

Применение методов логико-вероятностного исчисления профессора И.А.Рябина в программных комплексах

Теоретические разработки д.т.н. профессора **И.А.РЯБИНИНА**, представленные в данном электронном издании, применяются на практике специалистами ОАО «СПИК СЗМА» при выборе и обосновании структур сложных технических систем на основе сравнительного анализа надежности рассматриваемых вариантов.

ОАО «СПИК СЗМА» выполняет работы в области автоматизации технологических и производственных объектов на протяжении более 50 лет.

ОАО «СПИК СЗМА» с 1996 г. является базовой организацией Госстроя России по реализации научно-технической политики в области исследований, проектирования и наладки систем автоматизации технологических и производственных процессов и инженерного оборудования зданий и сооружений.

Начиная с 2001 г. в ОАО «СПИК СЗМА» ведутся работы по созданию, развитию и практическому применению «Программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем «АРБИТР» Программный комплекс (ПК) «АРБИТР» разработан на основе общего логико-вероятностный метода (ОЛВМ) системного анализа, представляющего собой дальнейшее развитие логико-вероятностных методов оценки надежности структурно-сложных систем, основоположником которых является профессор **И.А.РЯБИН**ИН.

ПК «АРБИТР» реализует новую информационную технологию автоматизированного структурно-логического моделирования и позволяет на основе заданной структурной схемы и вероятностных параметров элементов автоматически строить математические модели (логические и вероятностные) и выполнять расчеты различных показатели надежности, стойкости, живучести, устойчивости, технического риска, ожидаемого ущерба и реальной эффективности структурно-сложных высококоразмерных систем опасных производственных объектов. Логическая полнота ОЛВМ впервые позволила реализовать в одном ПК возможности существующих подходов (деревьев отказов и событий, блок-схем, графов связности и др.) к монотонному логико-вероятностному моделированию систем. Вместе с тем, ПК «АРБИТР» позволяет решать принципиально новый класс задач немонотонного логико-вероятностного моделирования структурно-сложных системных объектов и процессов.

В период с 2005 по 2007 год программный комплекс «АРБИТР» успешно прошел процедуру аттестации в "Совете по аттестации программных

средств" Научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности (НТЦ ЯРБ) Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ. На основании результатов экспертизы на программное средство "Программный комплекс АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0" выдан **Аттестационный паспорт Ростехнадзора РФ № 222 от 21 февраля 2007 г.** ПК «АРБИТР» стал первым аттестованным Ростехнадзором РФ отечественным программным средством анализа надежности и безопасности систем. ПК «АРБИТР» аттестован сроком на 10 лет и разрешен к применению на всех предприятиях, поднадзорных Ростехнадзору РФ

К настоящему времени накоплен значительный опыт практического применения ПК «АРБИТР» на предприятиях, в коммерческих и научно-исследовательских организациях, а также в высших учебных заведениях РФ. Работы по дальнейшему развитию теории ОЛВМ, технологии АСМ и совершенствованию ПК продолжаются.



АО «СПИК СЗМА» - производственно-инжиниринговая компания, основанная в 1961 г. Выполняет полный комплекс инжиниринговых услуг по автоматизации технологических процессов и производств, имеет собственное производство систем управления и электротехнического оборудования, центр продаж, сервисный и учебный центры.

Один из видов деятельности компании - **научная разработка методов и средств расчета надежности технически сложных систем на стадии проектирования, разработка специального программного обеспечения, обучение.**

Система менеджмента качества компании соответствует требованиям международного стандарта ISO 9001:2015

✉ **199106, 26-я линия В.О., дом 15, корп. 2, БЦ «Биржа»**

☎ **+7 (812)610-78-79**

@ **info@szma.com**

www.szma.com

И. А. Рябинин

НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

$$P\{\Delta_{x_i} f(x_1, \dots, x_n) = 1\} = \frac{\partial P\{f(x_1, \dots, x_n) = 1\}}{\partial P\{x_i = 1\}}$$



ИЗДАТЕЛЬСТВО
С.-ПЕТЕРБУРГСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА



Игорь Алексеевич Рябинин —
доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной
премии СССР, Заслуженный работник высшей школы РФ,
контр-адмирал

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ

И. А. Рябинин

**НАДЕЖНОСТЬ И
БЕЗОПАСНОСТЬ
СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ
СИСТЕМ**

Электронный аналог печатного издания: Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. — СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. — 276 с.

ББК 30.14
P98

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. *Е. Д. Соложенцев* (Ин-т проблем машиновед. РАН), канд. физ.-мат. наук, доц. *А. Л. Смирнов* (С.-Петерб. гос. ун-т)

*Рекомендовано к печати
Ученым советом
Института проблем машиноведения РАН*

Рябинин И.А.

P98 Надежность и безопасность структурно-сложных систем. — СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. — 276 с.
ISBN 978-5-288-04296-6

В книге изложены основные понятия и определения теории надежности и безопасности. Даны основы логико-вероятностного исчисления; некоторые сведения из алгебры логики, необходимые для исследования надежности и безопасности структурно-сложных систем. Рассмотрены проблема исходных данных о безотказности элементов при малых объемах статистической информации; доверительные и допустимые интервалы для оценки надежности. Приведены аналитические и графические формы представления условий работоспособности системы и опасного состояния системы. Изложены логические и вероятностные модели надежности и безопасности; булевы разности; алгоритмы преобразования функций алгебры логики в вероятностные функции. Рассмотрены логико-вероятностные методы исследования надежности и безопасности структурно-сложных систем на большом числе примеров, доведенных до числа.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся экспертизой надежности и безопасности проектов и действующих систем разного типа (технических, организационных, экологических, финансовых и др.).

I. A. Ryabinin. Reliability and safety of structural-complex systems.

Main concepts and definitions of the theory of reliability and safety are presented. Fundamentals of logical-probabilistic calculus, some aspects of algebra of logics necessary for researching the reliability and safety of structural-complex systems are given.

Problems of receiving the source data for the models of reliability and safety with lack of statistical information, fiducial and admissible intervals for the reliability. Logical and probabilistic models of reliability and safety, Boolean differences, algorithms of converting the Boolean functions into the probability functions.

ББК 30.14

© И. А. Рябинин, 2007

© Издательство С.-Петербургского университета, 2007

ISBN 978-5-288-04296-6

© Издательство «Политехника», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ко второму изданию	9
Предисловие к первому изданию	11
Глава 1. Структурно-сложные системы как объект исследования	14
1.1. Разнообразие существующих систем и выбор класса структурно- сложных систем для последующего исследования	—
1.2. Некоторые примеры структурно-сложных систем	16
1.3. Основные понятия и определения теории надежности и безопас- ности	22
Глава 2. Основы логико-вероятностного исчисления	25
2.1. История возникновения логико-вероятностных методов	—
2.2. Некоторые сведения из алгебры логики	27
2.3. Основные логические операции	28
2.4. Основные определения и принятые обозначения	32
2.5. Некоторые теоремы алгебры логики и логики вероятностей	37
Глава 3. Феномен логико-вероятностного исчисления	42
3.1. Взаимоотношение чистой математики и реального мира	—
3.2. Логико-вероятностное исчисление	50
3.3. Логико-вероятностные методы как инструмент исследования	52
3.4. Логические уравнения	55
3.5. Методы решения логических уравнений	62
3.6. Количественная оценка важности аргументов ФАЛ при отсутствии вероятностей случайных событий	67
3.7. Проникновение идей ЛВИ в экономические и организационные системы	71
Глава 4. Логические модели надежности и безопасности	74
4.1. Общее представление о задачах, решаемых с помощью теории надежности и безопасности	—
4.2. Аналитические и графические формы представления условий работоспособности системы	79
4.3. Аналитические и графические формы представления опасного состояния системы	90
4.4. Булевы разности и их смысл	95
Глава 5. Вероятностные модели надежности и безопасности	101
5.1. Общее представление о преобразовании функций алгебры логики в вероятностные функции	—
5.2. Алгоритм разрезания	104
5.3. Алгоритм ортогонализации	112
5.4. Рекуррентный алгоритм	117

5.5. Алгоритм наращивания путей.....	122
5.6. Схемно-логический метод.....	127
Глава 6. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем.....	139
6.1. Проблемы получения исходных данных для моделей надежности и безопасности.....	—
6.2. Пути получения показателей надежности и безопасности.....	141
6.3. Доверительные интервалы для вероятности отказа.....	142
6.4. Допустимые интервалы и их роль в оценке надежности.....	149
6.5. Характеристики важности элементов.....	154
6.6. «Значимость» элемента в системе.....	161
6.7. «Вклад» и «ущерб» элемента.....	164
6.8. Двойные «веса» элементов.....	166
6.9. Двойные «значимости», «вклады» и «ущербы» элементов.....	172
6.10. О точности и достоверности оценки надежности ССС.....	175
6.11. Надежность систем, состоящих из элементов с тремя состояниями...	183
6.12. Исследование надежности систем с кольцевой структурой.....	193
6.13. Анализ надежности корабельной электроэнергетической системы....	197
Глава 7. Логико-вероятностные методы исследования безопасности структурно-сложных систем.....	207
7.1. О разработке основ теории безопасности.....	—
7.2. Возможные подходы к оценке риска как меры опасности.....	210
7.3. Опасность затопления подводной лодки.....	213
7.4. Оценка риска взрыва в отсеке подводной лодки.....	217
7.5. Оценка безопасности склада артбоеприпасов.....	221
7.6. Анализ безопасности участка железной дороги.....	228
7.7. Оценка риска поражения электрическим током.....	231
Заключение.....	236
Литература.....	238
Приложение 1. Процентные точки распределения χ^2.....	248
Приложение 2. Основные понятия безопасности.....	252
Приложение 3. Масштабы риска смерти в земных условиях (на человека в час).....	254
Приложение 4. Документальные свидетельства о научном вкладе трех выдающихся ученых в основание логико-вероятностного исчисления.....	256

Предисловие ко второму изданию

Толчком к идее второго издания монографии послужило осознание автором необычности логико-вероятностного исчисления (ЛВИ) и принципиальной разницы между **вероятностной логикой** (ВЛ) и **логикой вероятностей** (ЛВ).

Востребованность более глубокого уяснения логической составляющей этой теории, развитой в учебнике [124] и докладах автора на шести Международных Научных Школах МА БР [139], отсутствие доступной для инженера литературы по данному вопросу, заставило меня переосмыслить некоторые фундаментальные понятия ЛВИ и написать новую главу 3 (вместо третьей главы из [125] под названием «Проблемы исходных данных»).

Необходимость размещения нового материала именно в этом месте объясняется желанием в максимальной степени сохранить все другие главы (нумерацию формул, рисунков, материала и др.) и логику изложения материала после основ ЛВИ (гл. 2).

Оригинальный материал по проблеме исходных данных при малых объемах статистической информации, к сожалению, пришлось опустить.

Необходимость усиления **логической части** всей книги диктовалась и неудовлетворенностью состоянием дел на «**логическом фронте**», о чем математик Я. Я. Голота в работе [26] совершенно справедливо писал: «...надо отдавать себе отчет, что никакие призывы соблюдать нормы научного мышления не изменяют положения дел на “логическом фронте”. В российской науке ситуация может измениться в лучшую сторону только в том случае, если нормы строгого мышления, нормы логика станут нормой повседневного мышления, если логика превратится из науки для избранных в науку для большинства.

Это может произойти лишь в одном случае, если логика станет неременным элементом образования и школьного, и вузовского. Никому не приходит в голову спрашивать: зачем нужно в школе преподавать русский язык? Зачем надо обучать арифметике? Чтобы люди не мыслили абсурдно, надо, чтобы не возникало только вопроса: зачем нужна логика в системе образования?

Логика нужна не только для того, чтобы умело проектировать и эксплуатировать ЭВМ, логика — в первую очередь элемент общения.»

Другой логик С. Х. Колдуэлл в уникальной книге [42] «Логический синтез релейных устройств», изданной в Москве в 1962 году [Switching circuits and logical design, WILEY, NEW YORK, 1958]; утверждал, что

«...несмотря на быстрорастущую математическую грамотность инженеров, задача хорошей «связи» между математиками и инженерами все еще остается нерешенной. Большинство инженеров незнакомо с математической логикой и ее символикой. Некоторые из применяемых символов напоят им, скорее, клеймо, которым пользуются на ранчо на Западе США, чем математические символы <...>. Прогресс в этой области будет зависеть от наших усилий и способности передавать современные знания в этой области инженерам-практикам, какой бы математической подготовкой и опытом они не обладали».

Именно с целью передачи современных знаний в области математической логики **инженерам-практикам** и задумана глава 3.

Для «чистых» математиков А. Н. Колмогоров и А. Г. Драгалин в 1982 году издали в МГУ учебное пособие: «Введение в математическую логику» [44], а в 1959 г. в МГУ была создана кафедра «Математической логики», которую с 1979 г. возглавлял Андрей Николаевич Колмогоров до самой смерти (20.10.87).

В предисловии к этой книге сообщается, что она возникла в результате обработки конспектов лекций (читавшихся обоими авторами) семестрового курса для студентов первого курса механико-математического факультета Московского университета. Авторы высказывали надежду дать **неспециалисту** представление о классических результатах математической логики и подготовить **будущего специалиста** к изучению более подробных руководств. В 2005 г. это учебное пособие было издано в серии «Классический университетский учебник» под названием «Математическая логика» в твердом переплете (изд. 2), а в 2006 г. вышло 3-е издание.

Необходимость сосредоточить внимание именно на классической логике была вызвана появлением трудов, в которых рекламировалась многозначная логика, допускающая кроме ответов «да», «нет», еще и «может быть»; нечеткая логика и ряд других логик [153].

Выражаю искреннюю благодарность за участие в переиздании этой книги д-рам техн. наук Соложенцеву Евгению Дмитриевичу, Парфенову Юрию Михайловичу, д-ру физ.-мат. наук Хованову Николаю Васильевичу, к-там техн. наук Карасеву Василию Владимировичу, Кулику Борису Александровичу, Мельникову Владимиру Александровичу и моему брату Рябину Юрию Алексеевичу.