

А. Н. ВОРОЩУК

Введение
в теорию применения
формального моделирования
и системного анализа
при решении практических задач
для старшеклассников

и

специалистов-**Не**математиков

Книга по Требованию
Москва
2016

УДК 510.510.8
ББК. 22.1
В 75

Книга издается в авторской редакции

Ворошук А. Н.

В 75 Введение в теорию применения формального моделирования и системного анализа при решении практических задач для старшеклассников и специалистов-нематематиков./ А. Н. Ворошук – М: Книга по Требованию, 2016. – 384 с., илл.

В книге, изложение материала в которой ориентировано на читателя, не обладающего специальной математической подготовкой, обсуждаются основные понятия теории моделирования, определяются понятия множества и функции, рассматриваются типичная последовательность этапов построения и применения формальных моделей, сопровождающие их характерные проблемы и традиционные подходы к их решению. На основе определения V-моделей, отражающего принцип «практика – критерий истины», обосновываются конструктивная методика построения формальных моделей в привычных для специалистов-экспертов понятиях и основное правило системного анализа, применение оригинальных алгоритмов отыскания решений практических задач с учетом характеристик, принимающих числовые значения или представленные в виде числовых функций, а также возможности и условия нахождения наилучшего при имеющихся данных решения поставленной задачи исследования без установления конкретного вида формальной модели, использующей только концептуальное описание учитываемых зависимостей.

In the book, the presentation of material which is aimed at the reader who does not have special mathematical training, discuss the basic concepts of the theory of modeling, define the concepts of sets and functions are considered a typical sequence of steps for constructing and applying formal models that accompany their characteristic problems and traditional approaches to solving them. On the basis of the definition of V-models, reflecting the principle of "Practice - criterion of truth", justified the constructive method of constructing formal models in the usual professional experts concepts and the basic rule of the system analysis, the use of original algorithms for finding solutions to practical problems, taking into account the characteristics of taking numerical values or presented in the form of numerical functions, as well as the opportunities and conditions for finding the best data available at the solution of the research problem without establishing a particular type of formal model that uses only the conceptual description of carried dependencies.

ISBN 978-5-519-49450-2

© А. Н. Ворошук, 2016
© Книга по Требованию, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение. Краткий очерк истории формального моделирования.....	12
Глава 1. Основные понятия.....	22
1.1. Введение. Цель и критерий исследования	22
1.2. Критерий исследования и моделирование	32
1.3. Некоторые понятия математики и задание качества моделирования	42
1.4. Этапы построения и применения формальной модели	61
1.4.1. Понятие «нормальные» внешние условия и концептуальное моделирование	61
1.4.2. Фактический материал, построение и применение формальной модели	71
Глава 2. Принцип «практика – критерий истины» и построение простейшей V-модели	103
2.1.Формальное отражение принципа «практика – критерий истины» и простейшая V-модель	103
2.2. О некоторых следствиях, вытекающих из существования простейшей канонической V-модели.....	135
2.2.1. О некоторых свойствах простейшей канонической V-модели и описываемых ею процессов.....	135
2.2.2. О существовании кусочно-постоянного, кусочно-линейного и иных видов простейших V-моделей...	154
2.3. Об алгоритмах построения и применения простейшей канонической V-модели.....	174
2.3.1. О V-алгоритме обработки данных и типичных проблемах при отыскании формального представления искомой простейшей V-модели	175
2.3.2. Об одном легко реализуемом подходе к представлению простейшей V-модели и условиях его применения.....	205
2.3.3. О VS-алгоритме обработки данных, наилучшей оценке погрешности прогнозирования и одном способе нахождения решения исходной задачи	227

2.4. О практическом применении VS-алгоритма обработки результатов измерений	256
2.4.1. О применении VS-алгоритма обработки результатов измерений с различными погрешностями	256
2.4.2. О синхронизации результатов измерений	270
2.5. Предварительные итоги	275
Глава 3. Комплексные модели и правило системного анализа	287
3.1. О построении и применении V-модели изменений одной характеристики от нескольких других	288
3.1.1. Определение V-модели изменений одной характеристики от нескольких других, свойство ограниченной чувствительности и существование кусочно-постоянной и кусочно-линейной форм ее представления	293
3.1.2. О V-алгоритме и VS-алгоритме обработки данных при построении канонической модели и отыскании искомого решения при учете зависимости изменений одной характеристики от изменений нескольких других.....	322
3.2. Об основном правиле системного анализа	363
Заключение	375

ПРЕДИСЛОВИЕ

В самых разнообразных сферах нашей жизни, от бытовой до профессиональной, мы, осознанно или неосознанно, используем некие представления о действительности, называемые моделями. Применяя их, мы получаем возможность рассматривать последствия воплощения различных вариантов осуществимых в данной сфере решений, и на этой основе осуществляем выбор конкретного из них, приводящего к желаемым последствиям, т.е. достижению желаемого результата. Если при решении некоторой проблемы желаемый результат достигается, то соответствующая этой проблеме модель выбрана (или построена) и использована правильно. К сожалению, можно привести многочисленные примеры в самых разных областях нашей жизни, когда предпринимаемые действия не приводят к ожидаемым последствиям. Эти факты свидетельствуют о том, что примененные для выработки решений модели не всегда соответствуют поставленной задаче.

По существу, приобретение опыта, овладение профессией, любое обучение – это освоение методики построения и применения многократно проверенных моделей в определенной сфере деятельности, изучение созданных в соответствующей области моделей и обретение навыков их применения для решения типовых задач на практике.

Характерной особенностью многих традиционных задач в различных сферах деятельности является использование своего для каждой сферы относительно небольшого числа оригинальных понятий, задание сравнительно узких перечней возможных решений и учитываемых при их выработке последствий их воплощения, а также специфичных исторически сложившихся способов задания моделей, применяемых специалистами для установления взаимосвязи между допустимыми решениями и их последствиями. Вследствие этого успешно используемые для решения практических задач модели оказываются сравнительно простыми в смысле учета небольшого числа понятий и удобными для специалистов в смысле применяемых способов описания взаимосвязей между ними.

Эти обстоятельства, с одной стороны, обусловливают возможности широкого практического применения соответствующих моделей, а с другой – сравнительно невысокое качество вырабатываемых решений. Использование при этом оригинальных методик построения и способа

описания моделей, отличного от математического, обычно не вызывает у соответствующих специалистов затруднений в их практическом применении и правильной интерпретации получаемых результатов.

Повышение требований к качеству принимаемых решений, касается ли это, например, разработки новейших технологий производства различной продукции или качества диагностики заболеваний в медицине и разработки соответствующих методик лечения пациентов, вызывает обычно необходимость существенного расширения перечня учитываемых при их выработке понятий, относящихся как к последствиям воплощения принятых решений, так и к возможным вариантам допустимых решений. Это обстоятельство приводит к необходимости применения моделей, оперирующих более широкими, чем традиционные, наборами понятий, и описания которых основываются при этом на использовании как личного опыта исследователя, так и весьма значительных объемов иных сведений о предмете изучения. С ростом числа учитываемых понятий и объема соответствующей информации использование традиционных способов описания моделей становится все более затруднительным и все менее приемлемым для практического применения.

Вместе с тем средства современной вычислительной техники предоставляют возможность хранения практически неограниченного объема сведений любого характера об объектах любой природы, и в том числе о любых связанных с ними понятиях и описаниях любых видов взаимосвязей между ними, что создает предпосылки для ее применения специалистами при выработке решений практических задач в самых разнообразных сферах нашей жизни, как говорится, «от астрономии – до гастрономии», и более высокого, в сравнении с традиционным, качества.

Разумеется, для этих целей указанные сведения должны быть представлены в специфическом (формальном) виде, но это обстоятельство в связи с существующими удобными компьютерными средствами поддержки задания сведений в таком виде обычно не вызывает у специалистов различного профиля особых затруднений. Однако многочисленные попытки применения этих возможностей для построения и использования моделей с целью выработки решений повышенного качества путем учета соответствующих дополнительных сведений во многих случаях оказываются неудачными, причем порой устанавливаемые на их основе решения даже уступают по качеству традиционному.

Зачастую такие результаты получаются не только при рассмотрении задач в тех сферах деятельности, в которых традиционно не применяется формализм при задании моделей, но и при решении прикладных задач, при решении которых применение методов математического моделирования имеет давно сложившиеся традиции. Это обстоятельство свидетельствует о том, что неудачи при построении моделей обусловлены не столько недостатком опыта в использовании математических методов исследований, сколько несоответствием подходов к объединению имеющихся сведений о предмете исследования определенным принципам моделирования.

Такая ситуация подчеркивает особую актуальность темы, связанной с изучением подходов к построению и применению формальных моделей при решении практических задач в самых разнообразных сферах нашей жизни.

Если методика, следование которой обеспечивает построение и применение моделей, соответствующих поставленной задаче, существует, то она должна, с одной стороны, отражать взаимосвязь целей, преследуемых при решении задачи, с особенностями применяемых для их достижения моделей, а с другой – коль скоро она должна быть применима независимо от предметной области, то обоснование ее положений должно опираться на некоторые абстрактные, не связанные с понятийными аппаратами конкретных сфер приложений, понятия и рассуждения. Последнее обстоятельство порождает необходимость применения математического, т.е. формального подхода, к изложению такой методики.

В связи с этим в предположении, что такая методика существует, требуется ответить на вопросы:

- могут ли такая методика и заложенные в ее основу принципы и подходы, которым нужно следовать при создании и использовании моделей в любых сферах деятельности, быть достаточно конструктивными или они в силу общности окажутся тривиальными?

- могут ли изложение такой общей методики и обоснование соответствующих выводов быть доступны для понимания лицам, не имеющим глубокой математической подготовки, так что она может применяться ими при решении реальных задач?

Попыткой положительного ответа на оба этих вопроса является материал данной книги.

Чтобы восприятие материала не сопровождалось трудностями, обусловленными применением развитого математического аппарата, все его изложение опирается на использовании элементарных арифметических и логических операций, известных из школьного курса, и двух фундаментальных понятий математики: понятия множества и понятия функции. Эта ориентация на неподготовленного в области математики читателя породила известные затруднения и вызвала необходимость повысить уровень подробности проводимых рассуждений и избегать использования соответствующих математических понятий, подменяя их определенными словесными описаниями.

Вместе с тем, с применением только этих операций и понятий, используя лишь элементарные знания в области математики, удалось обосновать методику построения и применения одного имеющего чрезвычайно обширную сферу приложений класса моделей, отражающих свойства объекта в количественном виде. Важно отметить также конструктивность ее применения как при построении моделей, в которых зависимость изменения искомой характеристики изучаемого явления или объекта обусловливается изменениями нескольких других характеристик, так и при создании комплексных моделей, в которых осуществляется совместное описание различных, влияющих друг на друга, процессов.

Книга состоит из Введения, представляющего собой краткий очерк истории формального моделирования, трех глав и Заключения.

В первой главе обсуждаются основные понятия теории моделирования, определяются понятия множества и функции, рассматриваются типичная последовательность этапов построения и применения формальных моделей, сопровождающие их характерные проблемы и традиционные подходы к их решению.

Во второй главе рассматривается один из вариантов формализации основополагающего принципа «практика – критерий истины» для простейшей из одного класса моделей, названных V-моделями, которая описывает в контексте исходной постановки задачи зависимость состояния только одного связанного с явлением понятия – искомой характеристики явления, – от состояний только одного другого – другой

его характеристики. Для этого класса моделей, описывающих изменения присущих явлению характеристик, принимающих числовые значения, анализируются вытекающие из этой формализации свойства, которым должны удовлетворять моделируемые процессы и формальное представление модели.

С использованием установленных свойств обосновывается метод построения простейшей формальной V-модели, существование ее представления в виде кусочно-постоянной и кусочно-линейной функций. Устанавливаются также условия и способы применения данных видов V-модели при решении обширного класса прикладных задач, базирующиеся на достаточно просто реализуемом алгоритме обработки имеющегося в распоряжении исследователя набора данных. Особый практический интерес при этом представляет обоснование применения алгоритма отыскания наилучшего в определенном смысле при имеющемся наборе данных решения поставленной задачи без построения конкретного вида формальной модели.

Обобщение полученного результата на случай, когда учитываемые при построении модели характеристики принимают не числовые значения, а описываются числовыми функциями, свидетельствует об отсутствии принципиальных изменений в сложности реализации алгоритма обработки данных при использовании вычислительной техники.

Третья глава посвящена обоснованию методики построения комплексных V-моделей, с помощью которых описываются зависимости изменений искомой характеристики от изменений многих характеристик, а также когда значения нескольких искомых характеристик явления зависят от значений нескольких других. Определено основное правило системного анализа, базирующееся на согласовании условий и качества моделирования учитываемых при создании V-моделей процессов, и установлена не сопровождающаяся принципиальными затруднениями применимость с соответствующими уточнениями описанных в предшествующей главе алгоритмов обработки имеющихся данных при отыскании решения задачи и для этого случая. Это обстоятельство позволило предложить практически реализуемый метод оценки качества комплексного моделирования изучаемого явления с использованием имеющихся данных, а также обосновать возможность повышения качества моделирования за счет

расширения перечня учитываемых при построении модели характеристик.

В Заключении кратко описываются полученные результаты и сделанные на их основе выводы, позволяющие сделать заключение, что роль специалиста в определенной предметной области при проведении рассмотренных вариантов задач является основной при формулировках конкретных критериев исследований и гипотез, отражающих его особое представление относительно существенности учета тех или иных характеристик предмета изучения в заданных условиях. Применение же описанных алгоритмов позволяет делать вывод о состоятельности этих гипотез независимо от конкретного формального вида описания взаимосвязей между ними, а также находить решение поставленной задачи с оценкой соответствующего его качества. Это обстоятельство освобождает исследователя-специалиста от необходимости владения специфичными знаниями в области математики и их применения для формального задания модели, способствуя тем самым повышению потенциала использования его творческих возможностей.

Разумеется, рассмотренный вариант не исчерпывает всех возможных постановок реальных задач, возникающих в самых разнообразных сферах практической деятельности. Вместе с тем, требование количественного описания с заданной количественной погрешностью зависимостей неких измеряемых характеристик предмета исследования от изменений других количественно задаваемых и измеряемых его характеристик, присущи чрезвычайно широкому кругу задач, которые имеют большое практическое значение.

Изложенные в книге результаты подчеркивают особую важность для разработки конструктивных методов нахождения решения возникающих на практике задач отражения в их постановках принципа «практика – критерий истины». Особенности отражения этого принципа и вытекающие из него следствия при проведении исследований, в которых свойства объекта отражаются не только в количественном виде или используются только неколичественные понятия – предмет дальнейшего изучения.

Можно ожидать, что стремительное расширение спектра возможностей при использовании вычислительной техники и