

## **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 высокоразмерных систем опасных производственных объектов. Логическая полнота ОЛВМ впервые позволила реализовать в одном ПК возможности существующих подходов (дереьев 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, Ю. Н. КИРЕЕВ

---

# НАДЕЖНОСТЬ

---

СУДОВЫХ

---

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ

---

СИСТЕМ

---

И СУДОВОГО

---

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

---



И. А. РЯБЕНИН, Ю. Н. КИРЕЕВ

---

**НАДЕЖНОСТЬ  
СУДОВЫХ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ  
И СУДОВОГО  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

*Допущено*

*Министерством высшего и среднего*

*специального образования СССР*

*в качестве учебника*

*для студентов*

*высших учебных заведений,*

*обучающихся по специальности*

*«Электрооборудование судов»*

Электронный аналог печатного издания: Рябинин И. А., Киреев Ю. Н. Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования Л.: «Судостроение», 1974, 264 с.

УДК 629.12.03—83—192 (075.8)

P98

Рецензенты:  
проф. *Б. И. Норневский*  
и кафедра электрооборудования судов НКИ

Научный редактор  
д-р техн. наук *Ю. А. Светликов*

P98

**Рябинин И. А., Киреев Ю. Н.**

Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования. Л., «Судостроение», 1974.

264 с.

В книге дается систематизированное изложение основ теории надежности и методов расчета надежности судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования. Особое внимание уделено статистической оценке надежности элементов судового электрооборудования по результатам их работы в эксплуатационных условиях, а также методам расчета структурной надежности сложных систем.

Книга, представляющая собой учебник для студентов электротехнической специальности кораблестроительных институтов, может служить руководством для инженеров-электриков конструкторских бюро и электромонтажных предприятий, работающих в области судостроения.

629.12.03—83—192(075.8)

© Издательство «Судостроение», 1974 г.

© Издательство «Политехника», 2012 г.

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

XXIV съезд КПСС поставил задачу дальнейшего совершенствования системы народного образования в нашей стране в соответствии с потребностями развития экономики, науки и культуры. «В области высшего и среднего специального образования, — говорится в Резолюции XXIV съезда партии по Отчетному докладу ЦК КПСС, — требуется шире развернуть подготовку кадров по новым и перспективным направлениям науки и техники, лучше вооружать молодых специалистов современными знаниями, навыками организаторской и общественно-политической работы, умением применять полученные знания на практике».

К таким новым направлениям науки и техники в области судовой электроэнергетики безусловно следует отнести проблему надежности судового электрооборудования.

Необходимость в настоящее время знания основ теории и методов расчета надежности судовых электроэнергетических систем (СЭС) каждым инженером-электриком заставило ввести курсы по надежности СЭС и судового электрооборудования в учебные планы многих вузов.

Настоящий учебник написан на базе монографии «Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем», изданной в 1967 г. и переизданной в 1971 г. [27]. Учебник состоит из трех частей.

В первой части излагаются основные понятия и математический аппарат теории надежности, а также количественные характеристики надежности.

Во второй части рассматриваются методы статистической оценки показателей надежности и методы проверки гипотез о надежности судового электрооборудования по результатам его работы в эксплуатационных условиях. Дается оценка надежности элементов СЭС и судового электрооборудования.



В третьей части излагаются инженерные методы расчета надежности СЭС без учета и с учетом восстановления, а также рассматриваются пути повышения надежности СЭС и судового электрооборудования на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации.

Учебник предназначен в основном для студентов электротехнической специальности, имеющих математическую подготовку в пределах программы технического вуза. Изучение материала книги требует также знаний по основам алгебры логики, необходимые сведения из которой даются в § 3, и теории вероятностей, подробное изложение которой дано во многих специальных учебниках, рассчитанных на различный уровень математической подготовки читателей [7, 8, 33].

Книга снабжена достаточным числом примеров, рисунков и таблиц, облегчающих изучение предмета как в аудитории, так и самостоятельно.

Авторы выражают надежду, что овладение материалом учебника подготовит читателя к изучению более трудных монографий и иных специальных источников, указанных в библиографии и справочниках [15, 17, 31].

Работа по книге была распределена между авторами следующим образом: главы 1, 3, 4, 6 и 7 написаны И. А. Рябининым, главы 5 и 8 — Ю. Н. Киреевым, глава 2 — совместно.

Авторы отмечают особую роль профессора д-ра техн. наук Николая Михайловича Хомякова, без инициативы и помощи которого этот учебник вряд ли появился бы на свет.

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам проф. Б. И. Норневскому и кафедре электрооборудования судов Николаевского кораблестроительного института, а также научному редактору д-ру техн. наук Ю. А. Светликову.

Авторы с благодарностью примут все замечания и предложения, которые просят направлять по адресу: 191065, Ленинград, ул. Голя, 8, изд-во «Судостроение».

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $a(t)$  — параметр (или темп) потока отказов (восстановлений) в момент времени  $t$ ;  
 $D[t]$  — дисперсия случайной величины  $T$ ;  
 $F(Q^* | Q)$  — функция распределения случайной величины  $Q^*$  при условии, что истинная вероятность отказа равна  $Q$ ;  
 $f(t)$  — плотность распределения времени исправной работы между отказами;  
 $G(t)$  — вероятность невозможности изделия за время  $[0, t]$ ;  
 $H(t)$  — функция восстановления или ведущая функция потока восстановлений;  
 $h(t)$  — интенсивность потока восстановлений в момент времени  $t$ ;  
 $J_\delta$  — доверительный интервал;  
 $\Delta J_\delta$  — ширина доверительного интервала;  
 $K_r(t)$  — функция готовности;  
 $K_r$  — коэффициент готовности;  
 $M[T] = \bar{T}$  — математическое ожидание случайной величины  $T$ ;  
 $m(t)$  — общее число объектов, за которыми установлено наблюдение, в момент времени  $t$ ;  
 $N_o[t_{i-1}, t_i]$  — случайное число отказов за интервал времени  $[t_{i-1}, t_i]$ ;  
 $N_v(t)$  — случайное число восстановлений за интервал времени  $[0, t]$ ;  
 $n[t, \Delta t]$  — число наблюдаемых отказов на интервале времени  $[t, t + \Delta t]$ ;  
 $P$  — символ вероятности;  
 $P_1[t, t + \Delta t]$  — вероятность появления на промежутке  $[t, t + \Delta t]$  одного отказа;  
 $Q(t) = P(T < t)$  — функция ненадежности, или функция распределения случайной величины  $T$ ;  
 $Q^*(t)$  — частота отказов;  
 $Q_v, Q_n$  — верхние и нижние доверительные пределы;  
 $q(t) = Q'(t) = -R'(t)$  — дифференциальный закон распределения времени безотказной работы, или плотность вероятности отказа;



- $R(t) = P\{T \geq t\} = P_0(t)$  — функция надежности, или вероятность безотказной работы изделия за время  $[0, t]$ ;  
 $R(t_2 | t_1)$  — условная вероятность безотказной работы изделия в интервале времени  $[t_1, t_2]$ , вычисленная в предположении, что данное изделие работало безотказно в интервале  $[0, t_1]$ ;  
 $t_{okl}$  — момент  $i$ -го отказа  $k$ -го элемента;  
 $t_{vki}$  — момент окончания  $i$ -го восстановления  $k$ -го элемента;  
 $T$  — случайное время исправной работы;  
 $T_v$  — случайное время восстановления;  
 $T_m$  — случайная длительность межпрофилактического периода;  
 $T_0$  — случайное время исправной работы до первого отказа;  
 $T_{\Pi}$  — случайная длительность профилактики;  
 $T_{\Sigma} = T + T_v$  — случайное время между двумя последовательными отказами (восстановлениями);  
 $\bar{T}$  — средняя наработка на отказ;  
 $\bar{T}_v$  — среднее время восстановления;  
 $\bar{T}_m$  — средняя длительность межпрофилактического периода;  
 $\bar{T}_0$  — наработка до первого отказа;  
 $\bar{T}_0(t)$  — средняя продолжительность предстоящей безотказной работы;  
 $\bar{T}_{\Pi}$  — средняя длительность профилактики;  
 $\bar{T}_{\Sigma}$  — среднее время между восстановлениями (отказами);  
 $V(t)$  — вероятность восстановления изделия за время  $[0, t]$ ;  
 $v(t)$  — плотность вероятности восстановления в момент времени  $t$ ;  
 $W(t)$  — интегральная функция распределения последовательных восстановлений;  
 $w(t)$  — плотность вероятности времени между двумя соседними восстановлениями (отказами);  
 $\gamma_1(\gamma_2)$  — уровень значимости одностороннего (двустороннего) интервала, или вероятность односторонней (двусторонней) ошибки;  
 $\delta$  — доверительная вероятность, или коэффициент доверия, или достоверность;  
 $\epsilon_{\delta}$  — абсолютная ошибка с коэффициентом доверия  $\delta$ ;  
 $\lambda(t)$  — интенсивность отказов в момент времени  $t$ ;  
 $\nu(t)$  — интенсивность восстановления в момент времени  $t$ ;  
 $\rho$  — коэффициент неисправности;  
 $\sigma [T]$  — среднее квадратическое отклонение случайной величины  $T$ ;  
 $\tau_{okl}$  — интервал времени от момента  $(i-1)$ -го восстановления до момента  $i$ -го отказа  $k$ -го элемента;  
 $\tau_{vki}$  — интервал времени от момента  $i$ -го отказа до момента окончания  $i$ -го восстановления  $k$ -го элемента;  
 $\tau_i$  — общее время эксплуатации  $i$ -го элемента;  
 $\omega(t)$  — интенсивность потока отказов в момент времени  $t$ ;  
 $\Omega(t)$  — функция отказов.