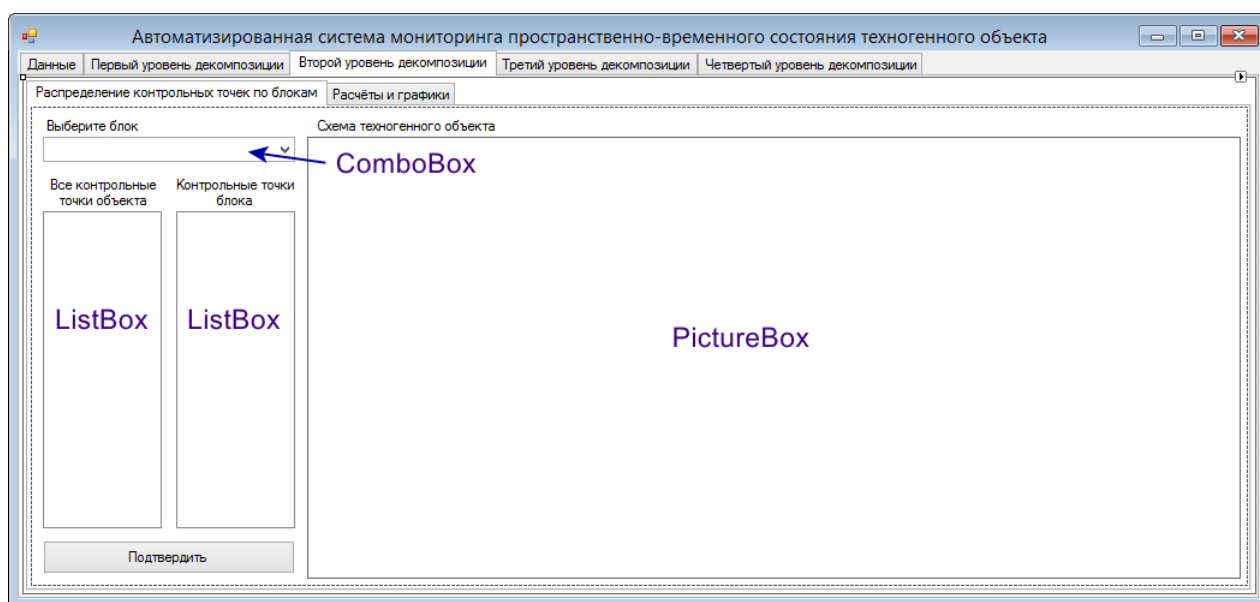


Рис. 20. Интерфейс вкладки «Второй уровень декомпозиции» – «Распределение контрольных точек по блокам»

Компоновка вкладки «Расчеты и графики» на втором уровне декомпозиции схожа с компоновкой соответствующей вкладки на первом уровне (рис. 21), однако здесь добавляется выпадающий список ComboBox, предназначенный для выбора блока. Данный список позволяет отображать результаты расчетов для разных блоков.

Вкладка «Третий уровень декомпозиции» также, как и второй уровень, содержит группу из двух вкладок «Распределение контрольных точек по подблокам» и «Расчеты и графики», однако первая вкладка имеет другой набор элементов управления и их компоновку (рис. 22).

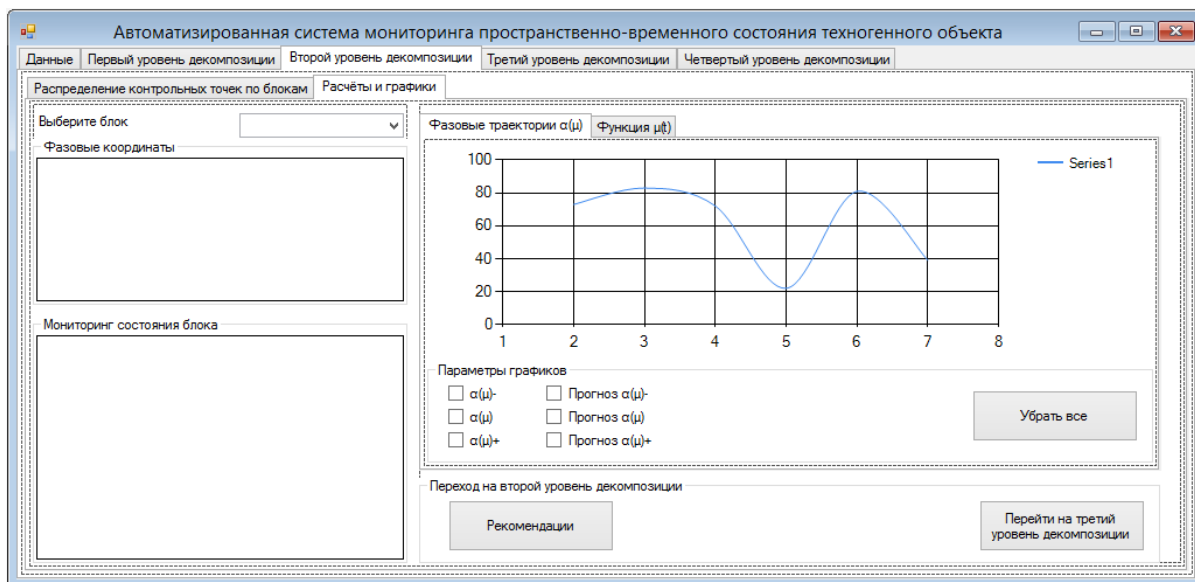


Рис. 21. Интерфейс вкладки «Расчеты и графики»
на втором уровне декомпозиции

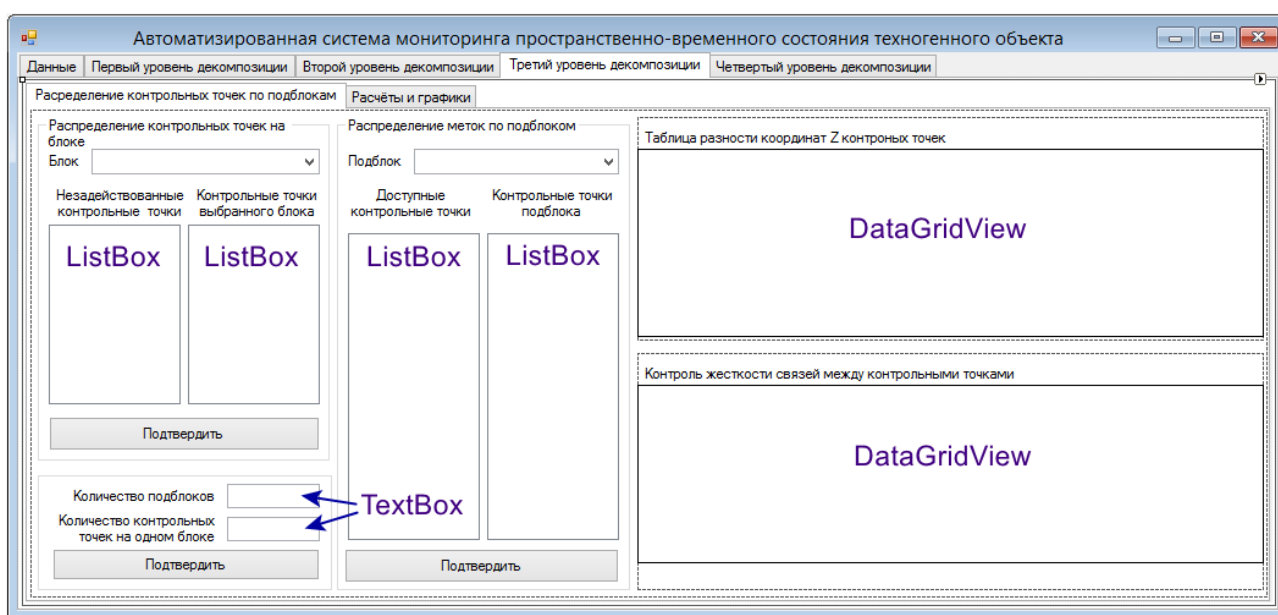


Рис. 22. Интерфейс вкладки «Распределение точек по подблокам»

Вкладка «Распределение контрольных точек по подблокам» содержит группу компонентов для подготовки исходных данных для выделения структурных подблоков и распределения контрольных точек на каждом из них. Такая подготовка заключается в добавлении на разбиваемый блок нераспреде-

ленных ранее точек, удалении лишних точек, а также в указании количества подблоков и количества контрольных точек на подблоках. В центральной части окна располагаются элементы управления, предназначенные для распределения контрольных точек по подблокам. Справа находится два компонента DataGridView для отображения таблицы разности координат Z контрольных точек разбиваемого блока, а также таблица, содержащая результаты контроля жесткости связей, образованных парами контрольных точек подблока.

Вкладка «Расчеты и графики» на третьем уровне не отличается от одноименной вкладки на втором и первом уровне.

На вкладке «Четвертый уровень декомпозиции» расположен CheckedListBox для выбора контрольных точек, Chart для построения графиков зависимости $Z(t)$ выбранных точек, а также кнопки для инициации построения графиков и сброса выбора (рис. 23).

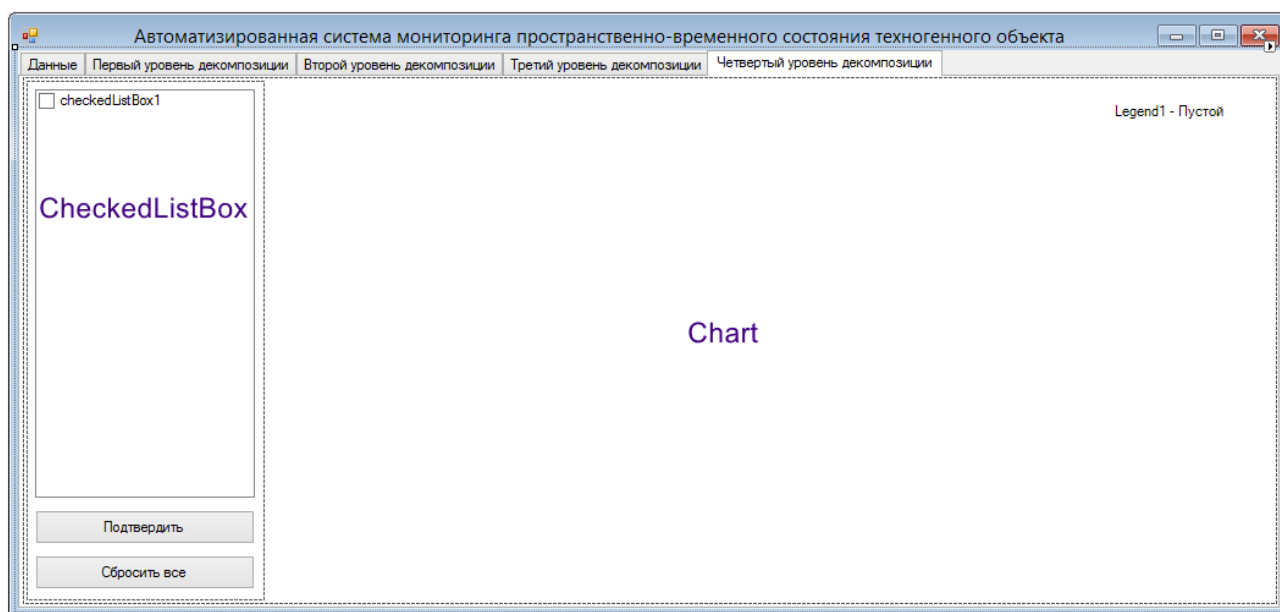


Рис. 23. Интерфейс вкладки «Четвертый уровень декомпозиции»

Рассмотрим порядок работы с автоматизированной системой мониторинга состояния техногенных объектов, приведенной в качестве примера в данном методическом указании. При запуске программного обеспечения открывается окно (рис. 24), в котором все элементы управления, кроме кнопки «Выбрать БД», неактивны. Дезактивация элементов окна произво-

дится с целью предотвращения некорректных действий пользователя в условии отсутствия загруженных исходных данных или промежуточных расчетных значений, необходимых для дальнейшей работы программы.

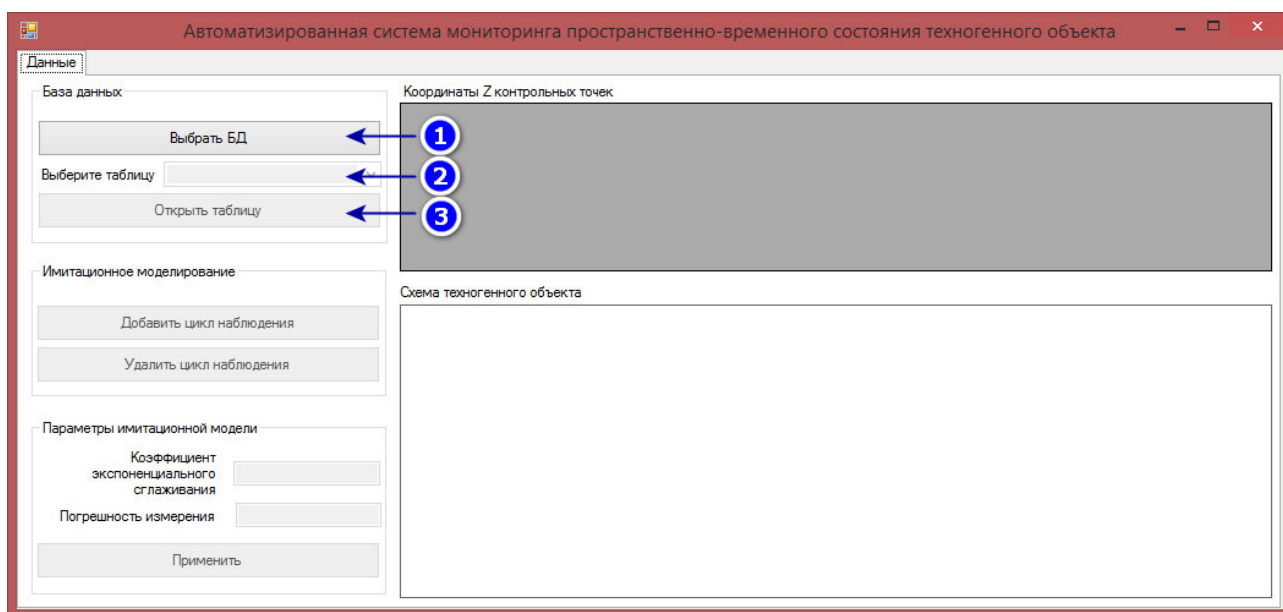


Рис. 24. Начальное окно программы после ее запуска

При нажатии на кнопку «Выбрать БД» (1 на рис. 24) открывается стандартное диалоговое окно выбора файла с расширением *.sqlite, показанное на рис. 25. Если пользователь закрывает данный диалог, то система выдает сообщение о том, что файл базы данных не был выбран. В случае успешного подключения файла базы данных в список «Выберите таблицу» (2 на рис. 24) заносятся имена всех находящихся в ней таблиц. Также из таблицы «Значения» (см. рис. 16) в окно программы выводится схема техногенного объекта, коэффициент экспоненциального сглаживания и погрешность измерений. Пользователь выбирает необходимую таблицу с данными (координатами контрольных точек) и нажимает на кнопку «Открыть таблицу» (3 на рис. 24). При этом происходит загрузка и отображение таблицы координат Z контрольных точек (рис. 26).

При необходимости пользователь может добавить новый цикл наблюдения или удалить ненужный, нажав на соответствующие кнопки на панели «Имитационное моделирование». При этом изменения данных будут запи-

саны в таблицу БД, а также отображены в таблице «Координаты Z контрольных точек».

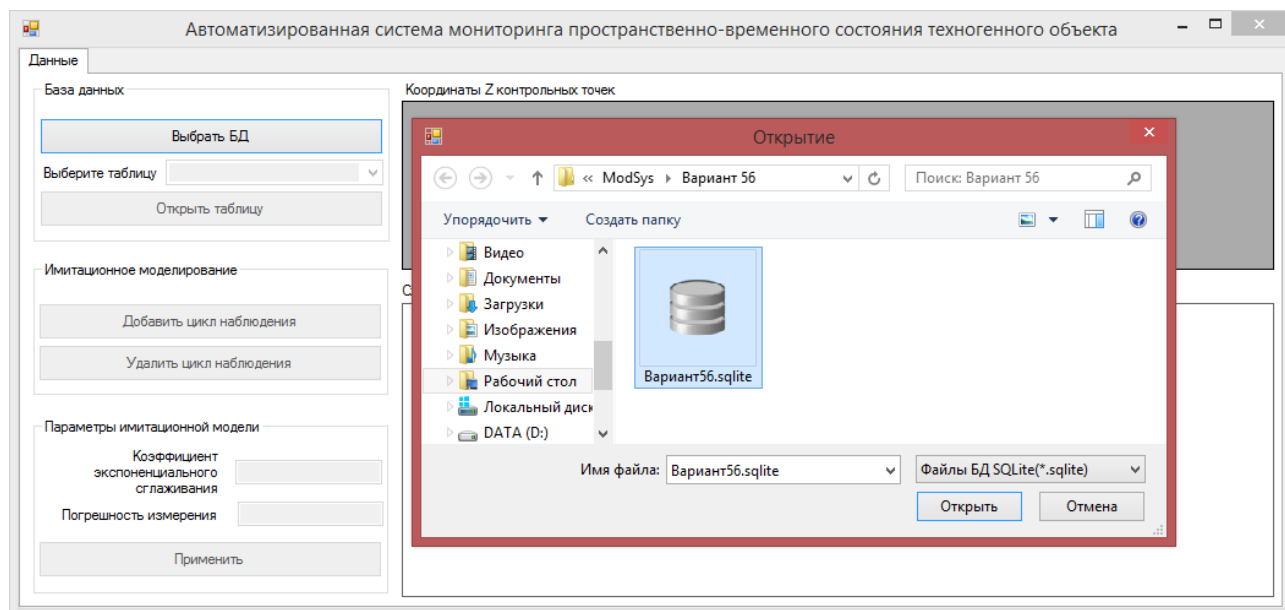


Рис. 25. Начальное окно программы после ее запуска

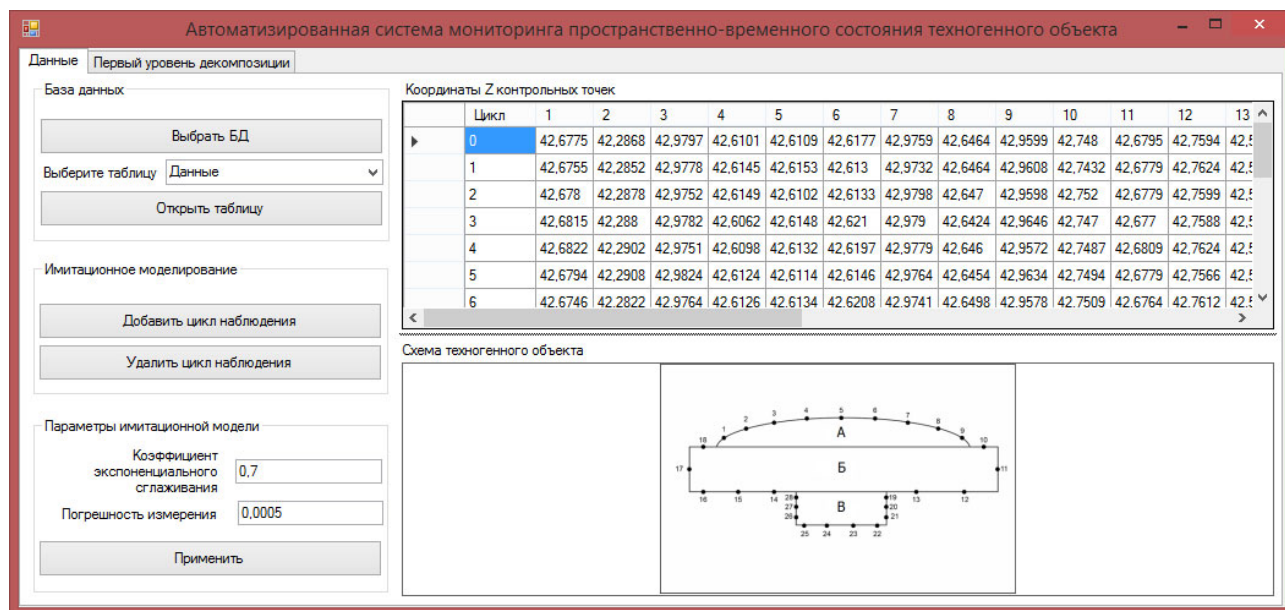


Рис. 26. Загруженные данные

Пользователь по своему усмотрению может изменить значения коэффициента экспоненциального сглаживания и погрешности измерения. Для

применения изменений и перерасчета фазовых координат необходимо нажать кнопку «Применить», при этом новые значения коэффициента экспоненциального сглаживания и погрешности измерений запишутся в таблицу «Значения» БД. Если значения были указаны некорректно, то при нажатии кнопки «Применить» в текстовые поля будут выведены предыдущие корректные значения, записи в БД не произойдет.

Процесс расчета фазовых координат, определение состояния исследуемого объекта, а также построение графиков на первом уровне декомпозиции происходит автоматически после загрузки всех необходимых данных. Результат расчетов показан на рис. 27.

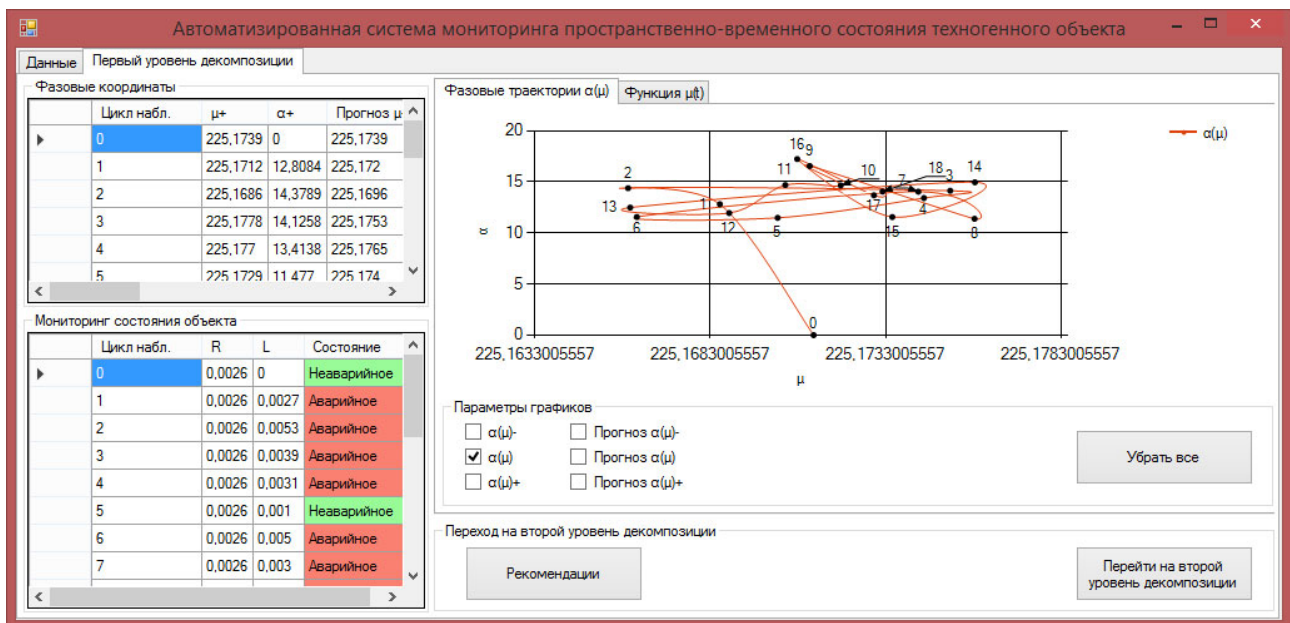


Рис. 27. Результат работы автоматизированной системы на первом уровне декомпозиции (вкладка «Фазовые траектории $\alpha(\mu)$ »)

Стоит отметить, что в данном примере для удобства отображения фазовая координата α из радианной угловой меры переводится в секунды, что обеспечивает более компактную запись значения.

Результаты построения графика зависимости $\mu(t)$ показаны на рис. 28. Пользователь может управлять выводом графиков как на вкладке «Фазовые траектории $\alpha(\mu)$ », так и на вкладке «Функция $\mu(t)$ » с помощью группы флаж-

ков «Параметры графиков». При необходимости пользователь имеет возможность снять все установленные флажки нажатием кнопки «Убрать все».

По результатам мониторинга состояния объекта автоматизированная система формирует краткую рекомендацию о необходимости перехода на второй уровень декомпозиции, которая отображается при нажатии на кнопку «Рекомендации».

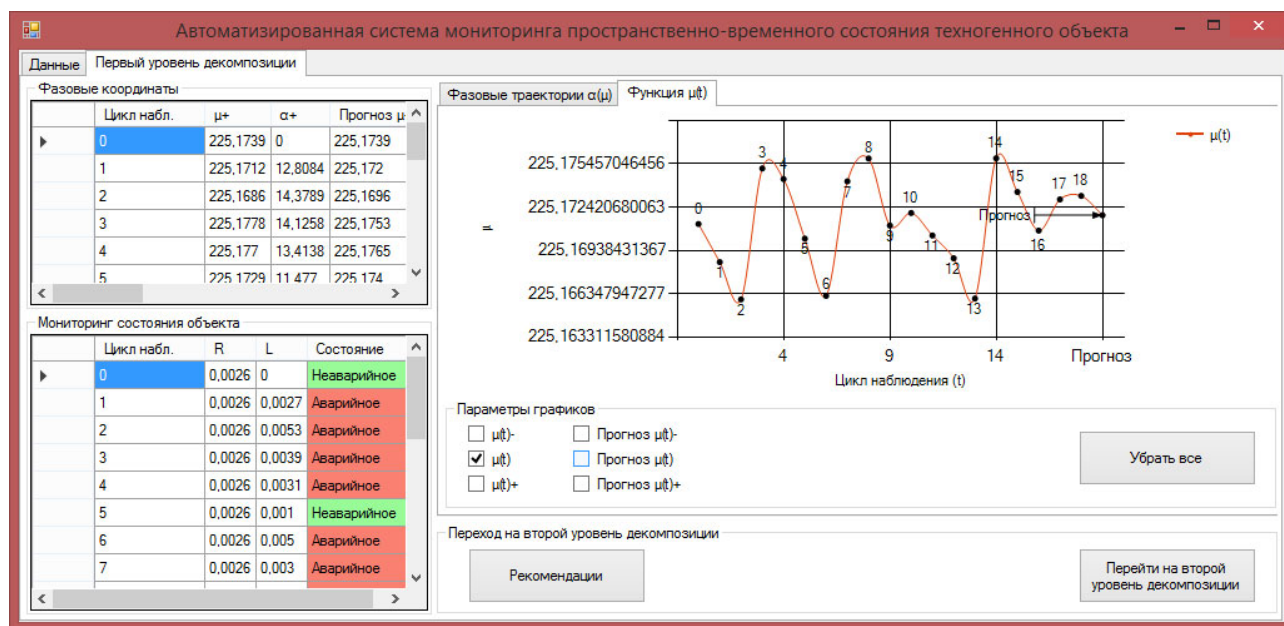


Рис. 28. Результат работы автоматизированной системы на первом уровне декомпозиции (вкладка «Функция $\mu(t)$ »)

Для перехода на второй уровень декомпозиции пользователю необходимо нажать кнопку «Перейти на второй уровень декомпозиции», которая расположена в нижнем правом углу окна. Начальное состояние элементов управления на вкладке второго уровня декомпозиции показано на рис. 29. В выпадающем списке «Выберите блок» (1 на рис. 29) программное обеспечение автоматически выводит буквенные наименования блоков объекта, количество которых записано в таблице «Значения» подключенной базы данных. В данном примере блоков три, поэтому в список будут занесены наименования блоков «А», «Б», «В». Для каждого блока пользователь должен указать контрольные точки, которые к нему относятся согласно выведенной схеме объекта. Важным условием является то, что на всех блоках

должно быть одинаковое количество точек, то есть объем данных, формируемых на базе выполненного распределения, должен быть одинаков.

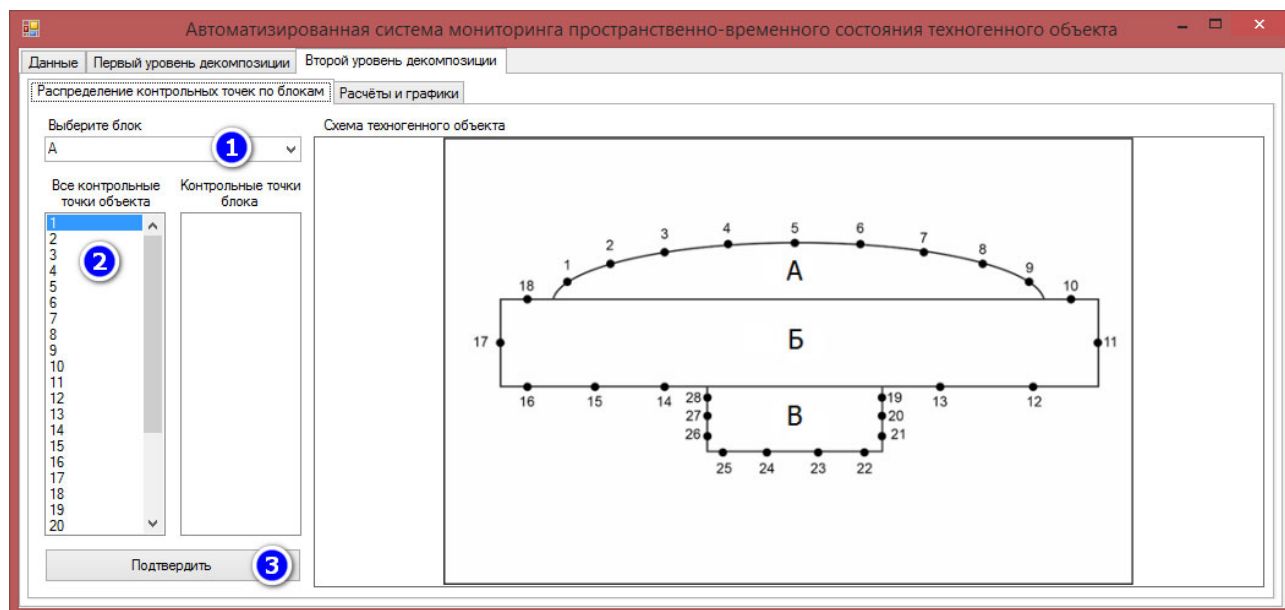


Рис. 29. Распределение контрольных точек по блокам на втором уровне декомпозиции

Процесс переноса точки из списка «Все контрольные точка объекта» (2 на рис. 29) в список «Контрольные точки блока» и обратно происходит по двойному щелчку на номере точки. При этом из списка-источника точка удаляется, а в список-приемник она добавляется. Списки распределенных точек для каждого блока сохраняются и при переключении блоков (1 на рис. 29) они выводятся в элемент управления «Контрольные точки блока». Пример распределения показан на рис. 30.

После завершения процедуры распределения контрольных точек по блокам пользователь нажимает кнопку «Подтвердить». Программная система проверяет корректность выполненной операции и, в случае несовпадения количества контрольных точек на всех блоках, выводит сообщение об ошибке (рис. 31).

Если распределение выполнено правильно, то автоматически происходит подготовка исходных данных для расчетов фазовых координат каждого блока и открывается вкладка «Расчет и графики» (рис. 32).

В окне, показанном на рис. 32, пользователю предоставляется возможность выбора блока, для которого будут отображаться результаты расчетов и графики фазовых координат. Выбор блока осуществляется с помощью выпадающего списка «Выберите блок» в верхней левой части вкладки «Расчеты и графики» на втором уровне декомпозиции (см. рис. 32). Функциональное назначение остальных элементов управления на данной вкладке точно такое же, как и на первом уровне декомпозиции.

Выберите блок	Все контрольные точки объекта	Контрольные точки блока
A	28	1 2 3 4 5 6 7 8 9
B	28	10 11 12 13 14 15 16 17 18
B	28	19 20 21 22 23 24 25 26 27

Рис. 30. Пример распределения контрольных точек по трем блокам

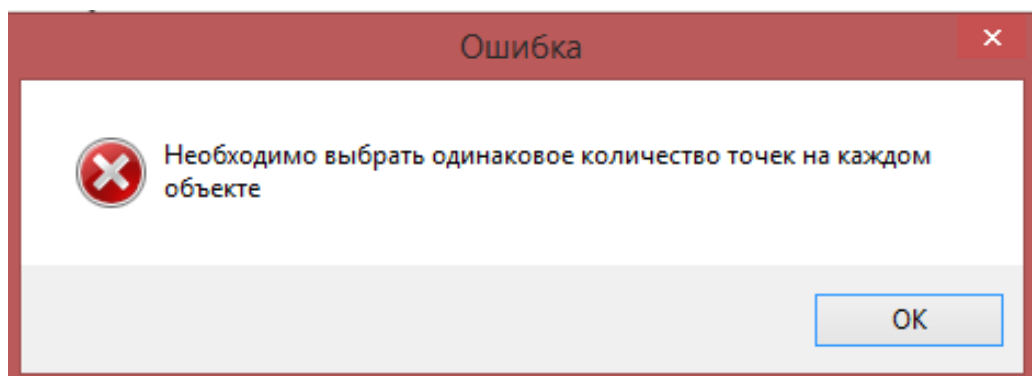


Рис. 31. Сообщение об ошибке в случае неправильного распределения контрольных точек по блокам

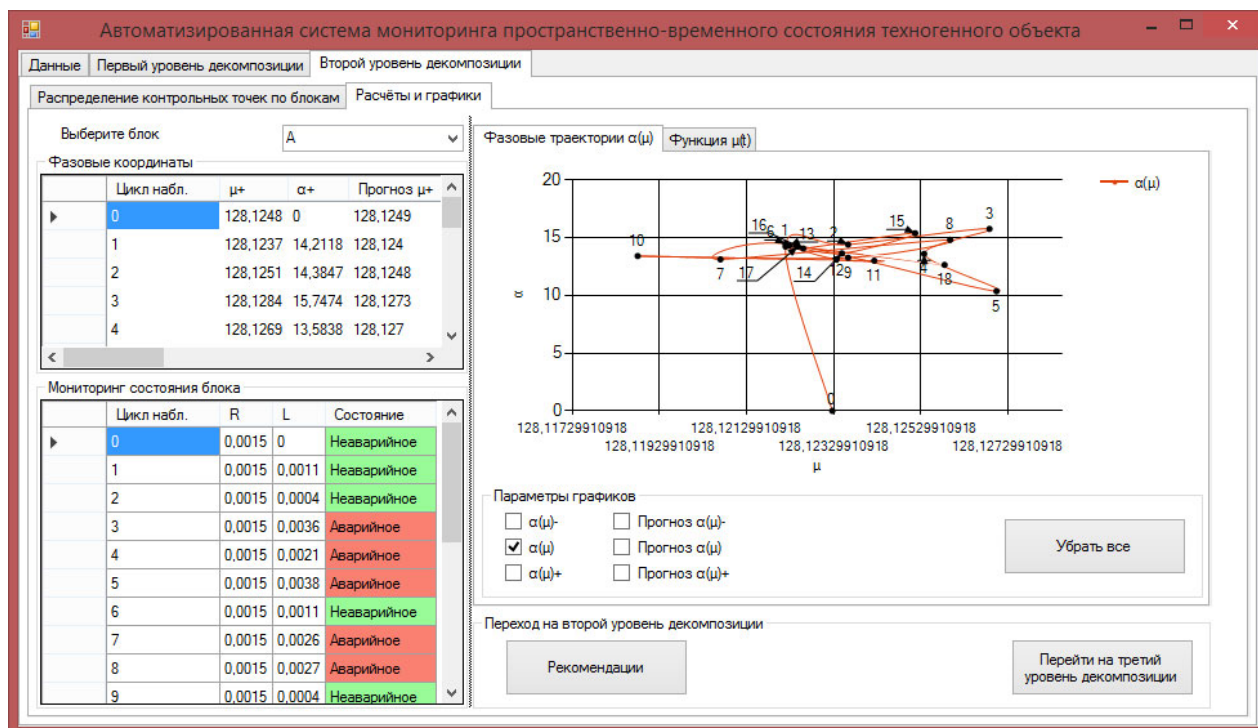


Рис. 32. Результаты расчетов фазовых координат и анализа состояния блока «А» на втором уровне декомпозиции

При нажатии на кнопку «Перейти на третий уровень декомпозиции» происходит переход на вкладку «Третий уровень декомпозиции», и пользователю предлагается выбрать блок для разбиения (1 на рис. 33), отредактировать список контрольных точек на нем (2 и 3 на рис. 33) и применить изменения нажатием кнопки «Подтвердить» (4 на рис. 33). После выполнения перечисленных операций происходит расчет и заполнение таблиц «Таблица разности координат Z контрольных точек» (5 на рис. 33) и «Жесткость связей между контрольными точками» (6 на рис. 33). Также пользователю становятся доступны поля «Количество подблоков» (7 на рис. 33) и «Количество контрольных точек на блоке» (8 на рис. 33), которые ему необходимо заполнить и нажать кнопку «Подтвердить» (9 на рис. 33). Автоматизированная программная система осуществляет проверку введенных данных и в случае их корректности предоставляет пользователю доступ к группе элементов управления «Распределение метод по подблокам». Тут необходимо для каждого подблока (10 на рис. 33) указать контрольные точки (11 и 12 на рис. 33) и, по завершении процедуры распределения, нажать на кнопку «Подтвердить» (13 на рис. 33).

Пример распределения контрольных точек по подблокам на третьем уровне декомпозиции показан на рис. 34.

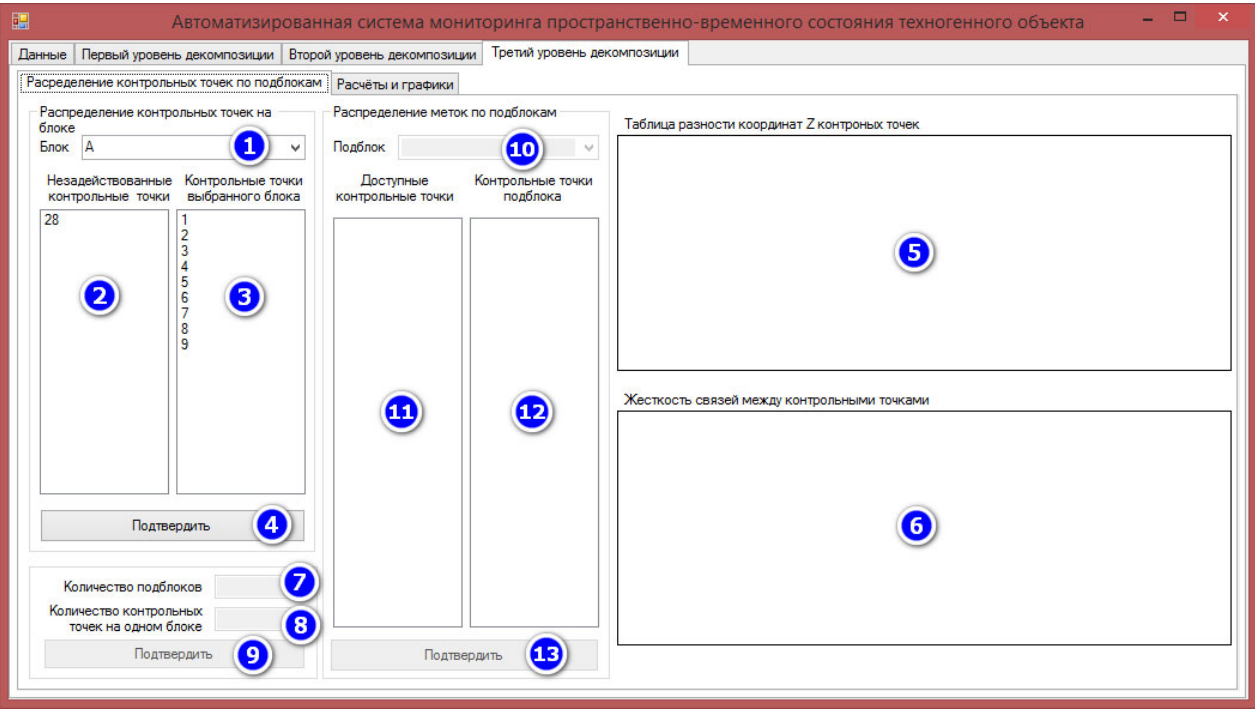


Рис. 33. Распределение контрольных точек по подблокам на вкладке «Третий уровень декомпозиции»

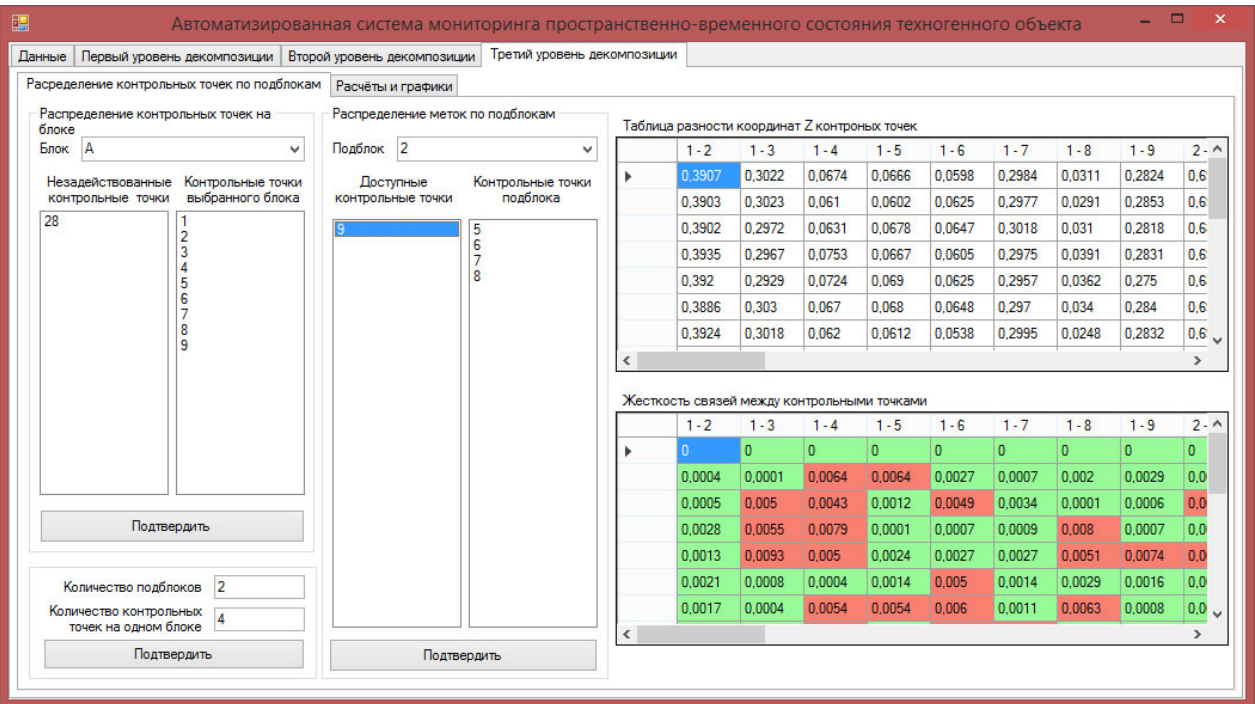


Рис. 34. Пример распределения контрольных точек по подблокам

После формирования данных для каждого подблока на третьем уровне декомпозиции пользователю отображается вкладка «Расчеты и графики», на которой показаны результаты определения состояния выбранного подблока (рис. 35, 36). Для просмотра результатов расчета и графиков для другого подблока пользователю необходимо перейти на вкладку «Распределение контрольных точек по подблокам», выбрать требуемый подблок (см. 10, рис. 33) и нажать кнопку «Подтвердить» (см. 13 на рис. 33).

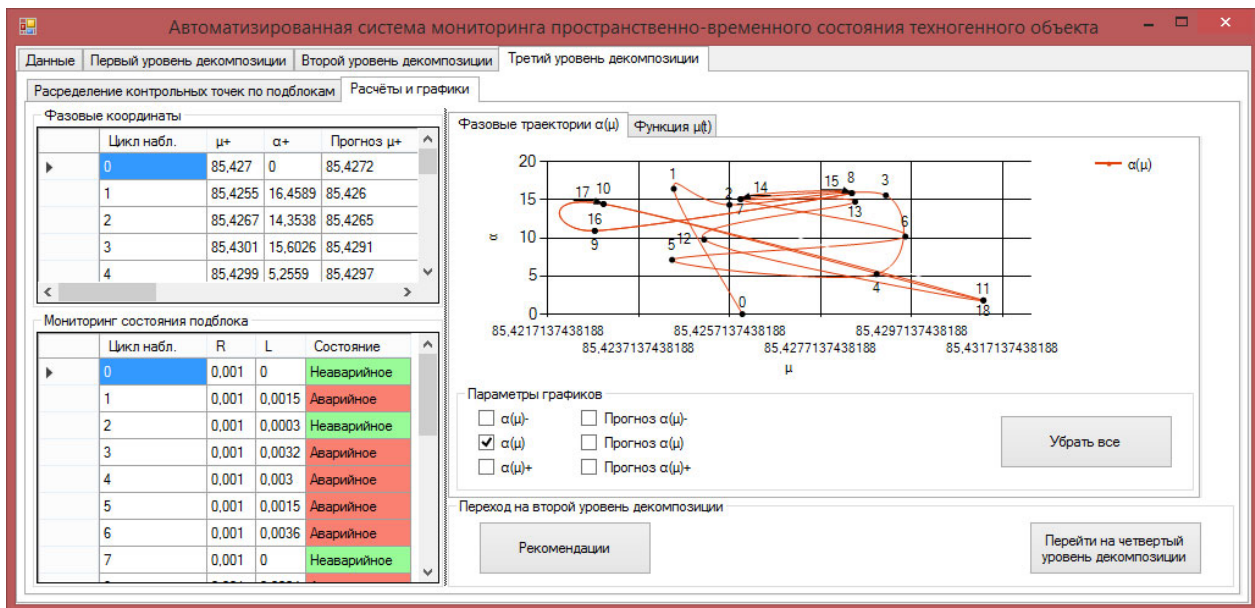


Рис. 35. Вкладка «Фазовые траектории $\alpha(\mu)$ » на четвертом уровне декомпозиции

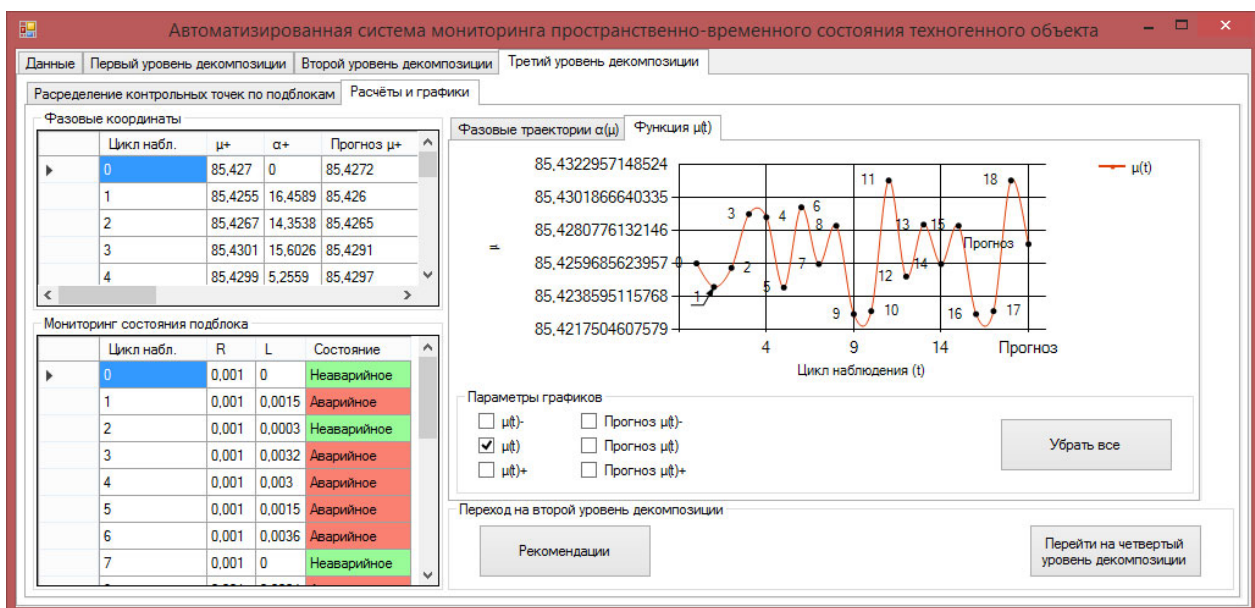


Рис. 36. Вкладка «Функция $\mu(t)$ » на четвертом уровне декомпозиции

Переход на четвертый уровень декомпозиции осуществляется нажатием на кнопку «Перейти на четвертый уровень декомпозиции», расположенную в правом нижнем углу вкладки «Расчеты и графики».

На четвертом уровне пользователю предлагается выбрать контрольные точки, движение которых необходимо изучить. После нажатия кнопки «Подтвердить» будут построены графики, показывающие изменение координаты Z в зависимости от цикла наблюдения t . Пример графиков для 1-й, 5-й и 10-й точек показан на рис. 37.

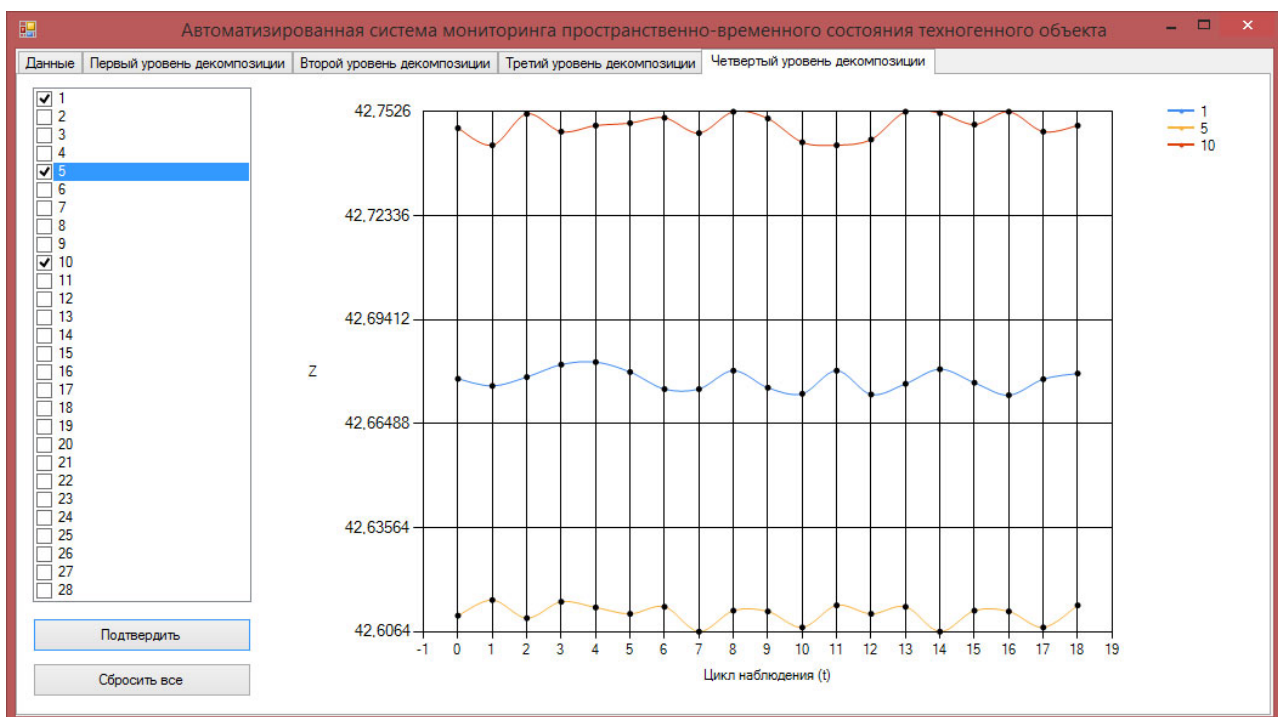


Рис. 37. Вкладка «Четвертый уровень декомпозиции»

3.3. Тестирование системы методом «черного ящика»

3.3.1. Понятие системы «черный ящик»

Система «черного ящика» — это система с известными выходными и входными параметрами и неизвестным внутренним устройством. На рис. 38 изображена схема модели «черного ящика».

Процедура тестирования методом «черного ящика» — это функциональное и нефункциональное тестирование без доступа к внутренней структуре компонентов системы.

Для постановки экспериментов, проводимых для выявления ошибок работы системы и подтверждения или опровержения адекватности отображения исходных данных, на вход системы подается множество статистических значений $Z_{k,1}(t), Z_{k,2}(t) \dots Z_{n,m}(t)$, определяющих состояние объекта. Выдвигается гипотеза о возможных состояниях объекта. Получаемые на выходе системы данные о состоянии объекта $S_1(t), S_2(t) \dots S_n(t)$ подтверждают или опровергают гипотезу. Фактически, необходимо определить некоторую функцию, связывающую входные и выходные данные системы.

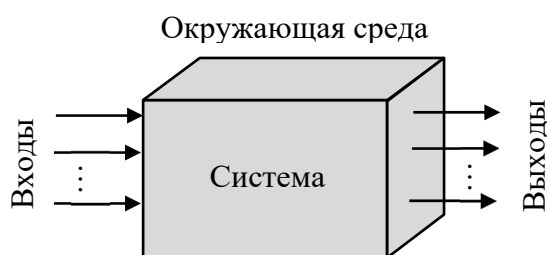


Рис. 38. Система модели «Черный ящик»

Статистических данных о возможных состояниях объекта может быть большое количество. Однако для сокращения экспериментов из генеральной совокупности всех возможных состояний объекта можно сделать выборку на основании наиболее вероятностных из них.

В качестве выборки определим некоторые состояния объекта, которые характеризуют несколько видов движения техногенного объекта в пространстве и времени:

- состояние покоя;
- поступательное равномерное движение;
- скачок;
- циклическое движение.

3.3.2. Имитация пространственно-временного состояния «Состояние покоя»

Для подготовки таблицы координат контрольных точек $Z_{n,m}$ имитации «Состояние покоя» техногенного объекта необходимо взять исходную таблицу координат в соответствии со своим вариантом и скопировать первую

строку (0-й цикл измерений) на все остальные строки. Таким образом, каждая контрольная точка будет иметь координату Z , не изменяющуюся со временем. Количество строк и столбцов в полученной таблице должно быть таким же, как и на исходном рис. 39.

Исходные данные						Состояние покоя					
Координаты Z контрольных точек						Координаты Z контрольных точек					
Цикл	1	2	3	4	5	Цикл	1	2	3	4	5
0	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451	0	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451
1	53,659	53,560	53,754	53,123	53,455	1	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451
2	53,664	53,560	53,755	53,128	53,459	2	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451
3	53,669	53,560	53,760	53,133	53,461	3	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451
4	53,670	53,564	53,762	53,138	53,461	4	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451

↓
Координаты равны

Рис. 39. Исходные данные для имитации состояния покоя

Ожидаемая реакция системы на входные данные: график функции $S(t)$ – точка, $\alpha(t) = 0$ (рис. 40).



Рис. 40. График функции $S(t)$, имитация состояния покоя

Значения фазовых координат не меняются со временем, а графиком функции $S(t)$ является точка. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности реакции системы на входные данные.

3.3.3. Имитация пространственно-временного состояния «Поступательное равномерное движение»

Для подготовки таблицы координат $Z_{n,m}$ контрольных точек имитации поступательного равномерного движения техногенного объекта необходимо взять первую строку исходной таблицы координат в соответствии со своим вариантом и для каждого следующего цикла измерений прибавлять одинаковую величину Δ к координатам каждой контрольной точки. Прибавляемая величина Δ зависит от точности координат. Например, в таблице даны координаты с точностью до десятых долей миллиметра (0,000 1 м) – в этом случае прибавляемая величина должна быть выбрана в пределах $\Delta \in [0,000\ 1\ \text{м} - 0,000\ 9\ \text{м}]$. Если в таблице даны координаты с точностью до миллиметра (0,001 м), то прибавляемая величина должна быть выбрана в пределах $\Delta \in [0,001\ \text{м} - 0,009\ \text{м}]$. Таким образом, координата каждой контрольной точки будет равномерно увеличиваться на одинаковую величину Δ . Количество строк и столбцов в полученной таблице должно быть таким же, как и в исходном рис. 41.

Исходные данные						Поступательное равномерное движение					
Координаты Z контрольных точек						Координаты Z контрольных точек					
Цикл	1	2	3	4	5	Цикл	1	2	3	4	5
0	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451	0	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451
1	53,659	53,560	53,754	53,123	53,455	1	53,656	53,558	53,756	53,125	53,453
2	53,664	53,560	53,755	53,128	53,459	2	53,658	53,560	53,758	53,127	53,455
3	53,669	53,560	53,760	53,133	53,461	3	53,660	53,562	53,760	53,129	53,457
4	53,670	53,564	53,762	53,138	53,461	4	53,662	53,564	53,762	53,131	53,459

 Координаты равномерно увеличиваются на $\Delta = 0,002\ \text{м}$

Рис. 41. Исходные данные для имитации состояния поступательного равномерного движения

Ожидаемая реакция системы на входные данные: график функции $S(t)$ – прямая, $\alpha(t) = 0$ (рис. 42).

Графиком фазовых координат является прямая, совпадающая с осью $\mu(t)$. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности реакции системы на входные данные.



Рис. 42. График функции $S(t)$, имитация состояния равномерного поступательного движения

3.3.4. Имитация пространственно-временного состояния «Скачок»

Для подготовки таблицы координат $Z_{n,m}$ контрольных точек имитации скачкообразного изменения пространственно-временного состояния техногенного объекта необходимо взять копию таблицы поступательного движения (из предыдущего теста) и в произвольной строке (цикле измерений) изменить координаты нескольких контрольных точек на величину Δ , в 5–10 раз превышающую значение Δ , установленную для поступательного равномерного движения в предыдущем тесте. Таким образом, для выбранного цикла измерений будет смоделировано резкое изменение положения отдельных частей техногенного объекта в вертикальной плоскости. Количество строк и столбцов в полученной таблице должно быть таким же, как и в исходном рис. 43.

Ожидаемая реакция системы на входные данные: график фазовой координаты $\mu(t)$ – прямая с резким скачком в точке $\boxtimes$ (рис. 44).

В цикле измерений № 3 наблюдается резкое изменение значения фазовой координаты $\mu(t)$. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности реакции системы на входные данные.

Исходные данные						Скачок					
Координаты Z контрольных точек						Координаты Z контрольных точек					
Цикл	1	2	3	4	5	Цикл	1	2	3	4	5
0	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451	0	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451
1	53,659	53,560	53,754	53,123	53,455	1	53,656	53,558	53,756	53,125	53,453
2	53,664	53,560	53,755	53,128	53,459	2	53,666	53,560	53,758	53,135	53,463
3	53,669	53,560	53,760	53,133	53,461	3	53,660	53,562	53,760	53,129	53,457
4	53,670	53,564	53,762	53,138	53,461	4	53,662	53,564	53,762	53,131	53,459

Координаты равномерно увеличиваются на $\Delta = 0,002$ м

Координаты увеличиваются на $\Delta = 0,01$ м

Рис. 43. Исходные данные для имитации скачкообразного изменения пространственно-временного состояния объекта

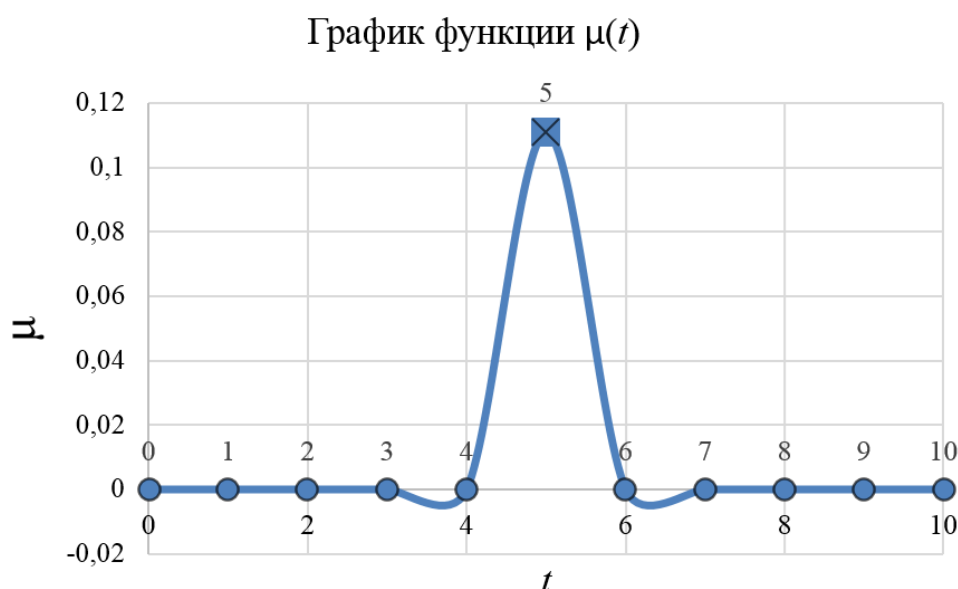


Рис. 44. График фазовой координаты $\mu(t)$, имитация скачкообразного изменения пространственно-временного состояния объекта

3.3.5. Имитации пространственно-временного состояния «Циклическое движение»

Для подготовки таблицы координат $Z_{n,m}$ контрольных точек имитации циклического изменения пространственно-временного состояния техногенного объекта необходимо взять первую строку исходной таблицы координат в соответствии со своим вариантом. Далее в первой половине строк

таблицы необходимо увеличивать координаты контрольных точек на различные величины Δ . Во второй половине строк таблицы необходимо уменьшать координаты контрольных точек на различные величины Δ . Последнюю строку таблицы необходимо заполнить значениями из первой строки (0-го цикла измерений).

Величины Δ должны зависеть от точности координат. Например, в таблице даны координаты с точностью до десятых долей миллиметра (0,000 1 м) – в этом случае величины Δ должны быть выбраны в пределах $\Delta \in [0,000\ 1\ \text{м} - 0,000\ 9\ \text{м}]$. Если в таблице даны координаты с точностью до миллиметра (0,001 м), то величины Δ должны быть выбраны в пределах $\Delta \in [0,001\ \text{м} - 0,009\ \text{м}]$. Таким образом, координата каждой контрольной точки сначала будет увеличиваться на различные величины Δ , а потом уменьшаться на различные величины Δ . На последнем цикле измерений координаты контрольных Z_n точек будут совпадать с координатами Z_0 контрольных точек в нулевом цикле измерений. Количество строк и столбцов в полученной таблице должно быть таким же, как и на исходном рис. 45.

Исходные данные						Циклическое движение						Координаты неравномерно увеличива- ются
Координаты Z контрольных точек						Координаты Z контрольных точек							Координаты неравномерно уменьшаются
Цикл	1	2	3	4	5	Цикл	1	2	3	4	5	
0	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451	0	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451	
0,14	53,659	53,560	53,754	53,123	53,455	0,14	53,659	53,556	53,756	53,123	53,456	
0,27	53,664	53,560	53,755	53,128	53,459	0,27	53,659	53,561	53,757	53,125	53,459	
1,12	53,669	53,560	53,760	53,133	53,461	1,12	53,654	53,556	53,755	53,125	53,454	
1,23	53,670	53,564	53,762	53,138	53,461	1,23	53,654	53,556	53,754	53,123	53,451	

↑

Координаты Z_0 и Z_n совпадают

Рис. 45. Исходные данные для имитации циклического изменения пространственно-временного состояния объекта

Ожидаемая реакция системы на входные данные: график функции $S(t)$ – замкнутая ломаная (рис. 46).

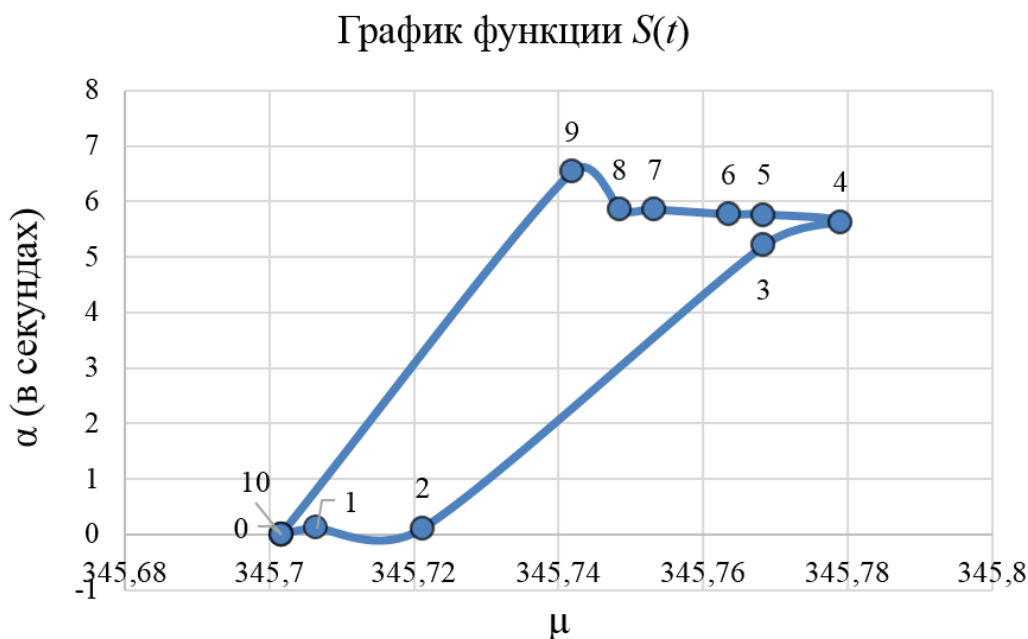


Рис. 46. График функции $S(t)$, имитация циклического изменения пространственно-временного состояния объекта

Полученные результаты свидетельствуют об адекватности реакции системы на входные данные.

3.3.6. Проверка параметров точности системы

Для проверки параметров точности системы выполняется тестирование программы, позволяющее определить точность рассчитываемых значений.

Тест 1. В качестве исходных данных для проверки параметров точности системы используется таблица равномерного поступательного движения. Задача данного теста – подтвердить правильность расчета момента, когда состояние анализируемого объекта определяется как аварийное.

Технология тестирования:

- 1) в программу загружается таблица для тестирования состояния равномерного поступательного движения;
- 2) подбирается значение точности таким образом, чтобы примерно на половине циклов измерений состояние анализируемого объекта расценивалось как неизменяемое;

3) количество циклов с неизменяемым состоянием должно быть равно $k = \frac{2 \cdot E}{\Delta} + 1$, где k – количество циклов измерений в случае, когда состояние объекта оценивается как неизменное; E – погрешность измерения; Δ – величина изменения координат контрольных точек $\Delta = Z_i - Z_{i-1}$ в таблице исходных данных для равномерного поступательного движения.

Если расчетное количество циклов в случае, когда состояние объекта оценивается как неизменяемое, равняется фактическому количеству таких циклов в программе, то тест считается пройденным.

Та же технология применяется для проверки точности в случаях с имитацией пространственно-временного состояния «Скачок» (тест 2) и состояния «Циклическое движение» (тест 3).

Приведем примеры тестирования параметров точности системы в готовой программе (рис. 47–49).

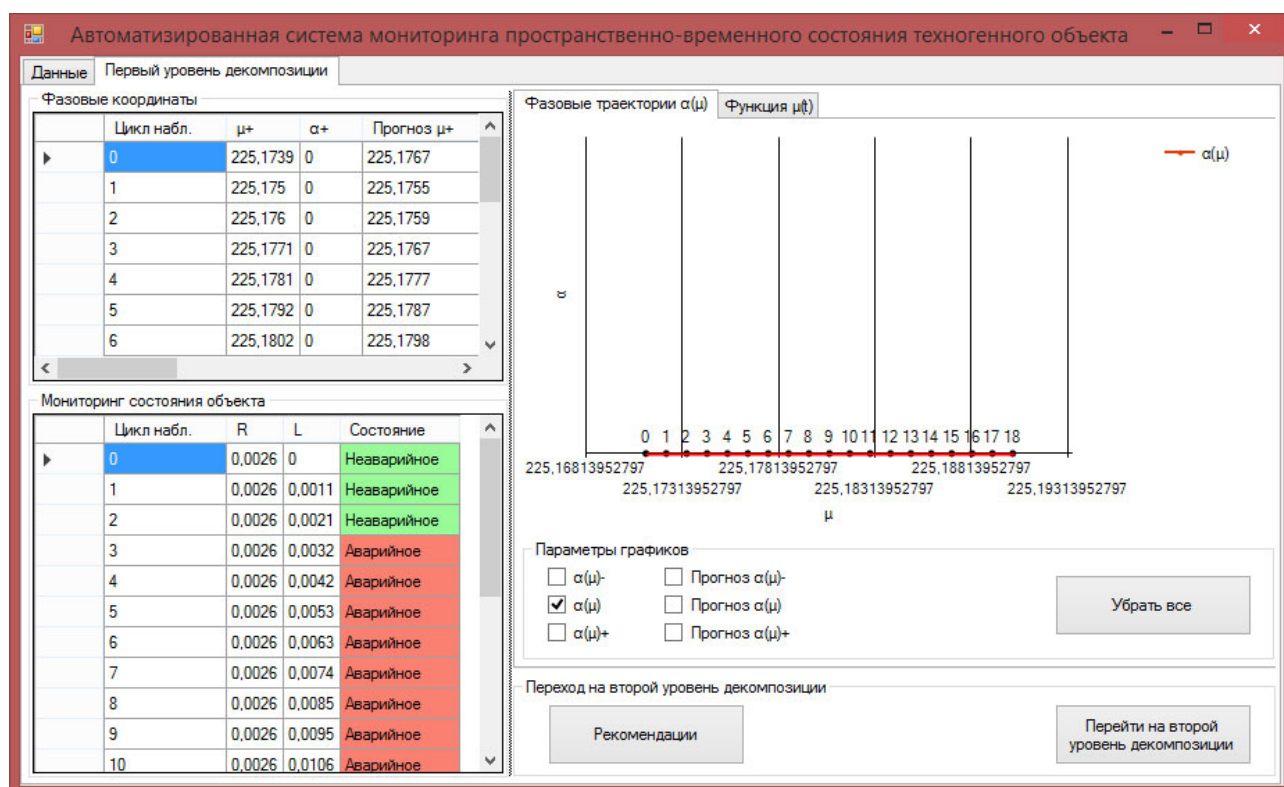


Рис. 47. Автоматические расчеты критериев оценки состояния объекта при имитации равномерного поступательного движения (тест 1)

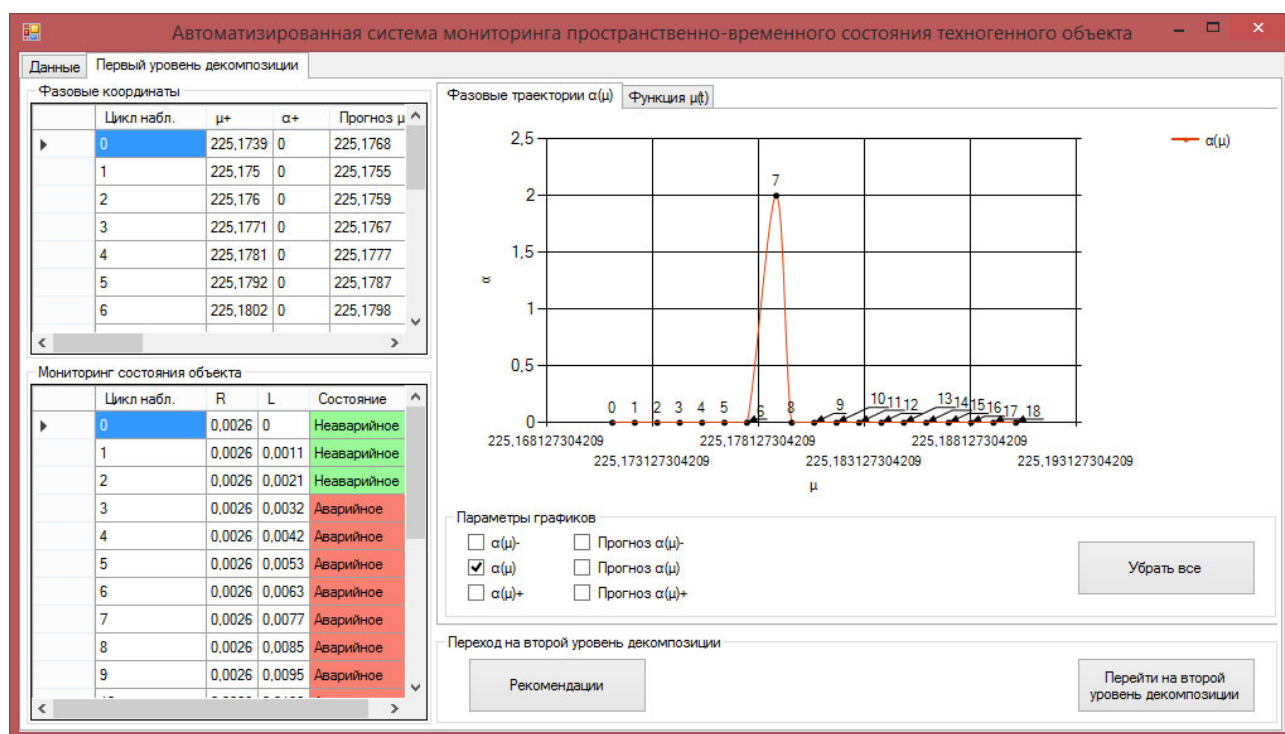


Рис. 48. Автоматические расчеты критериев оценки состояния объекта при имитации скачкообразного изменения пространственно-временного состояния объекта (тест 2)

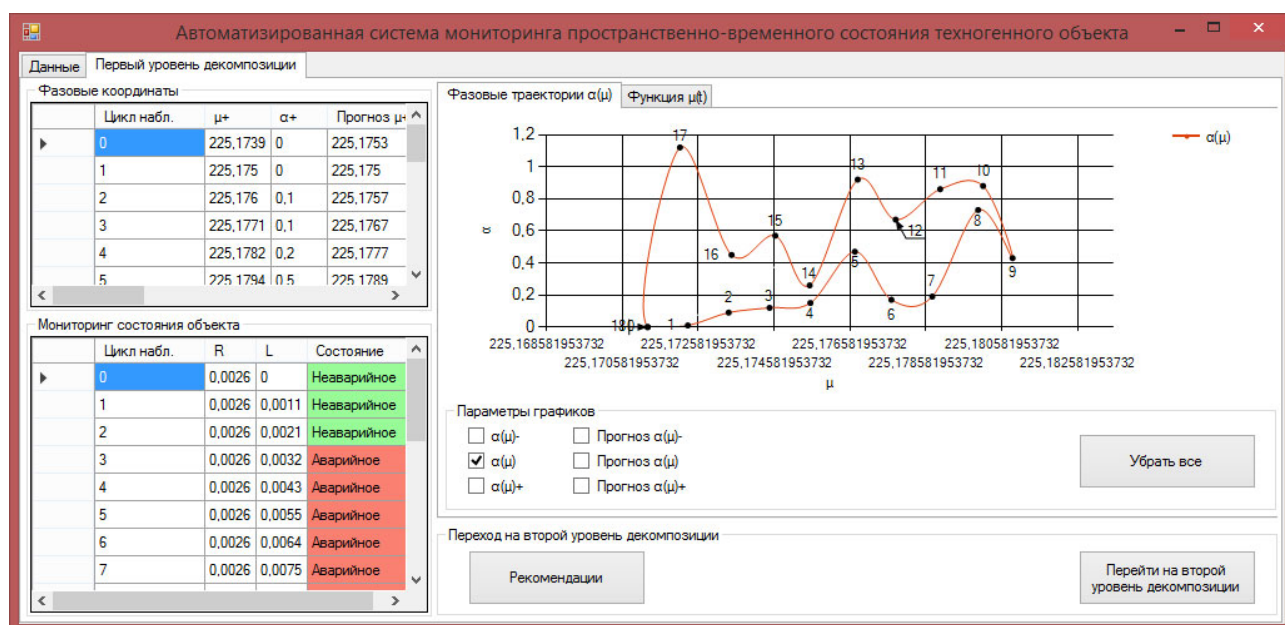


Рис. 49. Автоматические расчеты критериев оценки состояния объекта при имитации циклического изменения пространственно-временного состояния объекта (тест 3)

Тест 4. Для оценки точности вычисления прогнозного значения необходимо сравнить функцию $\mu(t)$ и $\mu(t)_{\text{пр}}$. За основу возьмем таблицу фазовых координат со значениями $\mu(t)$ и $\mu(t)_{\text{пр}}$. Найдем разницу Δ между фактическим и прогнозным значением на каждый момент времени t и сравним с величиной R – радиусом окружности в фазовом пространстве, который вычисляется по формуле (9) (табл. 6).

Таблица 6

Оценка точности прогнозной функции $\mu(t)$

Цикл наблюдения, i	$\mu(t)$	$\mu(t)_{\text{пр}}$	R$	|\mu(t)_{\text{пр}} - \mu| \leq R$
0	225,168601	225,169119	0,000518009	+
1	225,169130	225,169129	1,11363E-06	+
2	225,169659	225,169606	5,30259E-05	+
3	225,178126	225,177274	0,000852003	+
4	225,170718	225,171373	0,000655671	+
5	225,171247	225,171259	1,26526E-05	+
..	..	..	..	..
n	..	..	..	..

Если выражение $|\mu(t)_{\text{пр}} - \mu| \leq R$ выполняется, то тест пройден успешно. Точность расчета прогнозных значений соответствует заявленной погрешности измерений координат Z_i .

Тест 5.

Для проверки расчетных значений на наличие шума (искажения полезного сигнала) выполним тест 5. Вычисляемые значения фазовых координат $\mu(t)$ и $\alpha(t)$ обычно имеют до 25 знаков после запятой. При переводе вычисленных значений из радиан в секунды значащими, как правило, являются только целые. Остальные числовые значения определяются как шум, который искажает результаты расчетов. Для выявления шума проверим значения, полученные в результате имитационного моделирования «Состояния равномерного поступательного движения».

В результате имитации состояния равномерного поступательного движения ожидаемой реакции системы на входные данные является график функции $S(t)$ – прямая, $\alpha(t)=0$. Однако, из-за наличия дробной части значе-

ний координат $\alpha(t)$, проявляется шум (излишняя точность числа). В табл. 7 приведены результаты вычисления.

Таблица 7

Пример шума в значениях фазовых координат $\alpha(t)$

Цикл наблюдений, i	$\mu(t)$	$\alpha(t)$
0	345,7016	0
1	345,7065	0
2	345,7114	0
3	345,7163	0
4	345,7212	0
5	345,7261	0,1
6	345,731	0,1
7	345,7359	0,1
8	345,7408	0,1
9	345,7457	0,1
10	345,7506	0,1

В циклах начиная с № 5 выявлены отклонения от нулевого значения. Они не являются значащими и искажают результат. На рис. 50 изображена функция $S(t)$ с искажениями. Эти искажения называются шумом.

График функции $S(t)$

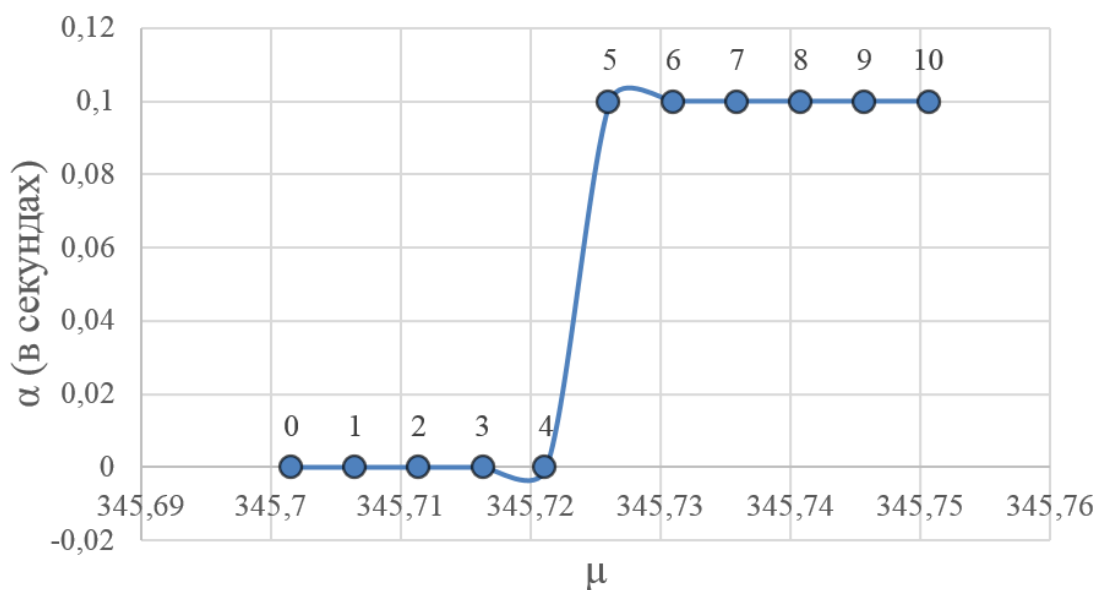


Рис. 50. Выявление шума

Для избавления от шума необходимо огрубить результаты путем отсечения лишней дробной части. Этот процесс называется наложением белого шума, т. е. намеренным огрублением результата (рис. 51).

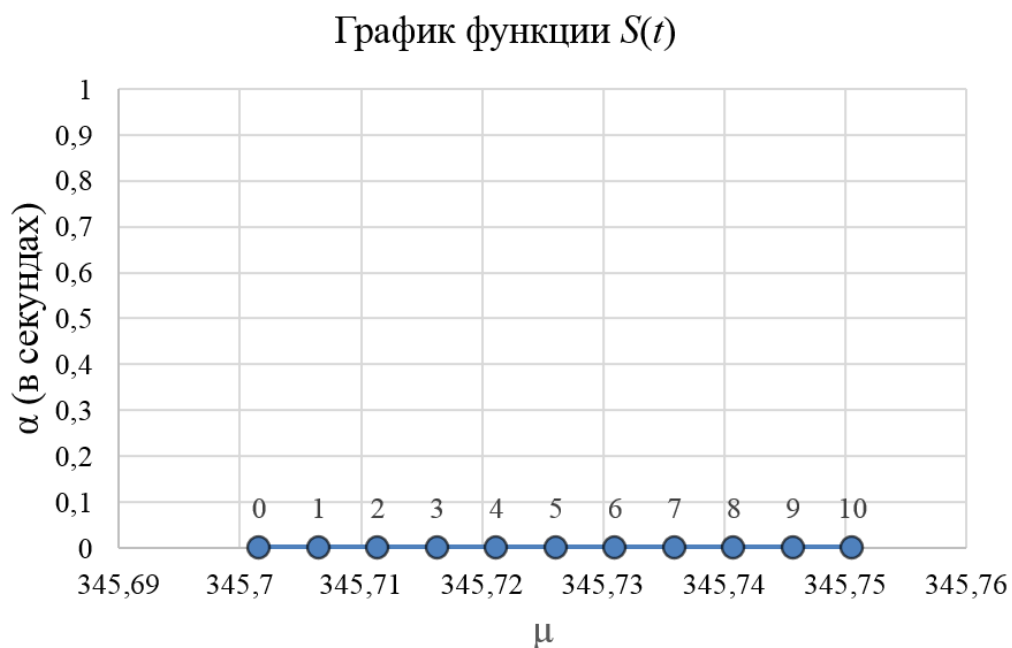


Рис. 51. Результат наложения белого шума

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических указаниях представлено структурное описание и содержание теоретического и практического контента курсовой работы по дисциплине «Моделирование систем». Выполнены указания по разработке информационной системы определения и контроля пространственно-временного состояния техногенного объекта на основе непрерывно-дискретного потока данных, передаваемых с автоматизированных систем мониторинга.

Разобраны этапы создания информационной системы:

- 1) разработка имитационной модели непрерывно-дискретного потока данных;
- 2) разработка логической структуры модели системы;
- 3) выполнение программной реализации информационной системы;
- 4) выполнение тестирования информационной системы методом «черного ящика»;
- 5) выполнение оценки точности параметров модели системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугакова Т. Ю., Бугаков П. Ю. Моделирование систем : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 95 с.
2. Бахвалов Л. Моделирование систем. – М. : Горная книга, 2015. – 878 с.
3. Бугакова Т. Ю., Вовк И. Г. Системный анализ, моделирование и принятие решений : учеб. справ. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 72 с.
4. Вовк И. Г., Бугакова Т. Ю. Основы системно-целевого подхода и принятие решений : учеб. пособие для вузов, рекомендовано СР УМЦ. – Новосибирск : СГГА, 2011. – 151 с.
5. Бугакова Т. Ю., Вовк И. Г. Системный анализ, моделирование и принятие решений : учеб. справ. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 72 с.
6. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Основы системного анализа : учеб. 2-е изд., доп. – Томск : НТЛ, 1997. – 396 с. : ил.
7. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем : учеб. для вузов. 4-е изд. – М. : Высш. шк., 2005. – 343 с.
8. Кобелев Н. Б. Вопросы теории имитационного моделирования открытых систем // II Всероссийская науч.-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. – СПб. : Технологии Судостроения, 2005. – С. 116–121.
9. Решмин Б. И. Имитационное моделирование и системы управления : учеб.-практ. пособие. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. – 74 с.
10. Компьютерное моделирование : учеб. / В. М. Градов, Г. В. Овечкин, П. В. Овечкин, И. В. Рудаков. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 264 с.
11. Кориков А. М., Павлов С. Н. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 288 с.
12. Кобелев Н. Б. Качественная теория больших систем и их имитационное моделирование : пособие для разработчиков имитационных моделей и пользователей. – М. : Принт Сервис, 2009. – 85 с.

13. Кузнецов В. А., Черепяхин А. А. Системный анализ, оптимизация и принятие решений : учеб. для студентов вузов. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 256 с.
14. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 317 с.
15. Чикуров Н. Г. Моделирование систем и процессов : учеб. пособие. – М. : ИЦ РИОР : НИЦ Инфра-М, 2013. – 398 с.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)**

Институт геодезии и менеджмента

Кафедра прикладной информатики и информационных систем

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Моделирование систем»

**Разработка информационной системы анализа пространственно-временного
состояния техногенного объекта на примере варианта № 56**

Обучающийся:

(подпись)

Группа: _____

Руководитель: _____

(подпись)

Зав. кафедрой: _____

(подпись)

Дата допуска к защите: _____

Оценка по результатам защиты:

Подписи членов комиссии:

_____ ()

_____ ()

Новосибирск, 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОСИСТЕМ
И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)
Институт геодезии и менеджмента
Кафедра прикладной информатики и информационных систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

по дисциплине Моделирование систем

Обучающемуся _____

Группа _____

Тема работы (проекта): _____

Руководитель: _____

Тема утверждена распоряжением по институту _____

Срок сдачи выполненной работы _____

Задание или перечень рассматриваемых вопросов:

- 1) РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНОГО ПОТОКА ДАННЫХ;
- 2) РАЗРАБОТКА ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ;
- 3) ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ МЕТОДОМ «ЧЕРНОГО ЯЩИКА».

Перечень графического материала с указанием основных чертежей и (или) иллюстративного материала (формат А4) Схема расположения контрольных точек на объекте исследования

Исходные данные к курсовой работе: Таблица геопространственных данных контрольных точек, расположенных на объекте исследования

ГРАФИК

выполнения курсовой работы

Этапы выполнения курсовой работы (проекта)	Срок исполнения	Отметка о выполнении этапа работы (дата, подпись руководителя)
Инструктаж по ознакомлению с требованиями охраны труда, техники безопасности, пожарной безопасности, а также правилами внутреннего трудового распорядка. Постановка задач и целей, работа с литературой		
Разработка имитационной модели непрерывно-дискретного потока псевдослучайных последовательности данных процедурами их машинной генерации		
Математическое моделирование системы обработки на основе математических схем моделирования систем		
Построение концептуальной модели системы перехода объекта из состояния в состояние		
Разработка логической структуры модели		
Программная реализация модели системы обработки непрерывно-дискретного потока данных для определения перехода объекта из состояния в состояние		
Планирование машинного эксперимента реализации модели системы обработки непрерывно-дискретного потока данных для определения перехода объекта из состояния в состояние		
Тестирование модели системы. Метод «черного ящика»		
Оценка точности результатов моделирования системы обработки непрерывно-дискретного потока данных для определения перехода объекта из состояния в состояние		
Подготовка отчета		
Сдача отчета на кафедру		
Защита отчетов		

Руководитель _____

(подпись, дата)

Обучающийся _____

(подпись, дата)

Учебное издание

Бугакова Татьяна Юрьевна

Бугаков Пётр Юрьевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *О. И. Голиков*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 06.09.2022. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 3,8. Тираж 75 экз. Заказ 146.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.