

УДК 618.518:681.3.062

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Бондаревский А.С., Лебедев А.В.

ФГУП НИИ «Физических проблем им. Ф.В. Лукина», Москва, e-mail: admin@niifp.ru

Все технически реализуемые и практически значимые операции моделирования имеют семь разновидностей, из которых три являются имитационными. В основе приводимого определения имитационного моделирования лежит физичность координат и параметров его образов-моделей, – следствие их подходящего разукрупнения-детализации. При этом получается, что у имитационного моделирования имеют место пять применяемых свойств. В связи с этим, например, получается, что имитационное моделирование становится единственно возможным средством реализации координатно-параметрического управления сложными объектами.

Ключевые слова: имитационное моделирование, координатно-параметрическое управление

SIMULATION MODELING: DEFINITION, APPLICABILITY AND TECHNICAL REALIZATION

Bondarevsky A.S., Lebedev A.V.

NI of Physical Problem F.V. Lukina, Moscow, e-mail: house 6, admin@niifp.ru

All technically implemented and almost significant operations of modeling have seven variety. From this variety of modeling three are imitating. At the heart of resulted definition of imitating modeling lies evident (having physical sense) an aspect of coordinates and parametres of its images-models. It is a consequence of detailed elaboration of coordinates and parametres of imitating models. It is thus gained that at imitating modeling five properties occur. In this connection, for example, it is gained that imitating modeling appears the unique means of realisation of coordinate-parametrical management of difficult installations.

Keywords: simulation modeling, coordinate-parametrically control

В настоящее время имитационное моделирование применяется в самых разных областях человеческой деятельности: в промышленности, на транспорте, в экономике, экологии, в сферах информационной безопасности и услуг, а также в сферах общественных, государственных и военных отношений. При этом спектр решаемых задач является весьма широким, а именно:

- научные исследования (планирование экспериментов, определение статистических характеристик случайных факторов, проверка статистических гипотез);
- автоматическое проектирование;
- отработка рабочих режимов пилотных объектов;
- автоматическое управление;
- организация, оценка, планирование и прогнозирование человеческих отношений;
- учебная деятельность;
- воспроизведение игровых ситуаций.

В свою очередь, означенным задачам отвечают такие объекты имитационного моделирования, как производство, IT-инфраструктуры, бизнес-процессы, сервис, рынок и конкуренция, управление проектами, логистика, дорожное, воздушное, морское движение, экология, динамика роста населения, исторические процессы, информационная безопасность, боевые действия и пр.

В таком качестве имитационное моделирование известно в основном со времени начала широкого использования компью-

теров, – с 60-х годов. Но при этом все его распространённые, – принятые в научных изданиях и учебниках, определения являются, как это ни парадоксально, некорректными – неинформативными, неполными, противоречивыми. И это безотносительно того, что некорректным, здесь, – семантически избыточным, является и сам термин «имитационное моделирование»¹.

Так, считается, что **имитационное** моделирование – это есть «**имитация** реальных объектов (логический круг, – авт.)» [1], или «исследование реальных систем по их **имитационным** моделям (логический круг, – авт.) [2], или «метод исследования, основанный на замене изучаемой системы её **имитатором** (логический круг, – авт.) [3], или «логико-математическое описание объекта (необходимость, но слабая достаточность, – авт.)» [4], или «соединение традиционных методов моделирования с компьютерными (о чём речь?, – авт.)» [5], или «имитация составляющих процесс элементарных явлений с сохранением его логической и временной структуры («имитация», – логический круг, «элементарных явлений», – что за?, «с сохранением его ...

¹ На тему [1]: моделирование – это есть «воспроизведение физических реалий другими (ниже, – информативными, – авт.) средствами», а это значит, что всякое моделирование представляет собой имитацию и в этом отношении всегда, таким образом, является имитационным.

временной структуры», – что за?, – авт.)» [6], или «статистическое моделирование (слабая необходимость, – авт.)» или компьютерная реализация (слабая необходимость, – авт.) т.д. и т.п. Так что же такое имитационное моделирование?

Определение и разновидности моделирования

Уточняя известные определения, можно утверждать, что моделирование это есть **информационное восприятие того или иного физического объекта** [7]. Здесь, – информационное восприятие как донесение до человека описывающей физической объект моделирования **связанной информации**²-истины³. Также известно, что всякое **моделирование представляет собой информационную операцию (ИО) типа «Восприятие»** [10], т.е. представляет собой информационный образ того или иного **экспериментального** целенаправленного действия, морфологически, – представляет собой экспериментальное отображение тех или иных, имеющих место, информационных прообразов. В случае моделирования ими являются такие разновидности связанной информации, как «связанная информация К» и «связанная информация С»⁴. В соответствии с этим получается, что существуют две и, таким образом, только две наиболее общие разновидности моделирования. Здесь – такие, как отображения:

1) Связанная информация – связанная информация С, что обычно называют «**физическим моделированием**».

² Связанная – это информация, семантика которой имманентно связана с её формой – «ассоциирована» с формой, «диффундирована» в неё. Поэтому семантика связанной информации непосредственно, – без к/л дешифратора, выражается в её форме. Альтернативой связанной информации является свободная информация, – информация, семантика которой с формой имманентно-ассоциированно-диффундированно не связана и потому в форме непосредственно, – без названного дешифратора, не выражается. Виды свободной информации: данные (data) – информация, полученная из природы, минуя разум или его техногенную имитацию; сведения (facts) – данные, воспринятые разумом или его техногенной имитацией и знания (science, knowledge) – структурированные сведения [8, 9].

³ Истина (связанная информация о субстанции качества, кантианская «вещь в себе»), как и всякая связанная информация, представляет собой имманентное описание той или иной физической реальности, – прообраз всякого техногенного или антропогенного восприятия. Истина, – это то, что «природа говорит, только будучи спрошенной (здесь, спрошенной посредством названного восприятия, – авт.)».

⁴ Связанная информация К – это есть информация, имманентно описывающая субстанцию качества К, т.е. это есть связанная информация off-line. В свою очередь, связанная информация С, – это информация, имманентно описывающая субстанцию свойства С, т.е. – это связанная информация on-line.

2) Связанная информация С – **свободная информация**, что обычно называют «**математическим моделированием**».

Обратим внимание на то, что результаты моделирования, **модели**, являются его информационными образами. Это значит, что в случае физического моделирования всякая модель представляет собой образ-связанную информацию С, а в случае математического моделирования, образ-свободную информацию. Будем иметь в виду, что всякая информация, – связанная и свободная, имеет своими компонентами-свойствами **семантику** и **форму** семантики, ниже, – информационную (в отличие от таковой материальной) [8, 9]. Как известно, понятие формы проявляется в таких её компонентах, как **структура** и определённость-**значение** структуры. При этом различные определённости-значения той или иной структуры формы задаются с помощью того, что обычно называют «**параметрами**». Математические модели с точки зрения физического смысла их информационных форм (информационных форм их семантики) могут быть абстрактными, – **аналитическими**, и конкретными, – **имитационными**. В то же время с точки зрения используемых абстракций эти формы-модели могут быть **знаковыми** (формульными) и **графическими**. С другой стороны, эти формы могут иметь как бумажный, так и электронный носители. В свою очередь, последние могут быть **дискретными** (реализуемыми с помощью цифровых ЭВМ) или **аналоговыми** (реализуемыми с помощью аналоговых средств, например, аналоговых вычислительных машин АВМ).

Теперь обратим внимание на то, что в каждой математической, – аналитической и имитационной, модели-свободной информации:

- Структура формы семантики проявляется в так называемых **координатах**⁵, здесь:
 - **переменных** (знаковые модели);
 - **связях-рёбрах орграфов** [графические (блочные) модели-орграфы].
- Значения структуры формы семантики задаются с помощью **параметров**:
 - **коэффициентов** (знаковые модели);
 - **операторов**⁶ – («содержимого» прямоугольников) блочной схемы (графические модели).

⁵ Этимологически термин «координата» вытекает из его синонима, – соответствующей оси фазового пространства решений изначально описывающего объект моделирования того или иного дифференциального уравнения.

⁶ Здесь, – операторов статических (коэффициентов пропорциональности), дифференциальных и интегральных (функции Грина, преобразований Фурье, Лапласа–Карсона).

При этом будем учитывать, что информационные формы математических моделей, – структуры и их значения, а следовательно, раскрытые таким образом координаты и параметры, могут как *иметь*, так и *не иметь* физического смысла. Далее, если из всех индуцируемых таким образом моделей не рассматривать нереализуемые технически и не имеющие практической значимости (например, аналитические, графические и формульные электронные), то получается **полное множество** разновидностей моделей, – **разновидностей операций моделирования**, представленное на рис. 1.

Как следует из рис.1, все имеющие место операции моделирования имеют такие две фундаментальные разновидности, как моделирование физическое (модель, – связанная информация С) и **математическое**

(модель, – свободная информация). В свою очередь, операции математического моделирования включают такие их разновидности, как моделирование **аналитическое** [форма модели – знаковая (формульная) со структурой типа «переменные & коэффициенты», в которой коэффициенты не имеют физического смысла], **аналитико-имитационное**, **имитационное дискретное** и **имитационное аналоговое**.

Таким образом, получается, что все физически реализуемые и практически значимые операции моделирования (см. ниже) составляют полное множество из **семи** их разновидностей. При этом, как оказывается, имеет место не, как это принято считать, одна, а **три** разновидности операций имитационного моделирования.



Рис. 1

Определение и разновидности имитационного моделирования

В принятом алфавите названные выше разновидности имитационного моделирования могут быть поименованы и определены, как:

1) **Аналитико-имитационное**, – форма модели знаковая (формульная) со структурой типа «переменные & коэффициенты», в которой коэффициенты-параметры **имеют физический смысл**⁷.

2) **Имитационное дискретное**, – форма модели графическая (блочная) со структурой типа «связи & операторы», в которой связи-координаты и операторы-параметры **имеют физический** смысл и реализуются с помощью ЭВМ.

3) **Имитационное аналоговое** – форма модели графическая (блочная) со структурой типа «связи & операторы», в которой связи-координаты и операторы-параметры **имеют физический смысл** и реализуются с помощью АВМ.

Примеры моделей-образов математического (в т.ч. имитационного) моделирования (здесь – применительно к физическому объекту моделирования, – резонансному электрическому контуру, – цепочке элементов: резистор R, индуктивность L, конденсатор С).

Аналитическая модель

$$U'' + \alpha U' + \beta U = \gamma U_{вх}, \quad (1)$$

где α , β , γ – коэффициенты-параметры, а $U_{вх}$ и U – входное и выходное (на ёмкости С) напряжения-координаты модели контура. В данном случае коэффициенты-параметры α , β , γ не имеют физического

⁷ При этом переменные-координаты могут как иметь (уравнения статические и динамические – дифференци-альные 1, 2-го порядка), так и не иметь физического смысла.

смысла, и потому модель (1) не является имитационной.

Аналитико-имитационная модель

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{вх}} &= U_L + U_R + U_C, \\ U_C &= U, \\ U_L &= LC U'', \\ U_R &= RC U', \end{aligned} \right\}$$

или

$$U'' + \frac{R}{L} U' + \frac{1}{LC} U = \frac{1}{LC} U_{\text{вх}}. \quad (2)$$

В данном случае модель (2) отличается от представленной выше модели (1) наличием физического смысла у коэффициентов-параметров. – причиной квалификации модели (2), как имитационной.

Имитационная дискретная модель представлена на рис. 2.

В данном случае причиной квалификации представленной на рис. 2 модели, как имитационной, является **наличие физического смысла** у всех её связей-координат U , U' , U'' и операторов-параметров LC , RC и т.д.

Имитационная аналоговая модель представлена на рис. 3.

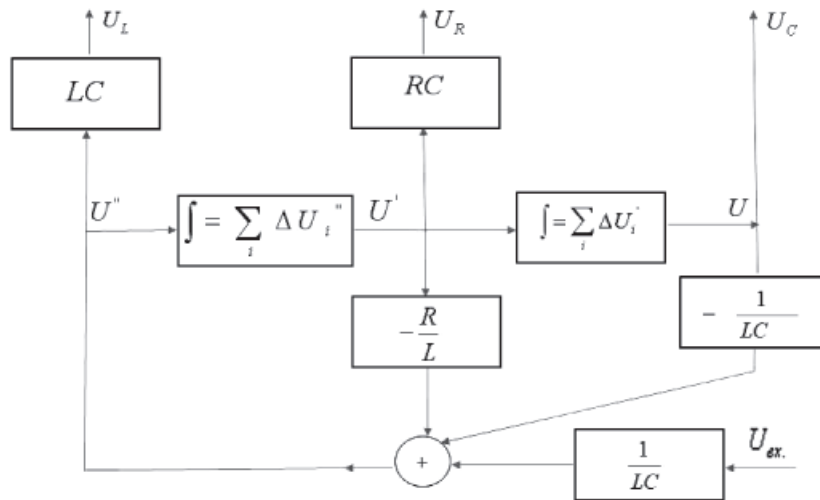


Рис. 2

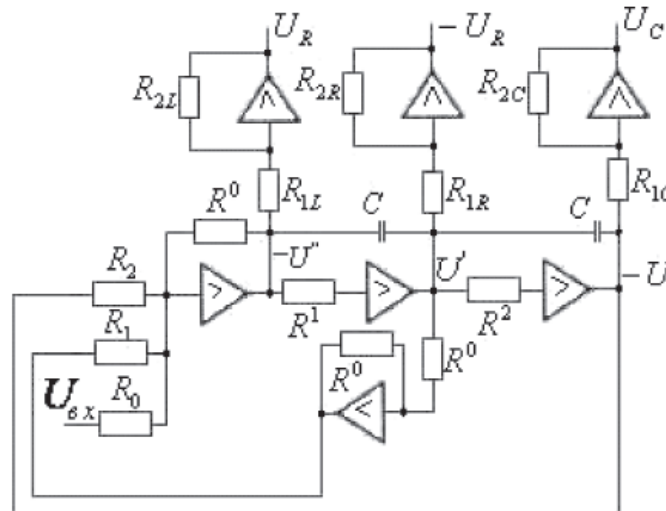


Рис. 3

В данном случае причина квалификации представленной на рис. 3 модели, как имитационной, та же, что и у модели, представленной на рис. 2.

В приведенных выше определениях и примерах разновидностей имитационного моделирования общим является то,

что все они относятся к моделированию **математическому**, которому свойственны образы-модели, представляющие собой свободную информацию. В данном случае представляющие собой **свободную информацию**, форма которой (ниже понятие «форма» отождествляется, – по причине

имеющей место при всяком моделировании неизменности воспринимаемой семантики информации) с понятиями «образ», «модель» – «свободная информация») имеет **знаковое** (формульное) или **графическое** (блочное) проявление. А последнее, в свою очередь, проявляется в виде **координат и параметров**:

- **переменных и коэффициентов** (знаковый случай формы);
- **связей и операторов** (графические случаи формы).

При этом определяющим, – свойственным ему и только ему, свойством имитационного моделирования является **физичность**, – исполненность очевидного применяемостного смысла образа–модели–формы, а точнее, – **физичность проявляющих** эту **форму координат** (переменных, связей) **и параметров** (коэффициентов, операторов).

Отсюда вытекает определение **имитационного моделирования**, как **математического, информационная форма образов-моделей которого, проявляемая в координатах** (переменных, связях) **и параметрах** (коэффициентах, операторах), **имеет физический смысл**.

Обратим внимание на такое определяющее свойство имитационного моделирования, как физический смысл координат и параметров информационной формы его образов-моделей. Достижение этого свойства возможно только в процессе разукрупнения-детализации исходной математической модели – «чёрного ящика»⁸ моделируемого физического объекта. При этом детализации-разукрупнения такой модели – «чёрного ящика» вплоть до обретения получающимися при этом компонентами информационных форм – координатами и параметрами, заявленного физического смысла. Как оказывается, такое разукрупнение сопровождается неизбежным «механически-количественным» усложнением и в итоге, – повышением до предельной структурной сложности-громоздкости получаемых имитационных моделей. Отсюда следует и неизбежный **переход к компьютерной реализации** имитационных моделей. Выше такая неизбежность компьютерной реализации была определена как слабая необходимость имитационного моделирования. [Здесь – «слабая», потому что, как было показано, наряду с означенным имитационным дискретным, существуют ещё такие разно-

видности имитационного моделирования, как аналоговое и аналитико-имитационное (см. рис. 1)].

Применяемость и техническая реализация имитационного моделирования

Из приведенного определения имитационного моделирования следует, что его **сущностными** свойствами являются физичность и соответственно предельная детализованность-разукрупнённость компонент формы образа-модели, здесь, – детализованность-разукрупнённость её координат и параметров. А отсюда уже вытекают и такие **применяемостные** свойства имитационного моделирования (здесь, – свойства множества координат и параметров модели) как:

- наблюдаемость;
- «управляемость» (свойство возможности воздействия на целевые функции модели);
- ранжируемость по степени наблюдаемости и управляемости;
- возможность удержания наиболее значимых по управляемости и наблюдаемости;
- возможность декомпозиции их исходного множества.

Далее обращается внимание на отмеченный выше весьма широкий спектр решаемых задач имитационного моделирования: в научных исследованиях, при автоматическом проектировании, отработке рабочих режимов пилотных объектов, автоматическом управлении и пр.

В связи с этим отмечается необходимый и достаточный, – для решения этих задач, характер выделенных применяемостных свойств. А именно: из выделенных применяемостных свойств имитационного моделирования отмеченный спектр задач вытекает (необходимость), а из отмеченного спектра задач, в свою очередь, вытекают выделенные применяемостные свойства имитационного моделирования (достаточность). Как оказывается, состав этих свойств вытекает с большим запасом (например, для таких научных исследований, как статистические испытания, больше половины выделенных применяемостных свойств интереса не представляют).

Однако есть одна из сфер человеческой деятельности, – координатно-параметрическое управление [11], которое с выделенными применяемостными свойствами, а следовательно, и самим имитационным моделированием находится в самых строгих отношениях необходимости и достаточности. Это значит, что такой эффективный, предназначенный, прежде всего, для **слож-**

⁸ Здесь – «чёрного ящика»: в случае знакового представления моделируемого объекта, – уравнения с нефизичными коэффициентами [например, (1)], в случае графического представления моделируемого объекта, – одиночного блока.

ных, – «гиперактуационных» [12] и потому имеющих множество состояний объектов, метод управления, как *координатно-параметрический, может быть реализован только и только на основе имитационного моделирования.*

Более того, имитационное моделирование для этого метода управления является как бы специально созданным: оно позволяет разделить процессы управления и эксплуатации объектов управления «в пространстве и во времени», здесь, – позволяет осуществлять поиск требуемых оптимальных управляющих координат и параметров не на самих объектах, а на их имитационных моделях. В случае рассматриваемых сложных, – имеющих множество координат, параметров («гиперактуационность») и соответственно состояний и соответственно подверженным всяческому риску, объектов управления такое, обусловленное сущностью имитационного моделирования, разделение является необходимым:

– из соображений безопасности, экономичности и удобства эксплуатации объектов управления;

– из соображений быстродействия управления, которое на имитационных моделях осуществляется не в реальном, а в ускоренном масштабе времени.

Ещё одним достоинством (из соображений безопасности управления и эксплуатации объектов) использования имитационной модели при координатно-параметрическом управлении является его (управления) разомкнутый, и, поскольку оно при этом осуществляется с участием оператора, то, – автоматизированный характер.

Блок-схема такой системы координатно-параметрического управления представлена на рис. 4, где $U_{\text{вых}}^*$ – требуемое значение целевой функции объекта управления, а как $U_{\text{вых}}^*$, $U_{\text{вх}}$ и $\Pi(\alpha, \beta, \gamma)$ с соответствующими индексами обозначены выходная, входная координаты и параметры объекта и имитационной модели объекта управления.

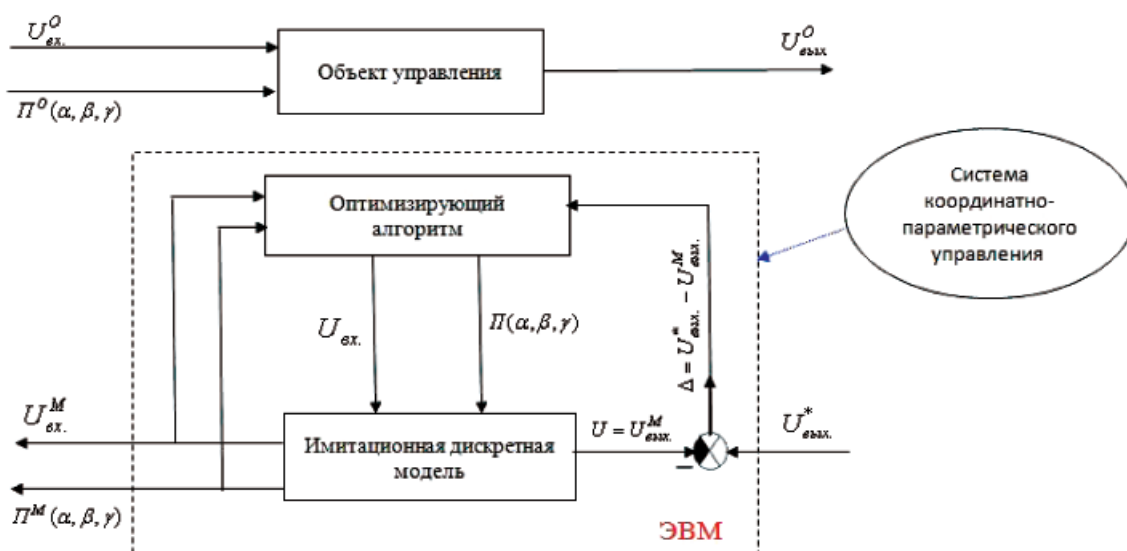


Рис. 4

На рис. 4 показано, как, исходя из установки $U_{\text{вых}}^*$, оптимизирующий алгоритм ЭВМ определяет на имитационной модели, соответственно оптимальные значения координаты $U_{\text{вх}}^{\text{ми}}$ параметров $\Pi^{\text{м}}(\alpha, \beta, \gamma)$, которые после согласования с человеком-оператором в виде координаты $U_{\text{вх}}^0$ и параметров $\Pi^0(\alpha, \beta, \gamma)$ задаются на объекте управления.

Далее обращается внимание на то, что дискретный характер подавляющего большинства имитационных моделей определяет их компьютерную реализацию. При этом, учитывая преимущественно графическое (блочное) представление имитационных моделей, программирование их должно

осуществляться в графической, – блочно-ориентированной среде.

Заключение

Все технически реализуемые и практически значимые операции моделирования имеют семь разновидностей, из которых три являются имитационными. В основе приведенного определения имитационного моделирования лежит **физичность** координат и параметров его образов-моделей, – следствие их подходящего разукрупнения-детализации. При этом получается, что у имитационного моделирования имеют место пять **применяемых** свойств. В связи

с этим, например, получается, что имитационное моделирование становится единственно возможным средством реализации координатно-параметрического управления сложными объектами.

Список литературы

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.
2. Аристов С.А. Имитационное моделирование экономических систем: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2004.
3. Астахов А. В. Распределенное моделирование задач оптимизации компьютерных сетей на вычислительном кластере [Электронный ресурс]. – <http://www.masters.donntu.edu.ua/2008.fvti/hastakhov/diss/index.htm>
4. Авдулов П.В., Гойзман Э.И., Кутузов В.А. Экономико-математические методы и модели для руководителя. – М.: Экономика, 1984.
5. Хохлов А.Р., Рабинович А.Л., Иванов В.А. Методы компьютерного моделирования для исследования полимеров и биополимеров. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
6. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технология. – СПб.: КОРОНА принт, М.: Альтекс-А, 2004.
7. Бондаревский А.С., Лебедев А.В. Информационный подход к раскрытию сущности и соотношения разновидностей операций моделирования // II Международная заочная научно-практическая конференция. – Тамбов: Изд-во ЮКОМ, 2011.

8. Бондаревский А.С. Информационные операции: свойства, применимость свойств // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 10.

9. Бондаревский А.С. Понятие и разновидности информации // Современные наукоёмкие технологии. – 2008. – № 6.

10. Бондаревский А.С. Информация: свойства и канонические разновидности // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 6.

11. Бондаревский А.С., Лебедев А.В. О необходимости моделирования при параметрическом управлении // Современные наукоёмкие технологии. – 2011. – №2.

12. Бондаревский А.С. Эволюционный менеджмент в экономике предприятий hi-tech // Экономика и социальная сфера: человек, город, Россия: сборник докладов. – М.: МГИДА, 2005.

Рецензенты:

Трояновский В.М., д.т.н., с.н.с, профессор кафедры ИПОВС Московского государственного института электронной техники (технического университета), г. Москва;

Лобанов А.В., д.т.н., с.н.с. НИИ «Субмикрон», г. Москва;

Рассветалов Л.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры радиосистем Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород.

Работа поступила в редакцию 17.10.2011.