

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.РЯБИНИН**.

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 высокоразмерных 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

ВОЕННО-МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ
имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. КУЗНЕЦОВА

И. А. Рябинин, Ю. М. Парфенов

**НАДЕЖНОСТЬ, ЖИВУЧЕСТЬ
И БЕЗОПАСНОСТЬ КОРАБЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

1 9 9 7

ВОЕННО-МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ
имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. КУЗНЕЦОВА

Академик РАЕН, доктор технических наук,
профессор И. А. РЯБИНИН,
доктор технических наук, профессор Ю. М. ПАРФЕНОВ

НАДЕЖНОСТЬ, ЖИВУЧЕСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ КОРАБЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Утвержден Главнокомандующим ВМФ
в качестве учебника
для слушателей Академии*

Электронный аналог печатного издания: Рябинин И. А., Парфенов Ю. М. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем. СПб. : Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 1997. — 430 с.

Рассмотрена современная теория надежности, живучести и безопасности структурно-сложных технических систем на примере корабельных электроэнергетических систем. Изложение теории выполнено на базе логико-вероятностных методов, позволяющих решать задачи для систем, условия работоспособности (либо опасности) которых удается записать с помощью повторной формы функций алгебры логики. Приведены статистические методы получения исходных данных, логические и вероятностные модели функционирования электроэнергетических систем, различные аналитические методы получения вероятностных функций для расчета безотказности, ремонтпригодности, отказоустойчивости, живучести и безопасности системы. Разработаны новые математические методы для оценки важности отдельных элементов (и их парных комбинаций) для безотказности (или безопасности) всей системы.

Все теоретические результаты проиллюстрированы примерами, доведенными до числа, а также десятью практическими заданиями по исследуемым проблемам.

Учебник предназначен для слушателей Академии по специальности «Корабельные электроэнергетические системы». Он может быть полезен также инженерам других специальностей, связанных с проектированием и эксплуатацией сложных систем, и специалистам различных организационно-технических систем, для которых актуальны проблемы надежности, живучести и безопасности.

Ответственный редактор
доктор технических наук, профессор
капитан 1 ранга В. В. ГРИШИН

© Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 1997 г.

© Издательство «Политехника», 2012 г.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс выдвинул на первое место такие важнейшие проблемы, как надежность, живучесть и безопасность современных народнохозяйственных комплексов, сложных систем управления, машин и агрегатов. Исключительно большое значение эти проблемы имеют для различных корабельных систем, установок, устройств и аппаратуры, от успешной работы которых зависит эффективность и боеспособность корабля. Это в полной мере относится к одной из основных корабельных систем, а именно электроэнергетической (КЭС).

Первая попытка систематизированного изложения основ теории и методов расчета надежности и живучести КЭС нашла отражение в книге [73], изданной в ВМА в 1964 г.

На базе монографии «Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем», изданной в 1967 г. и переизданной в 1971 г. [74], был подготовлен и издан в 1974 г. тиражом 5600 экз. первый в СССР официальный учебник «Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования» [75] для студентов, обучающихся по специальности «Электрооборудование судов», который прошел успешную многолетнюю апробацию в вузах страны.

Интеллектуальным ядром научных исследований проблем надежности, живучести и безопасности КЭС оказались логико-вероятностные методы (ЛВМ), первая самостоятельная публикация о которых в 1981 г. [83] привлекла большое внимание специалистов как у нас в стране, так и за рубежом (была переведена в 1987 г. в Японии).

На основе опыта предшествующих лет в 1989 г. было издано небольшим тиражом учебное пособие «Надежность, живучесть и эффективность корабельных электроэнергетических систем» [60], ставшее в том же году библиографической редкостью. С учетом определенной универсальности ЛВМ и их приспособленности к ЭВМ, позволяющих исследовать системы различной природы (электроэнергетики, ядерных энергетических установок, комплексно-автоматизированных систем, информационных систем и др.), назрела необходимость издать и в Академии первый учебник, посвященный математической стороне проблем надежности, живучести и безопасности КЭС, полностью пригодный и для специалистов других корабельных систем.

Чтобы исключить неконструктивные споры по различным существующим формулировкам таких важных понятий, как живучесть, надежность, аварийность и опасность, сначала следует договориться о целях их использования. Такими целями могут быть:

- 1) определение виновников для привлечения к ответственности или для учета в будущем;
- 2) качественная оценка проекта в сравнении с прототипом;
- 3) количественная оценка этих свойств;
- 4) разработка практических мероприятий по повышению надежности и живучести, безаварийности и безопасности.

Развитие мировой науки и техники в середине XX столетия обусловило необходимость формирования теории надежности как нового научного направления, нового раздела знаний. В нашей стране безусловным лидером этого направления был академик адмирал Аксель Иванович Берг. Обширная научно-техническая литература по вопросам надежности способствовала сравнительно быстрому обучению специалистов количественным методам оценки безотказности сложных систем при их эксплуатации в так называемых нормальных (повседневных) условиях.

Однако усложнение техники, повышение концентрации в ней запасов энергии, неизученность психомоторных характеристик человека в экстремальных условиях в последние десятилетия выдвинули на первый план еще более трудную проблему — безопасности сложных систем.

Проблема надежности элементов сложных систем чаще всего проявляется как чисто практическая, ибо для ее решения не требуется ни новых теорий, ни новых знаний, а лишь добросовестное отношение к делу, отличная организация труда, использование высококачественных материалов, выполнение всех требований при проектировании, систематический контроль на всех этапах производства и эксплуатации.

Для сложной системы в целом этого уже недостаточно, так как для объективного ответа на ряд вопросов, выдвигаемых практикой проектирования и эксплуатации, нужны и новые знания, и новые теории, и новые математические модели. Наука есть прежде всего логически организованная система теорий, которая является сосредоточением банка знаний.

Как инженерные дисциплины теории надежности, живучести и безопасности тесно связаны с современной прикладной математикой, поскольку математика является тем средством, с помощью которого в большинстве случаев только и возможна корректная постановка задачи, а также четкая формулировка условий и допущений, в которых она решается.

При рассмотрении соотношения свойств надежности, живучести, аварийности и опасности сложных систем нас будет интересовать их количественная оценка, а не поиск виновников аварий и катастроф.

Дадим ряд определений фундаментальных понятий, принятых авторами учебника.

Надежность — это свойство системы выполнять заданное назначение в течение требуемого промежутка времени при повседневных условиях эксплуатации.

Живучесть — это свойство системы выполнять заданное назначение (хотя бы при пониженной эффективности) при воздействии на систему форс-мажорных сил.

Безаварийность — это свойство системы функционировать без аварий, наносящих ущерб, не превышающий предельного.

Безопасность — это свойство системы функционировать, не переходя в опасные состояния, угрожающие здоровью и жизни людей или наносящие другой ущерб в больших масштабах.

Таким образом, «водораздел» между надежностью и живучестью обусловлен воздействиями на систему. Надежность проявляется при нормальном уровне воздействия на систему, а живучесть — при воздействиях, существенно превышающих принятые в расчет. Как правило под форс-мажорными (экстраординарными) воздействиями понимают кратковременные нагрузки с весьма высоким уровнем напряженности, вызванным взрывом, пожаром, затоплением, радиацией и др.

Чтобы не путать аварийность с опасностью (в теории и на практике), следует также определить понятия «авария» и «опасное состояние».

Авария — происшествие с техникой (отказ), требующее внепланового ремонта, замены поврежденного оборудования или его основных деталей, т. е. наносящее определенный ущерб, но не превышающий предельного (большого масштаба).

Опасное состояние — синоним чрезвычайной ситуации, при которой наносится недопустимый ущерб (гибель корабля, срыв выполнения боевой задачи и др.).

Учебник содержит четыре раздела:

I. Надежность элементов КЭС.

II. Логические и вероятностные модели функционирования КЭС.

III. Исследование надежности КЭС.

IV. Методы расчета живучести, безопасности и эффективности КЭС.

В первом разделе рассмотрены статистические методы получения характеристик надежности элементов системы по данным их эксплуатации. Для закрепления материала слушатели выполняют два практических задания по исследованию характеристик надежности как без учета, так и с учетом восстановления. После изучения методов проверки статистических гипотез об эксплуатационной надежности элементов КЭС предусмотрено еще два задания по проверке однородности исходных данных и определения закона распределения. Такая проверка необходима для получе-

ния доброкачественной исходной информации корабельными инженерами.

Второй раздел учебника знакомит читателя с алгеброй логики и ее применением для построения логических моделей функционирования электроэнергетической системы. Каждому элементу соответствует логическая переменная, а состоянию всей системы — логическая функция. Подробно рассмотрены методы получения логических функций работоспособности и неработоспособности системы путем матричных преобразований и решения логических уравнений. Вторая глава данного раздела содержит методы, которые позволяют перейти от логических функций работоспособности и неработоспособности к вероятностной функции для расчета вероятности безотказной работы (или вероятности отказа) системы. Расчет безотказности и других вероятностных характеристик надежности системы значительно упрощается, если исходная логическая функция имеет ортогональную или бесповторную форму. Здесь же рассмотрены и оригинальные прямые методы получения вероятностной функции без предварительных логических преобразований.

Математический аппарат исследования надежности КЭС изложен в третьем разделе, который начинается с методов оценки важности элементов системы (веса, значимости, вклада, ущерба и активностей), отражающих их роль в зависимости от местоположения в структуре и собственных надежностных показателей. Выполнение пятого задания закрепляет материал второго раздела и главы 5 из третьего раздела. Шестая глава данного раздела знакомит слушателей с аналитическими и статистическими методами расчета надежности системы с учетом восстановления. В процессе выполнения двух заданий слушатели овладевают логико-статистическими методами расчета с помощью ЭВМ.

Завершающий четвертый раздел содержит теорию и методы расчета отказоустойчивости, живучести и безопасности КЭС. Седьмая глава посвящена отказоустойчивости и живучести КЭС при различных поражающих воздействиях. Расчет живучести реальных кораблей проводится в двух заданиях с помощью аналитических (№ 8) и статистических (№ 9) методов с использованием ЭВМ. Восьмая глава содержит основные понятия и методы количественной оценки безопасности КЭС, которые закрепляются выполнением задания № 10 по исследованию безопасности реальной КЭС. Последняя глава учебника посвящена взаимосвязи надежности, живучести и безопасности в рамках эффективности всей системы.

Наибольшей новизной уже по отношению к учебному пособию [60] обладают два последних раздела, в которые включены материалы, ранее не публиковавшиеся (характеристика важности для двух элементов системы, логико-статистический и аналити-

ко-статистический методы расчета живучести, логико-вероятностный метод расчета безопасности и др.).

Каждый раздел завершается семинаром, позволяющим закрепить теоретический материал и обсудить результаты выполненных практических работ по всем главам учебника.