

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Н. В. Барышников, М. Л. Белов

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 681.7.08(075.8)  
ББК 32.86-5  
Б26

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*  
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/112/book/1339>

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»  
Кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом  
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

**Барышников, Н. В.**

Б26 Математическое моделирование лазерных локационных систем : учебное пособие / Н. В. Барышников, М. Л. Белов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 57, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4291-1

Описано использование процедур математического моделирования на различных этапах проектирования лазерных локационных систем. Рассмотрены методы математического моделирования для задач распространения лазерного излучения в атмосфере при его нелинейном взаимодействии со средой распространения и прохождении зоны сильной турбулентности, а также формирования моделей входных сигналов лазерных локационных систем, исследования работы блоков управления и обработки данных измерений лазерных систем, анализа пространственной структуры дифракционного распределения излучения лазеров.

Для студентов 5–6-го курсов МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по специальности «Лазерная техника и лазерные технологии».

УДК 681.7.08(075.8)  
ББК 32.86-5

ISBN 978-5-7038-4291-1

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015

# 1. ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Под моделью (лат. *modulus* — мера, образец, норма) понимают такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты. Процесс построения и использования модели называют моделированием\*.

Моделирование — метод исследования, при котором исследуемый объект-оригинал (исследуемая сложная система) замещается более простым объектом-моделью, отражающим наиболее существенные свойства оригинала с точки зрения решаемой задачи.

Исторически научное знание представляется в буквенно-цифровой (знаковой) форме.

Знаковым называют моделирование, использующее в качестве моделей знаковые изображения какого-либо вида (схемы, графики, чертежи, иероглифы, руны, наборы символов) и включающее также совокупность законов и правил, по которым можно оперировать с выбранными знаковыми образованиями и элементами.

Примером знакового моделирования является моделирование с помощью математических соотношений. Математическое моделирование — идеальное научное знаковое моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием математических методов.

В настоящее время математическое моделирование стало эффективным средством исследования сложных систем, оценки их работоспособности, точности и потенциальных возможностей в

---

\* Смысл и цели моделирования. URL: <http://www.pmtf.msiu.ru/chair31/students/berkov/matmod13.pdf> (дата обращения 24.11.2014).

различных условиях применения<sup>\*</sup>. Благодаря известным достоинствам метода математического моделирования (простота реализации на ЭВМ численного эксперимента, контролируемость условий численного эксперимента и воспроизводимость его результатов) оно превратилось в универсальный метод, широко применяемый в различных областях науки и техники [1–3], в том числе при проектировании сложных систем различного назначения<sup>\*\*</sup>.

В кратком виде методологию математического моделирования отражает знаменитая триада «модель — алгоритм — программа», сформулированная академиком А.А. Самарским — основоположником отечественного математического моделирования. Эта методология, разработанная школой А.А. Самарского, получила свое развитие в виде «вычислительного эксперимента» — одной из информационных технологий, предназначенной для изучения явлений, когда натурный эксперимент оказывается слишком дорогим и сложным<sup>\*\*\*</sup>.

Во многих важных областях исследований натурный эксперимент невозможен, поскольку он либо запрещен (например, при изучении здоровья человека), либо слишком опасен (например, при изучении экологических явлений), либо просто неосуществим (например, при изучении астрофизических явлений).

Вычислительный эксперимент, в отличие от натуральных экспериментов, позволяет накапливать результаты, полученные при исследовании какого-либо круга задач, а затем быстро и гибко применять их при решении задач в совершенно других областях. Этим свойством характеризуются универсальные математические модели.

Проведение вычислительного эксперимента можно условно разделить на два этапа. После первого этапа вычислительного

---

<sup>\*</sup> См.: Математическое моделирование импульсных характеристик рассеяния объектов. URL: <http://llis.ru/science/sci-math-mod/sci-math-mod-pls-resp> (дата обращения 24.11.2014), а также *Лабунец Л.В.* Математическое и физическое моделирование переходных характеристик 3D-объектов в однопозиционной системе оптической локации. URL: [http://bmstu-sm5.narod.ru/labunec/Ttr1\\_At.pdf](http://bmstu-sm5.narod.ru/labunec/Ttr1_At.pdf) (дата обращения 24.11.2014).

<sup>\*\*</sup> Системы автоматизации инженерных расчетов. URL: <http://www.cadferm-cis.ru/?id=14> (дата обращения 24.11.2014).

<sup>\*\*\*</sup> *Филинов Е.Н.* История математического моделирования и технологии вычислительного эксперимента. URL: [http://www.business-process.ru/retro/po/po\\_math\\_model\\_exper.htm](http://www.business-process.ru/retro/po/po_math_model_exper.htm) (дата обращения 24.11.2014).

эксперимента при необходимости модель уточняется как в направлении ее усложнения (учет дополнительных эффектов и связей в изучаемом явлении), так и упрощения (выяснение, какими закономерностями и связями в изучаемом явлении можно пренебречь). На втором этапе цикл вычислительного эксперимента повторяется до тех пор, пока модель не будет соответствовать тому объекту, для которого она составлена.

Для исследования характеристик процесса функционирования любой системы математическими методами, включая машинные, должна быть проведена формализация этого процесса, т. е. построена математическая модель. Исходными при построении математической модели объекта являются совокупность данных о моделируемом объекте и условия, при которых необходимо провести моделирование.

Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и от задач исследования объекта и требуемой достоверности и точности решения этой задачи. Любая математическая модель, как и всякая другая, описывает реальный объект лишь с некоторой степенью приближения к действительности\*.

Наиболее важно определить цели моделирования. В зависимости от целевого назначения различные опико-электронные системы работают в разных условиях, при различных входных воздействиях и к ним предъявляются разные требования. Поэтому цели математического моделирования для них тоже будут разными.

Точная формулировка целей исследования позволяет максимально упростить используемую при моделировании математическую модель, исключив из нее второстепенные факторы.

Математическое моделирование можно подразделить на аналитическое, имитационное и комбинированное\*\*.

При аналитическом моделировании процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых

---

\* Филинов Е.Н. Указ. соч.

\*\* См.: Основные понятия теории моделирования и классификация видов моделирования. URL: <http://zxshader.narod2.ru/D7/V58/> (дата обращения 24.11.2014), а также Основные понятия теории моделирования. URL: [http://www.visteh.net/metod/pmkmp/osnovnie\\_ponyatia\\_teorii\\_modelirovaniya.pdf](http://www.visteh.net/metod/pmkmp/osnovnie_ponyatia_teorii_modelirovaniya.pdf) (дата обращения 24.11.2014).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в математическое моделирование / под ред. П.В. Трусова. М.: Логос, 2004. 440 с.
2. Математическое моделирование в технике / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. Вып. XXI. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 496 с. (Сер. Математика в техническом университете).
3. *Васильев К.К., Служивый М.Н.* Математическое моделирование систем связи. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 170 с.
4. *Барышников Н.В.* Разработка методов и оптико-электронной аппаратуры автоюстировки бортовой локационной станции с мощным источником лазерного излучения. Дис. ... д-ра техн. наук. М.: 2012. 335 с.
5. Основы импульсной лазерной локации / В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.М. Орлов, В.А. Городничев, Б.В. Стрелков. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 573 с.
6. Основы количественного лазерного анализа / В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.А. Городничев, Ю.В. Федотов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 464 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
1. Основы математического моделирования .....	5
2. Моделирование распространения лазерного излучения в атмосфере .....	14
3. Формирование моделей входных сигналов лазерных локационных систем .....	29
4. Моделирование работы систем управления лазерных комплексов .....	34
5. Моделирование алгоритмов обработки данных измерений лазерного газоанализатора .....	39
6. Моделирование пространственной структуры дифракционного распределения излучения лазера .....	48
Контрольные вопросы .....	57
Литература .....	59