

УДК: 004.942

В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Ю. Коротина

## Система визуализации и управления вычислительным экспериментом в среде многоуровневого моделирования МАРС

Предложена архитектура среды многоуровневого моделирования МАРС, предназначенная для компьютерного исследования сложных технических объектов и их виртуальных аналогов, представленных компьютерными моделями в формате компонентных цепей. Рассмотрена классификация компонентов, выявлены их общие и специфические функции, на основе которых предложена диаграмма классов компонентов для реализации в среде моделирования МАРС.

**Ключевые слова:** компьютерная модель, визуализация результатов, алгоритм обработки, виртуальный прибор, уровень.

### 1. Введение

При компьютерном исследовании сложных технических объектов (ТО) и (или) их виртуальных аналогов актуальным вопросом является визуализация результатов измерения и моделирования в естественном виде, а также осуществление возможности управления топологией и (или) параметрами модели объекта.

В данной работе рассматривается архитектура среды многоуровневого моделирования МАРС, включающая в свой состав многослойный редактор, позволяющий визуально разделить компьютерную модель исследуемого объекта, систему обработки результатов моделирования и средства их визуализации и управления параметрами ТО. Основное внимание в статье уделено вопросам построения библиотек моделей компонентов, позволяющих формировать лицевые панели виртуальных измерительных приборов и стендов, компьютерные модели исследуемых ТО и (или) средства сопряжения с реальными объектами, а также алгоритмы сбора и обработки результатов моделирования и исследования.

### 2. Архитектура среды многоуровневого моделирования МАРС

Основной задачей среды моделирования МАРС [1], основанной на методе компонентных цепей (МКЦ), является моделирование сложных технических объектов и систем во временной и частотной области. Для визуализации результатов моделирования в настоящее время применяются измерительные компоненты с цифровым табло, а также стандартные средства визуализации динамических данных, к которым относятся графики и таблицы. Переданные в них результаты могут быть обработаны различными командами, но для реализации различных виртуальных приборов [2] и стендов необходимы средства, которые бы проводили обработку, визуализацию результатов и изменение параметров компонентов модели в интерактивном режиме.

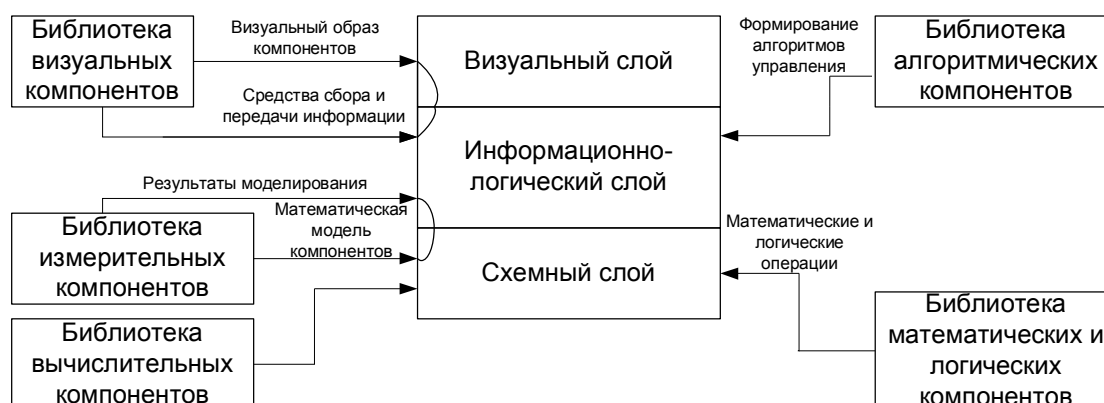


Рис. 1. Многоуровневая архитектура среды моделирования МАРС

Для этих целей предлагается многоуровневая архитектура среды моделирования МАРС (рис. 1), состоящая из трех уровней обработки информации, выраженных на соответствующих слоях редактора:

– *визуальном слое*, на котором из графических образов визуальных компонентов формируется лицевая панель виртуального измерительного прибора или лабораторного стенда, максимально приближенного к лицевым панелям реальных измерительных приборов и стендов;

– *информационно-логическом слое*, где располагаются алгоритмы обработки результатов и управления параметрами исследуемой модели ТО, формируемые из информационных, математических и логических компонентов;

– *схемном слое*, на котором располагаются представленная в формате компонентных цепей компьютерная модель исследуемого объекта и (или) схема сопряжения с реальным исследуемым объектом.

На схемном слое модель исследуемого объекта представляется в виде компонентной цепи как совокупности взаимосвязанных между собой компонентов. Каждому компоненту схемного слоя ставится в соответствие вычислительная модель, реализующая этот компонент в рамках универсального вычислительного ядра. Моделирование компонентной цепи, полученной в результате связи всех компонентов, производится путем автоматического формирования и расчета системы алгебро-дифференциальных уравнений в статическом или динамическом режиме.

Для визуализации результатов экспериментов и управления параметрами исследуемого объекта и его модели используются виртуальные измерительные приборы и стенды. Они состоят из лицевой панели, с которой имеет дело пользователь во время исследования, и алгоритмов управления прибором и обработки результатов эксперимента. Лицевая панель прибора или стенда формируется на визуальном слое редактора, а алгоритмы управления – на информационно-логическом слое.

Алгоритмы обработки результатов измерения и моделирования формируются на информационно-логическом слое в виде одной или нескольких цепочек алгоритмов. Информация между компонентами данного слоя осуществляется с помощью механизма обмена сообщениями [2].

На визуальном слое формируется лицевая панель виртуального измерительного прибора либо стенда системы управления исследуемой моделью технического объекта. На информационно-логическом слое данные компоненты имеют связь для получения подлежащих визуализации результатов, а также для передачи в алгоритмы управления пользователем информации.

Формирование компьютерной модели исследуемого объекта или схемы сопряжения с ним, а также лицевой панели виртуального измерительного прибора или стенда и схемы ее взаимодействия с моделью производится с помощью следующих библиотек:

1. Библиотеки визуальных компонентов, состоящей из компонентов для формирования лицевых панелей виртуальных приборов и стендов.
2. Библиотеки вычислительных компонентов, из которых формируется компьютерная модель исследуемого объекта для моделирования с помощью универсального вычислительного ядра.
3. Библиотеки измерительных компонентов, предназначенных для передачи результатов моделирования со схемного на информационно-логический слой.
4. Библиотеки математических и логических компонентов, представляющих собой набор компонентов для выполнения элементарных математических и логических операций над данными числовых и логических типов.
5. Библиотеки алгоритмических компонентов, содержащей компоненты для организации ветвления алгоритмов обработки данных.

С целью построения диаграммы классов и реализации библиотек моделей компонентов необходимо рассмотреть формальные признаки компонентов каждого класса в рамках метода компонентных цепей.

### 3. Формализация компонентов среды многоуровневого моделирования МАРС

Среда многоуровневого моделирования МАРС базируется на методе компонентных цепей, основными понятиями которого являются компонент и компонентная цепь. Совокупность исследуемого технического объекта или его модели с панелью управления и вывода результатов, набранную в многослойном редакторе, можно представить компонентной цепью вида

$$C = (L_M \text{б } L_D \text{б } L_C \text{б } I_D \text{б } I_C \text{б } T_D \text{б } T_C) \text{б} \quad (1)$$

где  $K_V$  – множество компонентов визуального слоя;  $K_L$  – множество компонентов информационно-логического (логического) слоя;  $K_C$  – множество компонентов схемного слоя;  $B_L$  – множество связей компонентов логического слоя. С их помощью посредством механизма обмена сообщениями передаются сигналы, содержащие необходимую информацию.

К данному множеству также относятся атрибутные связи компонентов визуального и логического слоев, благодаря которым изменяются их параметры и свойства компонентов визуального и схемного слоя;  $B_C$  – множество связей схемного слоя;  $N_L$  – множество узлов логического слоя;  $N_C$  – множество узлов схемного слоя.

С целью реализации единой диаграммы классов компонентов из библиотек среды многоуровневого моделирования МАРС рассмотрим формальное представление компонентов каждого слоя и выявим методы, подлежащие разработке в программно-алгоритмической реализации компонентов. Наиболее подходящей технологией реализации библиотеки моделей компонентов является технология объектно-ориентированного программирования, позволяющая реализовывать компоненты в виде иерархии классов.

### 3.1. Формальное описание компонентов схемного слоя

На схемном слое многослойного редактора среды моделирования МАРС формируется компонентная цепь исследуемого объекта вида

$$C_C = (K_C, B_C, N_C),$$

которая моделируется универсальным вычислительным ядром. Для передачи результатов моделирования со схемного на логический слой с целью их обработки и визуализации используются компоненты, реализованные в библиотеке измерительных компонентов. Каждый из них имеет свое отображение как на схемном (рис. 2, а), так и на логическом слое (рис. 2, б). Представленный на схемном слое образ измерительного компонента узлами  $N_1$  и  $N_2$  включается в соответствующее место компонентной цепи и позволяет получить значение потенциальных или потоковых переменных. После чего измеренное значение передается в виде сигнала другим компонентам логического слоя через узел  $N_3$  с целью дальнейшей обработки и визуализации. Обработка сигналов у компонентов данного типа связана с извлечением необходимых значений субвектора решения и передачей его на логический слой для последующей обработки и визуализации.

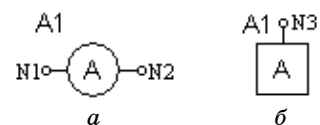


Рис. 2. Измерительные компоненты: а – отображение на схемном слое; б – отображение на информационно-логическом слое

К таким измерителям относятся амперметр, потенциометр для величин электрической природы, динамометр и спидометр для механических величин, а также другие измерительные компоненты.

### 3.2. Формальное представление компонентов-преобразователей сигналов

Обработка результатов моделирования производится на логическом слое редактора с помощью компонентов множества  $K_L$ . Данные компоненты, называемые *компонентами-преобразователями* (рис. 3), реализуются в библиотеке математических и логических компонентов, каждый из которых реализует конкретную математическую или логическую операцию над значениями, переданными по совокупности входных связей  $S_I$ , результаты которых передаются по совокупности выходных связей данного компонента  $S_O$ .

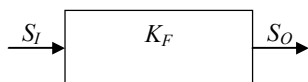


Рис. 3. Обобщенный компонент-преобразователь сигналов

Модель каждого компонента-преобразователя реализуется в явном виде:

$$Y = F(P, X), \quad (2)$$

где  $P$  – параметры компонента, заданные до начала работы алгоритма;  $X$  – входные переменные, полученные компонентом с помощью входных связей  $S_I$ ;  $Y$  – выходные переменные, подлежащие передаче через выходные связи  $S_O$ ;  $F$  – векторная функция преобразования входных переменных в выходные.

Основными методами, реализуемыми в классах данных компонентов, являются:

- визуализация компонента на информационно-логическом слое;
- функция  $F$  преобразования сигналов из (2), поступивших по входным связям  $S_I$ , подлежащие передаче значения посредством выходных связей  $S_O$ ;
- передача результатов через выходные связи  $S_O$ .

В зависимости от функционального назначения компонентов передача результата может производиться компонентом рассматриваемого класса в следующих случаях:

- когда хотя бы на один из его входов получен сигнал;
- когда на все входы компонента получены сигналы.

К множеству  $K_L$  относятся компоненты, реализующие математические, логические и алгоритмические операции над данными числовых типов, а также другие компоненты по обработке данных различных типов.

### 3.3. Формальное представление компонентов-визуализаторов

Компоненты-визуализаторы входят в состав множества  $K_V$  и реализуются в библиотеке визуальных компонентов. Их основным функциональным назначением является отображение на визуальном слое (рис. 4, а) информации, находящейся в получаемом сообщении. Прием сообщения производится с помощью узла  $N_1$  на отображении этого компонента на логическом слое (рис. 4, б). Основными методами, реализуемыми в классах данных компонентов, являются:

- отображения компонента на логическом (рис. 4, а) и визуальном (рис. 4, б) слоях редактора;
- получение сообщения с помощью узла  $N_1$ ;
- обработка полученной информации и ее отображение на визуальном изображении компонента.

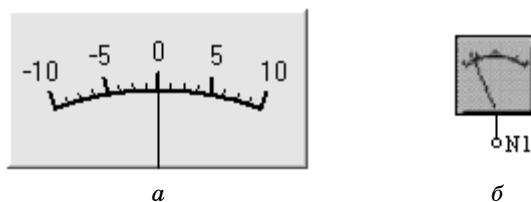


Рис. 4. Компонент-визуализатор

а – отображение на визуальном слое

б – отображение на информационно-логическом слое

К множеству компонентов-визуализаторов относятся стрелочные компоненты, горизонтальные и вертикальные индикаторы, выполненные в виде прогресс-индикаторов, термометры, эквалайзеры и т.п.

### 3.4. Формальное представление компонентов-регуляторов

Компоненты-регуляторы из множества  $K_V$  предназначены для управления и регулирования параметрами исследуемой компьютерной модели технического объекта. Помимо визуального образа, на визуальном слое редактора (рис. 5, а) они имеют отображение на логическом слое с единственным узлом  $N_1$  (рис. 5, б), посредством которого они передают информацию об изменении подвижного органа регулятора в алгоритм обработки информации.

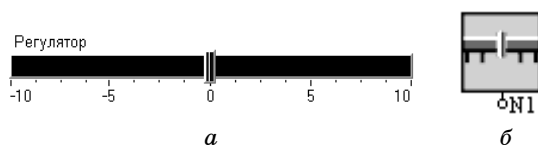


Рис 5. Компонент-регулятор:

а – отображение на визуальном слое;

б – отображение на информационно-логическом слое

- отображение компонента на логическом (рис. 5, а) и визуальном (рис. 5, б) слоях редактора;

- взаимодействие с пользователем и преобразование геометрической информации положения подвижного элемента в необходимое для передачи другим компонентам значение;

- прием и обработка сообщений, приходящих на атрибутивные связи компонента с целью изменения его внешнего вида или параметров его модели.

Во множество компонентов-регуляторов входят такие компоненты, как цифровое табло со спином, кнопки, регуляторы и другие компоненты, позволяющие изменять параметры других компонентов.

## 4. Диаграмма классов библиотек моделей компонентов

На основе формального рассмотрения компонентов всех типов, обеспечивающих выполнение вычислительного эксперимента в среде многоуровневого моделирования МАРС, с целью построения диаграммы классов компонентов выявлены присущие им методы обработки сигналов. К ним относятся:

- метод визуализации компонента на определенном слое или на двух слоях;
- метод инициализации параметров, вызываемый при запуске системы;
- метод получения сообщений с помощью входных узлов компонента;
- метод, реализующий функцию  $F$  из (3) или математическую модель вычислительного компонента;
- метод отправки сообщений с одного или нескольких выходных узлов.

Исходя из введенных в обобщенные классы компонентов, из которых формируются библиотеки, была построена диаграмма классов (рис. 6), где основной класс – *CComponent*. В нем реализованы общие для всех компонентов методы, а также содержатся переменные для хранения общих свойств и переменных.

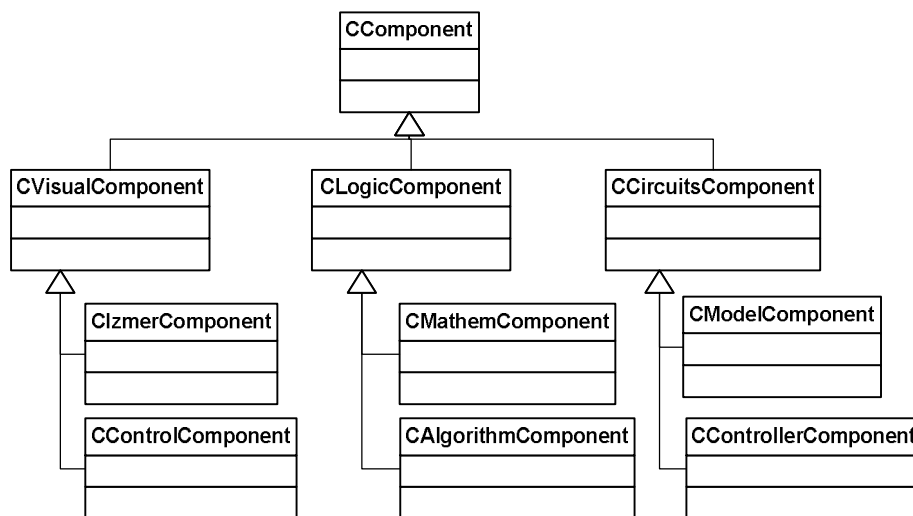


Рис. 6. Диаграмма классов библиотек моделей компонентов, разработанная для среды многоуровневого моделирования MAPC

В диаграмму классов введены следующие компоненты:

- *CVisualComponent* – родительский класс компонентов визуального слоя, объединяющий в себя наиболее общие свойства и методы компонентов множества  $K_V$ ;
- *CLogicComponent* – родительский класс компонентов информационно-логического слоя. Он является родителем для всех классов компонентов, входящих во множество  $K_L$ ;
- *CCircuitsComponent* – родительский класс компонентов множества  $K_C$ , имеющих отображение на схемном слое редактора среды многоуровневого моделирования MAPC.

На основе исследования компонентов построена диаграмма классов для реализации компонентов в рамках предложенных библиотек среды многоуровневого моделирования MAPC. Диаграмма классов включает компоненты для формирования лицевых панелей виртуальных измерительных приборов и стендов, компьютерных моделей исследуемых объектов или схем сопряжения системы с реальными объектами, а также алгоритмов управления прибором (стендом) на разных слоях многослойного редактора.

### 5. Организация компьютерного эксперимента в среде многоуровневого моделирования MAPC

Среда многоуровневого моделирования MAPC с применением виртуальных измерительных приборов позволяет организовать вычислительный эксперимент, максимально приближенный к натурному. Это достигается применением виртуальных измерительных

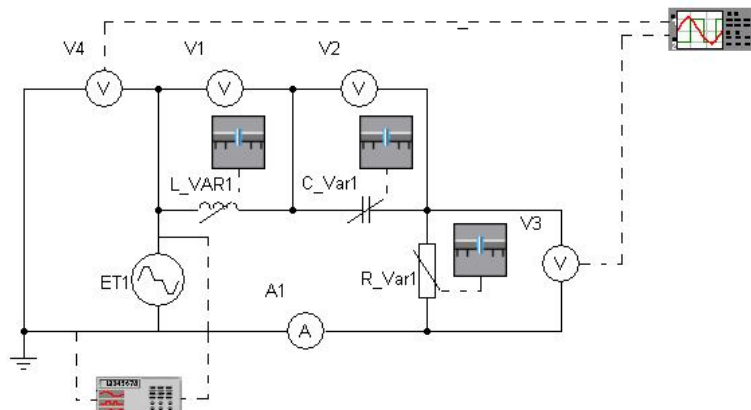


Рис. 7. Компонентная цепь исследуемого объекта на схемном слое (пунктирами обозначены связи, существующие на логическом слое)

приборов и компонентов регулирования параметров модели. В качестве примера рассмотрим методику исследования последовательной RLC-цепи при гармоническом воздействии в условиях изменения параметров ее элементов. Для этого на схемном слое формируется компьютерная модель исследуемой цепи в формате компонентных цепей (рис. 7).

На логическом слое с помощью компонентов-атрибутов, ассоциированных с параметрами компонентов исследуемой цепи, формируются алгоритмы

регулирования параметров компонентами-регуляторами, а также алгоритмы передачи результатов моделирования с измерительных компонентов на осциллограф.

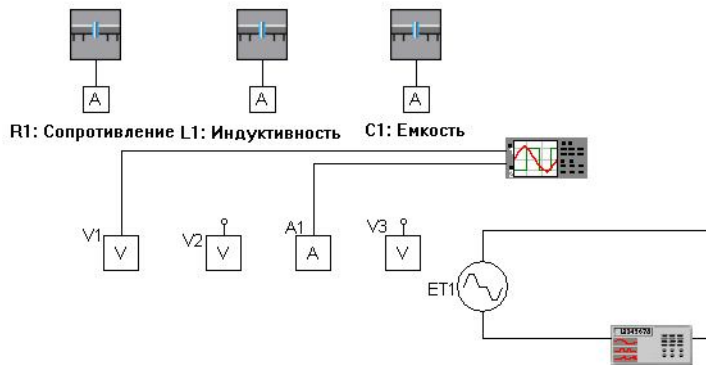


Рис. 8. Организация эксперимента на логическом слое

среде объединены возможности компьютерного моделирования технических объектов на основе автоматического формирования и решения системы алгебро-дифференциальных уравнений и имитационного моделирования средств обеспечения интерактивного вычислительного эксперимента над компьютерными моделями физически неоднородных технических объектов.

На визуальном слое располагаются визуальные образы регуляторов, с помощью которых в интерактивном режиме пользователь имеет возможность изменения значений параметров сопротивления, емкости и индуктивности, а также располагаются лицевые панели виртуальных приборов – функционального генератора и осциллографа, задействованных в эксперименте (рис. 9).

Таким образом, с помощью многослойного редактора в единой

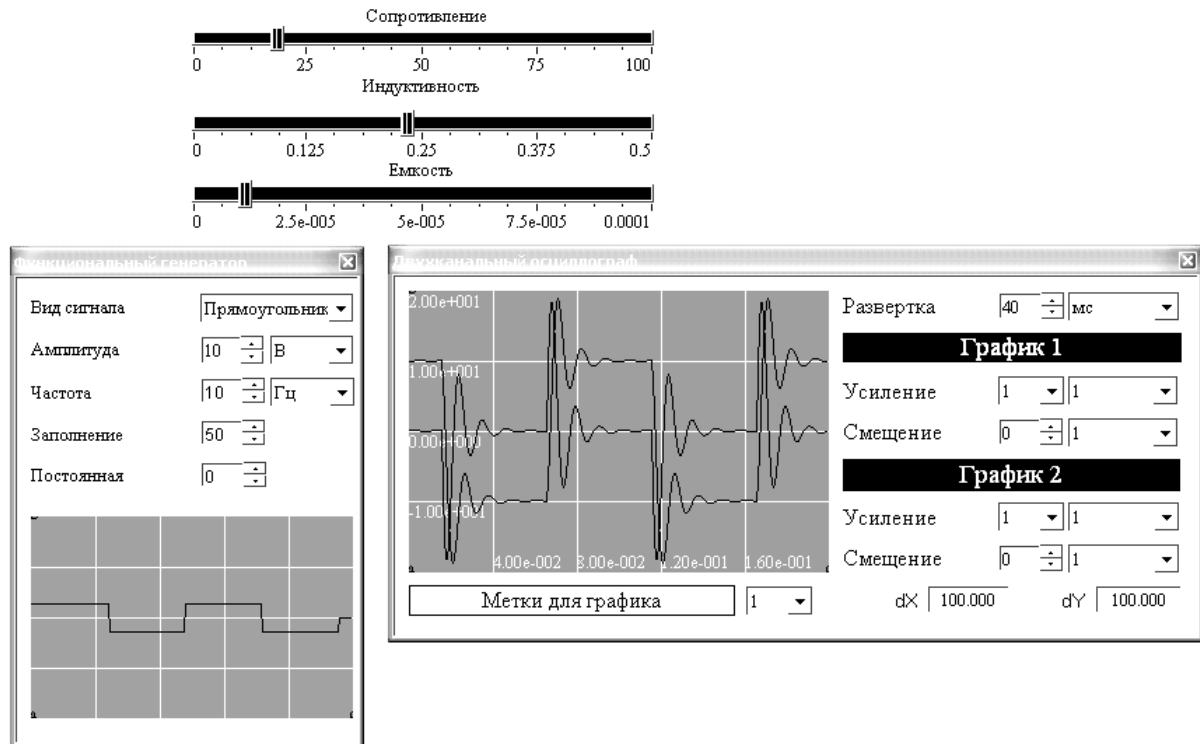


Рис. 9. Экспериментальный стенд на визуальном слое редактора многоуровневой среды MARCS

### Заключение

При компьютерном исследовании различных технических объектов и (или) их виртуальных аналогов важным вопросом является визуализация и обработка измеряемых величин и результатов моделирования, а также управление параметрами модели технического объекта. В данной работе предложена и исследована многоуровневая архитектура среды моделирования MARCS, рассмотрено назначение и содержание библиотек моделей компонентов, предназначенных для построения модели исследуемого объекта, лицевых панелей виртуальных измерительных приборов и стендов управления параметрами технического объекта в процессе вычислительного эксперимента, а также алгоритмов обработки результатов измерения и моделирования для их представления на визуальном слое. С целью реализации библиотек предложена и исследована классификация компонентов, выявлены общие и специфические свойства и методы компонентов каждого из слоев мно-

гослойдного редактора, на основе которых предложена диаграмма классов моделей компонентов.

Разработка многоуровневой архитектуры среды моделирования МАРС и рассмотренных библиотек моделей компонентов позволит расширить функции исследования технических объектов, а также реализовать на их основе разнообразные компьютерные лаборатории, используя унифицированные виртуальные приборы.

#### *Литература*

1. Дмитриев В.М. Среда моделирования МАРС // В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.Н. Зайченко и др. – Томск: В-Спектр. – 2007. – 295 с.
2. Дмитриев В.М. Редактор виртуальных инструментов и приборов / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Ю. Коротина // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2009. – № 6. – С. 19-24.

---

#### **Дмитриев Вячеслав Михайлович**

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. теоретических основ электротехники ТУСУРа

Тел.: (3822) 41-39-15

Эл. почта: decan@toe.tusur.ru

#### **Ганджа Тарас Викторович**

Канд. техн. наук, доцент Высшего колледжа информатики, электроники и менеджмента ТУСУРа

Тел.: (3822) 41-39-15

Эл. почта: gandga@toe.tusur.ru

#### **Коротина Татьяна Юрьевна**

Зав. аспирантурой отделения послевузовского профессионального образования ТУСУРа

Тел. (3822) 41-39-15

Эл. почта: korotina@tusur.ru

Dmitriev V.M., Gandsha T.V., Korotina T.Y.

#### **System of imaging and control architecture environment multilevel modeling**

The article presents a multi-level modeling environment architecture MARS, designed for computer studies of complex technical objects and their virtual counterparts, presented by computer models in the format of component circuits. We consider the classification of the components, reveal their common and specific functions which are offered as a basis for the class diagram of components intended for implementation in the environment MARS.

**Keywords:** computer model, visualization results, processing algorithm, virtual instrumentation, level.