

И. Б. Шубинский, Е. Н. Розенберг, А. В. Бочков

НАДЕЖНОСТЬ, РИСКИ, БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
Глава I. НАДЁЖНОСТЬ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ	14
1.1. Ошибки, неисправности и отказы	14
1.1.1. Введение	15
1.1.2. Обзор существующих концепций	15
1.1.3. Анализ и выводы	19
 Литература к разделу 1.1	19
1.2. Систематический подход к защите программного обеспечения от сбоя аппаратуры	20
1.2.1. Сбой	21
1.2.2. Обнаружение сбойных ошибок и защита от их опасных последствий	23
1.2.3. Систематический подход	24
1.2.4. Пример	25
 Литература к разделу 1.2	26
1.3. Определение априорного распределения наработки на отказ уникальных высокоответственных элементов экспертным методом	27
1.3.1. Введение	27
1.3.2. Постановка задачи	29
1.3.3. Метод решения	29
1.3.4. Порядок экспертного оценивания и интерпретация его результатов	31
1.3.5. К вопросу о «точности» экспертного оценивания	36
1.3.6. О методе решения задачи коллективного выбора	38
 Литература к разделу 1.3	41
1.4. Предельная надёжность структурного резервирования	42
1.4.1. Введение	43
1.4.2. Основные допущения	43
1.4.3. «Горячий» резерв	44
1.4.4. «Холодный» резерв	47
1.4.5. Пример	49
1.4.6. Заключение и выводы	50
 Литература к разделу 1.4	51
1.5. Метод нормирования показателей надёжности объектов железнодорожного транспорта	52
1.5.1. Введение	53
1.5.2. Цель нормирования показателей надёжности	54
1.5.3. Интересы потребителя и поставщика услуги	55
1.5.4. Анализ статистических данных и оценка их обеспеченности	57
1.5.5. Выбор и обоснование нормативного значения показателя	61
 Литература к разделу 1.5	62
1.6. Модель оценки эффективности диагностических средств в бортовых устройствах	62

1.6.1. Введение	63
1.6.2. Постановка задачи	64
1.6.3. Описание моделей	65
 Литература к разделу 1.6	70
1.7. Функциональная надёжность программного обеспечения блока индикации комплекса БЛОК	71
1.7.1. Результаты тестирования программного обеспечения блока индикации	73
1.7.2. Исходные условия для расчета показателей надежности программного обеспечения блока индикации	77
1.7.3. Расчет показателей надежности программного обеспечения блока индикации	77
 Литература к разделу 1.7	80
1.8. Методы обеспечения функциональной надёжности программ	80
1.8.1. Предупреждение ошибок	81
1.8.2. Обнаружение ошибок	83
1.8.3. Исправление ошибок	85
1.8.4. Устойчивость к ошибкам	86
 Литература к разделу 1.8	89
1.9. Адаптивная гарантоспособность информационных систем управления	90
1.9.1. Гарантоспособность информационных систем управления	90
1.9.2. Ограниченные возможности традиционных методов обеспечения гарантоспособности систем управления	91
1.9.3. Постановка задачи адаптивной гарантоспособности	93
1.9.4. Организация систем с адаптивной гарантоспособностью	94
1.9.5. Эффективность способов адаптивной гарантоспособности систем управления	96
 Литература к разделу 1.9	101
1.10. Задача рационального распределения ресурсов	102
 Литература к разделу 1.10	108
1.11. Система адаптивного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта (проект УРРАН)	109
1.11.1. Принципы, цель и задачи комплексного управления надежностью, рисками и стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте	110
1.11.2. Нормативно-методическое обеспечение УРРАН	116
1.11.3. Единая корпоративная платформа УРРАН (ЕКП УРРАН)	117
 Литература к разделу 1.11	123
1.12. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН	123
1.12.1. Структура математического обеспечения системы УРРАН	124
1.12.2. Архитектура информационной технологии УРРАН	127
 Литература к разделу 1.12	133

Глава II. БЕЗОПАСНОСТЬ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ 134

2.1. Об использовании методов Big Data в области обеспечения функциональной безопасности	134
2.1.1. Введение	135
2.1.2. Определение области исследования	136

2.1.3. Особенности функционирования железнодорожного транспорта в современных условиях	137
2.1.4. Технологии доказательства функциональной безопасности систем с искусственным интеллектом с помощью инструмента больших данных	138
2.1.5. Практическая область применения результатов	145
📖 Литература к разделу 2.1	146
2.2. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути	147
2.2.1. Введение	148
2.2.2. Актуальность прогнозирования появления опасных отказов верхнего строения пути	149
2.2.3. Обзор методов машинного обучения и их применения в анализе дефектов железнодорожного пути	150
2.2.4. Алгоритм подготовки данных о состоянии железнодорожного пути для применения методов машинного обучения в ОАО «РЖД»	152
2.2.5. Алгоритм применения методов машинного обучения для прогноза появления опасных отказов железнодорожного пути	155
2.2.6. Критерии выбора лучшей модели	156
2.2.7. Численный эксперимент категорирования участков пути на основе прогноза появления отказа	156
📖 Литература к разделу 2.2	160
2.3. О функциональной безопасности сложной технической системы управления с цифровыми двойниками	161
2.3.1. Введение	162
2.3.2. Архитектура технической системы с цифровым двойником	163
2.3.3. Оценка эффективности ответственной технической системы с цифровым двойником	165
📖 Литература к разделу 2.3	172
2.4. О методе обеспечения функциональной безопасности системы с одноканальной обработкой информации	173
2.4.1. Введение	174
2.4.2. Постановка задачи	175
2.4.3. Описание моделей	176
2.4.4. Результаты исследования	181
📖 Литература к разделу 2.4	187
2.5. К оценке безопасности системы автоведения поездов	187
2.5.1. Введение	188
2.5.2. Концептуальная модель безопасности системы автоведения поездов	190
2.5.3. Результаты анализа показателей безопасности системы автоведения поездов	193
2.5.4. Результаты анализа показателей надежности системы автоведения поездов	196
📖 Литература к разделу 2.5	198
2.6. Оценка безопасности и бесперебойности работы системы управления маневровым локомотивом с техническим зрением	199
2.6.1. Введение	199
2.6.2. Постановка задачи. Модель исследования	200
📖 Литература к разделу 2.6	210

2.7. Особенности оценки вероятности возникновения пожаров на тепловозах различных серий	211
2.7.1. Введение	212
2.7.2. Подбор распределения	213
2.7.3. Проверка статистических гипотез.....	214
2.7.4. Оценка достаточности объема испытаний	216
2.7.5. Оценка вероятности возникновения пожара на тепловозах серий 2ТЭ10, 2ТЭ116, ЧМЭЗ, ТЭМ2	216
2.7.6. Оценка параметра биномиального распределения.....	217
2.7.7. Расчет вероятности пожара и ограничений на эксплуатационный парк.....	217
2.7.8. Оценка вероятности возникновения пожара для тепловозов серий 2М62, ТЭП70, 3ТЭ10	218
 Литература к разделу 2.7	220
2.8. Автоматизированная система прогнозирования пожарной безопасности объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков	220
2.8.1. Введение	221
2.8.2. Проблема автоматизированного диагностирования неисправностей объектов, влияющих на пожарную безопасность.....	222
2.8.3. Диагностирование неисправностей объектов железнодорожного транспорта, приводящих к повышению пожарной опасности	225
2.8.4. Структура автоматизированной системы диагностирования и прогнозирования пожарной безопасности объектов железнодорожного транспорта.....	227
 Литература к разделу 2.8	229
2.9. Графовый метод оценки производственной безопасности на объектах железнодорожного транспорта	231
2.9.1. Введение	232
2.9.2. Подмножества состояний объектов железнодорожного транспорта	233
2.9.3. Граф состояний безопасности системы.....	235
2.9.4. Пример оценки вероятности перехода состояния кабелей на стационарном объекте в пожароопасное состояние.....	239
 Литература к разделу 2.9	241
2.10. Некоторые положения отказобезопасности и киберзащищенности систем управления	241
2.10.1. Отказобезопасность	241
2.10.2. Кибербезопасность	244
 Литература к разделу 2.10	249

Глава III. РИСК В УПРАВЛЕНИИ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА 250

3.1. Особенности интерпретации рисков в железнодорожном транспорте	250
 Литература к разделу 3.1	275
3.2. О природе рисков в управлении безопасностью	277
3.2.1. О природе риска и подходах к обеспечению безопасности	280
3.2.2. Замечания о категории риска.....	287
3.2.3. Замечания о системе мониторинга.....	289

3.2.4. Принципы составления полного набора данных	292
 Литература к разделу 3.2	296
3.3. О методе синтеза рисков в управлении безопасностью	298
3.3.1. Об уровнях потери устойчивости системы	300
3.3.2. Замечания об оптимальности	303
3.3.3. Алгоритм синтеза функции риска	306
3.3.4. Об индикаторах предкризисных ситуаций	311
 Литература к разделу 3.3	316
3.4. О методах качественной оценки состояния безопасности	317
3.4.1. О качественных оценках	321
3.4.2. О шкале оценки	322
3.4.3. О целевом (минимально допустимом) уровне	323
3.4.4. Об интегральном показателе	324
3.4.5. О частных показателях	326
3.4.6. О методах получения качественной оценки	329
3.4.7. О построении суперкритерия	336
 Литература к разделу 3.4	339
3.5. Методика определения зон (не)допустимых значений факторов для уменьшения риска схода с рельсов вагонов грузового поезда по причине излома боковой рамы	340
3.5.1. Введение	341
3.5.2. Построение индекса опасности излома боковой рамы	343
3.5.3. Нахождение зон (не)допустимых значений факторов	344
3.5.4. Пример	348
 Литература к разделу 3.5	351
3.6. Применение системы автоматической сигнализации для снижения риска транспортных происшествий на железнодорожных станциях	352
3.6.1. Введение	353
3.6.2. Алгоритм вычисления вероятности столкновения за произвольный промежуток времени при использовании системы МАЛС	354
3.6.3. Пример расчета вероятности столкновения пассажирского состава с маневровой группой для некоторой станции с установленной системой МАЛС	359
 Литература к разделу 3.6	365
3.7. Оценка рисков, связанных с проездом запрещающего сигнала светофора маневровым составом или пассажирским поездом	366
3.7.1. Расчет вероятности хотя бы одного столкновения маневрового состава и пассажирского поезда за год	368
3.7.2. Расчет среднего количества взрезов и сходов маневрового состава за год	369
3.7.3. Определение среднего ущерба от неблагоприятных событий	370
3.7.4. Оценивание величины риска	372
3.7.5. Построение матриц риска	373
3.7.6. Пример	377
 Литература к разделу 3.7	379
3.8. Задача ранжирования разнородных объектов	380
3.8.1. Постановка задачи	382

3.8.2. Метод решения.....	382
3.8.3. Оценка меры некомпетентности экспертов	384
3.8.4. Определение веса экспертов	385
3.8.5. Построение финальной шкалы	386
 Литература к разделу 3.8	388
3.9. Метод оценки рисков системы из разнотипных элементов.....	389
3.9.1. Введение	390
3.9.2. Постановка задачи	390
3.9.3. Оценка рисков системы.....	392
3.9.4. Пример	395
 Литература к разделу 3.9	397
3.10. Оценка риска в условиях неполноты экспертных оценок	398
3.10.1. Постановка задачи	400
3.10.2. Описание метода.....	400
3.10.3. Пример практического применения метода.....	404
 Литература к разделу 3.10	409
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	410