

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Черниговский национальный технологический университет

М.В. Лапа, К.Н. Маловик

**РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ЭКСПЛУАТАЦИИ И
РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ
КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Монография

Харьков
Издательство «ИНДУСТРИЯ»
2016

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления проектами и качества ЧНТУ **Сахно Евгений Юрьевич**,

доктор технических наук, профессор, руководитель Одесского НТЦ НАЭК «Энергоатом» **Владимир Антонович Герлига**,

доктор технических наук, профессор Одесского национального политехнического университета **Сергей Викторович Барбашов**.

Рекомендовано к изданию Ученым советом Черниговского национального технологического университета (протокол № 11 от 28 декабря 2015 г.)

Лапа М.В., Маловик К.Н.

Развитие научных основ повышения качества эксплуатации и ресурсоспособности критически важных объектов инфраструктуры: монография / к.т.н., доцент, с.н.с. Лапа М.В., д.т.н, профессор Маловик К.Н. — Харьков: Изд-во «ИНДУСТРИЯ», 2016. — 280 с.

ISBN 978-966-2160-67-3

В монографии исследованы и усовершенствованы процессы эксплуатации критически важных объектов инфраструктуры, рассмотрены проблемные вопросы оценивания и прогнозирования предельных состояний, предотказных состояний оборудования, а также совершенствования технологии ресурсного проектирования, обеспечивающие повышение качества эксплуатации и ресурсоспособности оборудования критически важных объектов инфраструктуры.

Предназначено для специалистов в сфере качества, стандартизации, метрологического обеспечения, промышленного и гражданского строительства, эксплуатации зданий и сооружений, аспирантов, преподавателей, научных работников соответствующих направлений, а также может быть использовано для организации практической работы на критически важных объектах инфраструктуры.

УДК 624:006:303.433.2

© Лапа М.В., Маловик К.Н., 2016

© Издательство «Индустрия», оригинал макет, 2016

О Г Л А В Л Е Н И Е

Перечень сокращений.....	5
Введение	7
Глава 1. Анализ методологической и нормативной базы оценивания ресурсных характеристик оборудования	3
1.1. Математическая формализация задачи принятия решений о продлении срока эксплуатации оборудования	13
1.2. Ресурсные характеристики оборудования	18
1.3. Методы оценивания ресурсных характеристик оборудования критически важных объектов инфраструктуры	25
Выводы	32
Глава 2. Стандартизация показателей ресурсоспособности критически важных объектов инфраструктуры	34
2.1. Ресурсоспособность оборудования	34
2.2. Исследование показателей ресурсоспособности	37
2.3. Систематизация свойств ресурсоспособности	43
2.4. Унификация динамики состояний ресурсоспособности	54
2.5. Нормирование показателей ресурсоспособности	60
Выводы	65
Глава 3. Моделирование процессов оценивания ресурсных характеристик критически важных объектов инфраструктуры	66
3.1. Модели долговечности оборудования критически важных объектов инфраструктуры	67
3.2. Исследование процесса оценивания ресурсоспособности оборудования энергоблоков АЭС	73
3.3. Инфологическое моделирование предметной области для оценивания ресурсоспособности технических средств физической защиты ядерных объектов	77
3.4. Определение факторов, существенно влияющих на ресурсные характеристики и ресурсоспособность оборудования.....	84
Выводы	89
Глава 4. Индивидуальное прогнозирование показателей ресурсоспособности оборудования критически важных объектов инфраструктуры	90
4.1. Особенности индивидуального прогнозирования оборудования критически важных объектов инфраструктуры	90
4.2. Экспертная оценка ресурсных характеристик технических средств охраны КВОИ	94
4.3. Усовершенствование процесса анализа показателей надежности технических средств охраны КВОИ	107

4.4. Прогнозирование времени предельного состояния оборудования	127
Выводы	140
Глава 5. Разработка системы прогнозирования показателей ресурсоспособности критически важных объектов инфраструктуры	141
5.1. Принципы создания системы прогнозирования показателей ресурсоспособности критически важных объектов инфраструктуры .	141
5.2 Усовершенствование технологии ресурсного проектирования оборудования критически важных объектов инфраструктуры	147
5.3. Модернизация испытательных средств для моделирования условий эксплуатации оборудования	157
5.4 Способы определения предельных состояний	165
Выводы	170
Глава 6 Реализация комплекса долговременных мер по минимизации негативных последствий аварии на ЧАЭС	172
6.1. Анализ законодательной и нормативной базы организации строительных работ в зоне радиационного загрязнения	172
6.2. Бенчмаркинг-исследования процессов организации строительных работ в зоне радиационного загрязнения	181
6.3. Мониторинг и усовершенствование процесса мобилизации персонала для выполнения строительных работ в зоне радиационного загрязнения.....	194
6.4. Мониторинг и усовершенствование процесса мобилизации машин и механизмов для выполнения строительных работ в зоне радиационного загрязнения	203
6.5. Мониторинг и усовершенствование процесса оценки поставщиков металлоконструкций	207
6.6. Мониторинг и усовершенствование процессов подтверждения соответствия металлоконструкций для строительства арки нового безопасного конфаймента ЧАЭС	212
6.7. Разработка Методики управления взаимодействиями головного и полевого офиса при выполнении проектов в зоне радиационного загрязнения.....	217
6.8. Реагирование на аварии и чрезвычайные ситуации при выполнении строительных работ в зоне радиационного загрязнения.	220
Выводы.....	228
Заключение	229
Литература	232
Приложения	257

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АКНП – аппаратура контроля нейтронного потока
АКРБ – аппаратура контроля радиационной безопасности
АЭК – атомно-энергетический комплекс
АЭС – атомные электростанции
ВБР – вероятность безотказной работы
ВВР – водно-водяной реактор
ВВЭР – водно-водяной энергетический реактор
ВПС – время предельного состояния
ГО – головной офис
ЖРО – жидкие радиоактивные отходы
ИЛМ – инфологическая модель
ИО – интенсивность отказов
КВОИ – критически важный объект инфраструктуры
КИП – контрольно-измерительные приборы
ЛП – лингвистическая переменная
ЛПР – лицо, принимающее решение
НБК – новый безопасный конфаймент
НМ – нечеткое множество
ОКП – объекты критического применения
ОР – остаточный ресурс
ОЯТ – отработанное ядерное топливо
ОЯЭ – объект ядерной энергетики
ПР – плотность распределения
ПО – полевой офис
ПФ – прогнозирующая функция
РАО – радиоактивные отходы
РБМК – реактор большой мощности канальный
РЗ – радиационная защита
РС – ресурсоспособность
РХ – ресурсная характеристика
СВБ – системы, важные для безопасности
СВРК – система внутриреакторного контроля
СИАЗ – система промышленной антисейсмической защиты
СКУ – система контроля и управления
СМК – система менеджмента качества

СО – средство обнаружения
СУЗ – система управления и защиты
СФЗ – система физической защиты
ТО – техническое обслуживание
ТРО – твердые радиоактивные отходы
ТРП – технология ресурсного проектирования
ТСО – технические средства охраны
УВС – управляющая вычислительная система
УКТС – унифицированный комплекс технических средств
ФП – функция принадлежности
ФР – функция распределения
ЧАЭС – Чернобыльская атомная электростанция
ЯЭУ – ядерная энергетическая установка
ЯО – ядерный объект

ВВЕДЕНИЕ

Критически важный объект инфраструктуры (КВОИ) – объект, нарушение (или прекращение) функционирования которого приводит к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению (или разрушению) экономики страны или существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях, на длительный срок. Среда обитания и жизнедеятельности современного социума во многом определяется взаимодействием энергетических, транспортных, производственных и экологических объектов, которые являются объектами критической инфраструктуры в том смысле, что незначительные сбои при их функционировании могут привести к авариям, в большинстве случаев носящим характер катастроф. КВОИ – термин, используемый правительствами многих стран, описывающий активы, которые абсолютно необходимы для нормального функционирования общества и экономики и включает предприятия следующих основных отраслей: здравоохранение, энергетика, экстренные службы (полиция, пожарные и т.п.), банки и финансы, телекоммуникации и информационные технологии. К сожалению, анализ Чернобыльской аварии (Украина), аварии на Саяно-Шушенской ГЭС (Россия), критических событий на Фукусиме (Япония) свидетельствует о наличии системных причин, которые в общем виде можно сформулировать как недостаточный уровень качества эксплуатации, нарушение принципов TQM в процессе эксплуатации КВОИ. Вопросы безопасности КВОИ должны обрабатываться еще на этапе их проектирования, а нормативная база должна способствовать этому. Поэтому обеспечение и повышение качества эксплуатации и прогнозирования показателей ресурсоспособности оборудования КВОИ является важным фактором развития и внедрения культуры безопасности таких сложных объектов, как атомные станции, магистральные нефтегазопроводы, железнодорожный транспорт, комплексы тепловой энергетики и др.

Вследствие интенсификации процессов производства, бизнеса и оказания услуг возрастают требования к безопасности объектов критического применения и к актуальной проблеме оценивания и прогнозирования ресурса применяемого оборудования. Применительно к атомной отрасли широко известны труды профессоров В.А. Острейковского и А.В. Антонова, а также Заслуженного деятеля науки и техники Украины, доктора технических наук, профессора М.А. Ястребенецкого, которые широко используются в теории и практике обеспечения и повышения качества оценивания ресурсных ха-

рактических высоконадежного и уникального оборудования сложных объектов.

Согласно трудам профессора А.Ф. Гетмана особое внимание при исследовании проблемы ресурса сложных объектов необходимо уделять ресурсоспособности как комплексу технических характеристик оборудования и трубопроводов, определяющих возможность их эксплуатации, и ресурсу эксплуатации (как наработке сложного объекта от начала или возобновления эксплуатации до наступления предельного состояния, при котором применение сложного объекта по назначению недопустимо или нецелесообразно). Поэтому в данной монографии проведен сравнительный анализ и получены аналитические зависимости для оценивания и прогнозирования предельных состояний сложных объектов, а также показаны подходы для исследования предотказных состояний на базе разработанной модели динамики состояний ресурсоспособности оборудования КВОИ. Полученные результаты дают возможность сформулировать предложения по усовершенствованию технологии ресурсного проектирования сложных объектов, которые направлены на повышение качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик и показателей ресурсоспособности оборудования КВОИ.

С организационной точки зрения оценивание ресурсных характеристик и показателей ресурсоспособности сложных объектов происходит на базе системного подхода к взаимодействующему высоконадежному, уникальному оборудованию с ограниченной эксплуатационной информацией, обладающему существенной индивидуальностью. Поэтому построены модели для экспертного оценивания ресурсных характеристик сложных объектов, предусматривающие применение инфологического моделирования предметной области для исследования динамики изменений ресурсоспособности оборудования критически важных объектов инфраструктуры.

Основная проблематика, связанная с дальнейшим развитием научных знаний в данной области, состоит в необходимости углубленной проработки вопросов:

- разработки теории оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов в условиях неопределенности исходных данных по эксплуатационным воздействиям;
- решения задач индивидуального прогнозирования ресурсоспособности оборудования объектов критического применения;
- решения задачи разработки моделей оценивания влияния менеджмента старения, значений остаточного ресурса и показателей ресурсоспособности на степень риска возникновения неблагоприятных событий на КВОИ.

В последние годы вопросам методологии оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов уделяется большое внимание. Однако публикации, комплексно рассматривающие проблему ресурсоспособности оборудования КВОИ, обобщающие научно-технический и методико-технологический практический опыт, встречаются редко. Поэтому предлагаемая монография в определенной мере восполняет пробел в области повышения качества эксплуатации и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов, развития и усовершенствования научно-технической терминологии при исследовании показателей ресурсоспособности с учетом оценивания рисков возникновения техногенных катастроф.

На сегодняшний день накоплен значительный опыт эксплуатации КВОИ, который выявил новые проблемы, важнейшими из которых являются оценивание и прогнозирование ресурсных характеристик (РХ) таких сложных объектов, как объекты ядерной энергетики. В настоящее время имеется насущная потребность в научной проработке не решенных известных фундаментальных задач применительно к обоснованию безотказности и безопасности высоконадежного, уникального оборудования КВОИ. Из них первоочередными, главными являются вопросы стандартизации показателей ресурсоспособности (РС), построения моделей для экспертного оценивания РХ, индивидуального прогнозирования показателей РС и оценивания рисков при контроле РХ оборудования КВОИ.

Повышенное внимание специалистов к разработке и применению новых математических моделей, методов оценивания и прогнозирования показателей РС обусловлено реальными потребностями различных объектов критического применения, таких как ОЯЭ. При этом ужесточаются требования по формированию технической документации на разрабатываемое, производимое и эксплуатируемое оборудование КВОИ, в которой необходимо отмечать ресурсные характеристики (РХ) и показатели качества, а также формулировать гарантийные обязательства предприятий-изготовителей оборудования КВОИ с учетом динамики старения, деградации и условий его эксплуатации. Для решения данной задачи необходима специальным образом организованная технология ресурсного проектирования, предусматривающая выполнение и контроль работ по оцениванию и прогнозированию показателей РС сложных объектов на всех этапах их жизненного цикла.

Целью данной монографии является развитие научных основ повышения качества эксплуатации и прогнозирования показателей ресурсоспособности оборудования КВОИ, что представлено в шести главах с выводами по каждой из них.

Первая глава посвящена анализу современного состояния методологической и нормативной базы организации работ по сбору и обработке статистической информации о ресурсных характеристиках КВОИ на примере оборудования энергоблоков АЭС. Проведена математическая формализация задачи оценивания остаточного ресурса на примере ТСО АЭС с использованием положений теории выбора и принятия решений. Рассмотрены характеристики надежности на примере реальных данных, полученных из опыта многолетней эксплуатации 15 энергоблоков АЭС.

Во второй главе рассматриваются вопросы стандартизации ресурсоспособности оборудования, которые вызваны необходимостью проверки однородности исходной информации; потребностью повышения эффективности технологии ресурсного проектирования; целесообразностью выбора и нормирования определяющих показателей ресурсоспособности оборудования. Показаны подходы к систематизации свойств и унификации динамики состояний ресурсоспособности оборудования. Разработана модель динамики состояний ресурсоспособности, позволяющая получить аналитические зависимости для вычисления времени попадания его в предельное состояние. Формализованы процессы аналитического обратного прогнозирования времени предельного состояния оборудования, и предложен алгоритм нормирования определяющих показателей РС.

Построение моделей для экспертного оценивания ресурсных характеристик оборудования критически важных объектов инфраструктуры показано в третьей главе, где проанализирована существующая нормативная база по применению моделей долговечности и исследован процесс оценивания ресурсоспособности критически важных объектов инфраструктуры. Уделено внимание вопросам системного анализа экспертных знаний о РС с использованием понятия гомоморфизма. Предложено использование ИЛМ предметной области, существующих баз данных предприятий для выявления факторов, влияющих на показатели качества продукции и услуг, при построении причинно-следственных диаграмм. Инфологическая модель предметной области применена для выявления факторов, в большей степени влияющих на показатели долговечности на примере технических средств ФЗ АЭС, что повысит качество управленческих решений о продлении срока их эксплуатации, предложен диапазон значений ресурсоспособности оборудования.

Показана необходимость дальнейшего совершенствования классификации экспертных знаний в виде адекватных моделей, формализация процедур и нормативной базы для повышения достоверности и качества оценивания и прогнозирования ресурсоспособности оборудования критически важных объектов инфраструктуры.

Четвертая глава посвящена вопросам индивидуального прогнозирования показателей ресурсоспособности КВОИ на базе разработанных методов

экспертного оценивания. Показано применение корреляционно-регрессионного анализа для усовершенствования подхода к индивидуальному прогнозированию ресурсных характеристик ТСО при реконструкции СФЗ, усовершенствован процесс анализа показателей долговечности ТСО АЭС. Рассмотрено применение метода индивидуального прогнозирования времени предельного состояния оборудования критически важных объектов инфраструктуры, позволяющий выполнять интервальную оценку с помощью представленного типового алгоритма.

Пятая глава посвящена вопросам создания системы прогнозирования показателей ресурсоспособности КВОИ на базе сформулированных принципов и упорядоченной последовательности их применения. Показано применение принципов системного подхода и модели технологического треугольника для усовершенствования технологии ресурсного проектирования и эффективного менеджмента РС на всех этапах жизненного цикла КВОИ. Показаны технологии для прогнозирования индивидуальных показателей ресурсоспособности КВОИ, включая модернизацию испытательных средств для исследования предотказных состояний и определение предельных состояний КВОИ, позволяющие повысить качество оценивания и прогнозирования показателей ресурсоспособности КВОИ.

В шестой главе рассмотрены и усовершенствованы процессы организации строительных работ в зоне радиационного загрязнения для реализации долговременных мер по ликвидации аварии на ЧАЭС. Разработана номенклатура показателей качества организации строительных работ. Усовершенствована нормативная база организации строительства промышленных объектов в зоне отчуждения и безусловного (обязательного) отселения, усовершенствованы процессы мобилизации и оценки конкурентоспособности персонала, усовершенствованы процессы оценки соответствия металлоконструкций для строительства арки НБК ЧАЭС.

При выполнении исследований применялась эксплуатационная статистическая информация о надежности и долговечности блоков и устройств аппаратуры контроля радиационной безопасности (АКРБ) систем радиационного контроля, турбогенераторов большой мощности, измерительных каналов системы внутриреакторного контроля (СВРК), технических средств физической защиты (ТСО) АЭС, метрологической службы ПАО «ДТЭК Крымэнерго» за период с 1985 по 2014 гг.

Основу данной монографии составляет материал докладов, предоставленных на 30 международных семинарах и конференциях, среди которых: «Приборостроение» 2010, 2011, 2012, 2014 гг. (г. Киев, Украина), отчетная сессия Целевой комплексной программы научных исследований НАНУ «Фундаментальные проблемы водородной энергетики» – 2009, 2010 гг. (г. Киев, Украина), «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування. Європейський досвід» 2011, 2013, 2014 гг. (г. Чернигов,

Украина), «Комплексное обеспечение качества технологических процессов и систем» – 2014, 2015 гг. (г. Чернигов, Украина), «Метрология и метрологическое обеспечение» 2009, 2010, 2012 гг. (г. Созополь, Болгария), «Специальные вопросы проблем анализа, идентификации, моделирования и управления в критических инфраструктурах» (University of Naples Federico, г. Неаполь, Италия), Научная сессия НИЯУ МИФИ-2012 (г. Обнинск, Россия), «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС-2012» (г. Чернигов-Жукин, Украина).

Разделы 1.1, 1.2, 4.2, 4.3, главы 3,6, монографии выполнены автором М.В.Лапа; главы 2, 5, разделы 1.3, 4.1, 4.4 выполнены д.т.н. К.Н.Маловиком.

Данная монография предназначена для специалистов в области стандартизации ресурсных характеристик и показателей ресурсоспособности оборудования объектов критической инфраструктуры, конструкторов и научно-технических работников в сфере ядерной энергетики и смежных областей, промышленного и гражданского строительства, а также может быть полезна для студентов, магистров и аспирантов.

Авторы

Глава 1

АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ И НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ

1.1. Математическая формализация задачи принятия решений о продлении срока эксплуатации оборудования

Для ряда КВОИ, в частности в атомной энергетике, существует проблема оценки реального уровня РС сложных объектов, подверженных при эксплуатации воздействию процессов старения, усталости, износа и деградации, а также учета влияния человеческого фактора на их долговечность. К настоящему времени большое количество энергоблоков находится на грани исчерпания назначенного ресурса, который равен 25 – 30 годам эксплуатации. Однако практика эксплуатации показывает, что энергоблоки АЭС в целом имеют еще достаточный запас ресурса. Перед эксплуатирующими организациями стоит проблема принять решение либо о продлении срока службы оборудования АЭС, либо о немедленной его замене. Это решение должно быть полностью обоснованным по требованиям безопасности АЭС, а также экономически оправданным. Основанием для принятия такого решения должно быть оценивание и прогнозирование реального состояния оборудования, его РХ, удовлетворяющее научно-обоснованным требованиям. Поэтому системное исследование РХ компонентов энергоблоков АЭС, выявление проблем и недостатков в сфере качества оценивания и прогнозирования РХ является актуальным [1, 2, 3]. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих научных задач: анализа и усовершенствования нормативной базы в данной предметной области, современных подходов к управлению старением энергоблоков АЭС, разработки новых прогнозных математических моделей РХ и методов оценивания и прогнозирования на их основе.

По данным МАГАТЭ, многие энергоблоки АЭС приближаются к окончанию проектного срока службы. Возраст 213 (49 %) из 438 реакторов – от 20 до 30 лет, 115 (26 %) – от 30 до 40 лет, что показано на рис. 1.1.

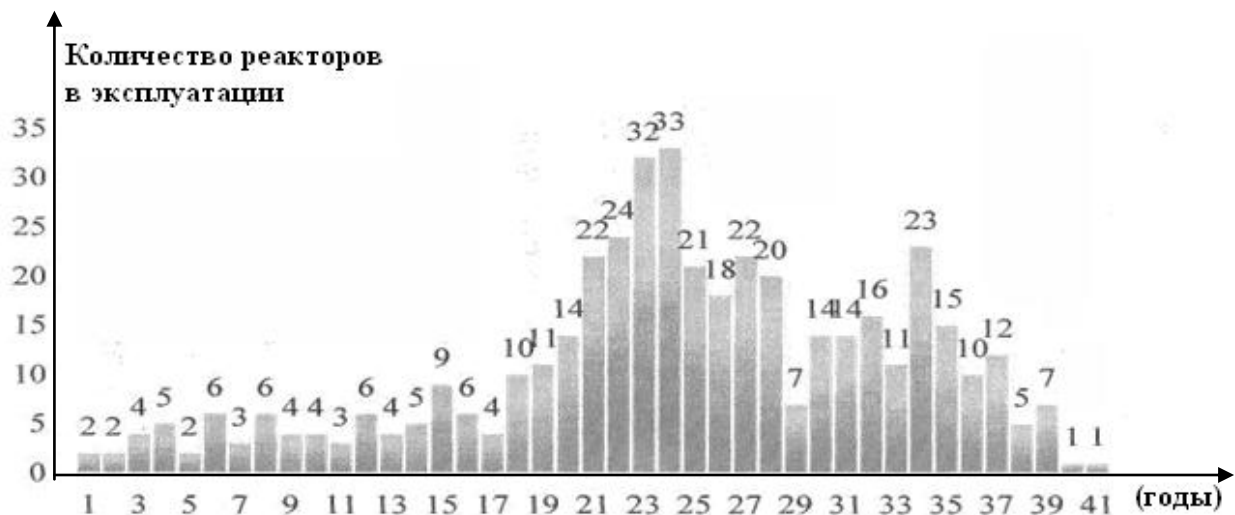


Рис. 1.1. Сроки службы энергоблоков АЭС (по данным МАГАТЭ)

Например, сроки окончания регламентированного периода эксплуатации действующих энергоблоков АЭС Украины приведены на рис. 1.2, а проектные сроки их эксплуатации указаны в табл. 1.1.

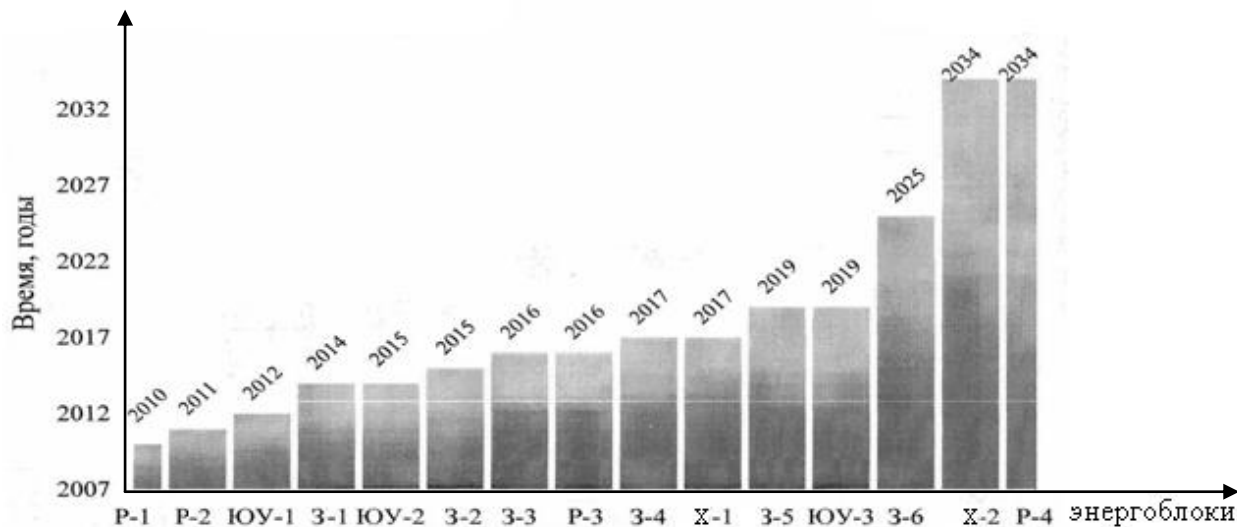


Рис. 1.2. Сроки окончания регламентированного периода эксплуатации действующих энергоблоков АЭС Украины

Т а б л и ц а 1.1

Проектные сроки эксплуатации АЭС Украины

Название АЭС	№ блока	Тип реактора	Установленная электрическая мощность, МВт	Начало строительства	Начало коммерческой эксплуатации	Окончание проектного срока эксплуатации
ЗАЭС	1	ВВЭР-1000	1000	01.04.1980	10.12.1984	10.12.2014
	2	ВВЭР-1000	1000	01.04.1981	22.07.1985	22.07.2015
	3	ВВЭР-1000	1000	01.04.1982	10.12.1986	10.12.2016
	4	ВВЭР-1000	1000	01.01.1984	18.12.1987	18.12.2017
	5	ВВЭР-1000	1000	01.07.1985	14.08.1989	14.08.2019
	6	ВВЭР-1000	1000	01.06.1986	19.10.1995	19.10.2025
ЮУ АЭС	1	ВВЭР-1000	1000	01.03.1977	31.12.1982	30.12.2012
	2	ВВЭР-1000	1000	01.10.1979	06.01.1985	06.01.2015
	3	ВВЭР-1000	1000	01.02.1985	20.09.1989	20.09.2019
РАЭС	1	ВВЭР-440	415	01.08.1976	22.12.1980	22.12.2010
	2	ВВЭР-440	420	01.10.1977	22.12.1981	22.12.2011
	3	ВВЭР-1000	1000	01.02.1981	21.12.1986	20.12.2016
	4	ВВЭР-1000	1000	01.06.1986	10.10.2004*	01.04.2034
ХАЭС	1	ВВЭР-1000	1000	01.11.1981	22.12.1987	21.12.2017
	2	ВВЭР-1000	1000	01.06.1986	07.08.2004*	01.11.2034

В США более 70 % действующих блоков получили или находятся в процессе получения лицензии на продление срока эксплуатации от 40 до 60 лет.

В ближайшие десятилетия оценивание и прогнозирование РХ для продления срока службы энергоблоков – ключевые вопросы, связанные с анализом безопасности АЭС.

Перед эксплуатирующими организациями стоит проблема принятия решения о дальнейшей эксплуатации энергоблоков или их вывода из хозяйственной деятельности, что связано с существенными материальными и финансовыми затратами.

Продление и переназначение ресурсных характеристик АЭС необходимо теоретически обосновать и практически подтвердить обследованием технического состояния оборудования КВОИ, а также расчетами, позволяющими достаточно достоверно прогнозировать их поведение в будущем,

обеспечивая минимальные риски при принятии соответствующих решений. Эта задача – оценивание и прогнозирование РХ конкретного оборудования – является и в настоящее время не решенной задачей индивидуального прогнозирования показателей ресурсоспособности КВОИ.

Рассмотрим математические модели процессов принятия решений о продлении срока эксплуатации оборудования и их свойства. Существует множество вариантов, необходимо выделить из него некоторое подмножество, в отдельных случаях – один вариант. Выделение требуемых вариантов производится на основе представления руководителя об их качестве. Представление о качестве вариантов характеризуют принципом оптимальности. Задачей принятия решений о продлении срока эксплуатации оборудования КВОИ является пара $\langle Q, ОП \rangle$, где Q – множество вариантов, $ОП$ – принцип оптимальности; решением задачи $\langle Q, ОП \rangle$ – множество $Q_{оп} \subseteq Q$, полученное с помощью принципа оптимальности $ОП$. Отсутствие хотя бы одного из указанных элементов лишает смысла задачу в целом. Если нет множества Q , то выделять управленческое решение $Q_{оп}$ не из чего. Если нет принципа оптимальности, то найти решение невозможно. Математическим выражением принципа оптимальности $ОП$ служит функция выбора $C_{оп}$. Она сопоставляет любому подмножеству $X \subseteq Q$ его часть $C_{оп}(X)$. Решением $Q_{оп}$ исходной задачи является множество $C_{оп}(Q)$.

Задачи принятия управленческих решений о продлении срока эксплуатации оборудования КВОИ можно различать в зависимости от имеющейся информации о множестве Q и принципе оптимальности $ОП$. В общей задаче принятия решений как Q , так и $ОП$ могут быть неизвестными. Информацию, необходимую для выделения $Q_{оп}$, получают в процессе решения. Задача с известным Q является задачей выбора, задача с известными Q и $ОП$ – общей задачей оптимизации. Таким образом, задача выбора и задача оптимизации являются частными случаями общей задачи принятия управленческих решений. Особенность развиваемого здесь подхода к решению задачи выбора состоит в том, что он в общем случае не требует полного восстановления принципа оптимальности, а позволяет ограничиться только информацией, достаточной для выделения $Q_{оп}$. Общая задача оптимизации может не предполагать максимизации одной или нескольких числовых функций. Ее смысл состоит в выделении множества лучших элементов, т. е. в вычислении значения $C_{оп}(Q)$ при заданных Q и $C_{оп}$. Если $C_{оп}$ – скалярная функция выбора на множестве Q , то получаем обычную оптимизационную задачу. Элементы множества Q являются управленческими альтернативами или вариантами. Принцип оптимальности задает понятие лучших альтернатив: лучшими считают альтернативы, принадлежащие $C_{оп}(Q)$.

В вопросах продлении срока эксплуатации оборудования КВОИ альтернативы обладают многими свойствами, оказывающими влияние на ре-

шение. Пусть некоторое свойство альтернатив из Q выражается числом, т. е. существует отображение $\varphi: Q \rightarrow E_1$. Тогда такое свойство называют критерием, а число $\varphi(x)$ – оценкой альтернативы x по данному критерию. В качестве критериев можно использовать параметры, предложенные Р.А. Фатхутдиновым в [4]. При принятии решений в вопросах продления срока эксплуатации оборудования КВОИ одновременный учет отдельных свойств может быть затруднительным. При этом выделяют группы свойств, которые агрегируют в виде аспектов. Аспект представляет собой сложное свойство альтернатив, которое одновременно учитывает все свойства, входящие в соответствующую группу. В частном случае аспект может являться критерием.

Процесс решения задачи $\langle Q, ОП \rangle$ организуют по следующей схеме: формируют множество Q , т. е. готовят альтернативы, а затем решают задачу выбора. В процессе формирования множества Q используют условия возможности и допустимости альтернатив, которые определяются конкретными ограничениями задачи. При этом считают известным универсальное множество Q_v всех мыслимых альтернатив. Задача формирования Q является задачей выбора $\langle Q_v, ОП_1 \rangle$, где $ОП_1$ – принцип оптимальности, выражающий условия допустимости управленческих альтернатив.

Множество $Q = C_{оп}(Q_v)$, полученное в результате решения указанной задачи выбора, называют исходным множеством альтернатив. Итак, общая задача принятия управленческих решений сводится к решению двух последовательных задач выбора. В процессе решения этой задачи участвуют: лицо, принимающее решение, эксперты, консультанты.

Оптимальность решений в процессе продления срока эксплуатации оборудования КВОИ является обязательным условием, обеспечивающим экономическую эффективность. Оценка технических решений основывается на использовании двух принципов: технического и экономического. В соответствии с техническим принципом оборудование должно полностью обеспечивать выполнение всех функций. Это требование выполняется на этапе генерации альтернатив. Согласно требованиям экономического принципа эксплуатация оборудования должна вестись с минимальными затратами труда и издержками производства. Расчет экономических показателей для принимаемого технического решения проводится с использованием общепринятых формул. Комплексно учесть эти требования предлагается путем определения ресурсоспособности объекта.

При продлении срока эксплуатации оборудования КВОИ задача выбора оптимальных альтернатив решается как задача нечеткого математического программирования при нечетком множестве допустимых альтернатив Ω . Целевая функция S минимизируется на множестве N_{α} тех альтернатив, которые со степенью не меньшей α считаются допустимыми в

исходной задаче нечеткого математического программирования. Решение записывается в виде, формула (1.1):

$$\mu_0(\Omega) = \sup_{\alpha : \Omega \in N_\alpha} \alpha, \quad (1.1)$$

т.е. его функция принадлежности принимает значения, равные максимальному уровню $\hat{\alpha}$, для которого соответствующая альтернатива Ω доставляет экстремум целевой функции C . Его можно определить также согласно [4,5] по формуле (1.2):

$$\mu_0(\Omega) = \begin{cases} \mu(\Omega), & \text{если } \Omega \in N_{\hat{\alpha}} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1.2)$$

Таким образом, если надлежит выбрать единственную альтернативу $\Omega^0 \in \Omega$, то выбор должен основываться не только на величине функции принадлежности (степени принадлежности альтернативы Ω^0 нечеткому множеству допустимых альтернатив Ω), но и соответствующим значением целевой функции C . Вместо задачи минимизации при нечетком математическом программировании ставится задача удовлетворения исходной цели, решением которой кроме альтернативы, доставляющей минимум целевой функции C являются и другие альтернативы, которые могут использоваться как дублирующие. Таким образом, осуществляется выбор тех решений из множества $N_{\hat{\alpha}}$, себестоимость для которых не превышает некоторого заданного значения, что позволяет подлить срок эксплуатации изделия при определенных затратах на процессы восстановления.

1.2. Ресурсные характеристики оборудования

В настоящее время в технической литературе, нормативной документации нет единого определения термина «ресурсная характеристика» [1 – 44]. Поэтому под РХ можно понимать параметры, используемые при решении ресурсных задач [1, 45, 46]. В качестве основных определяющих РХ предлагается исследовать прямое остаточное время, обратное остаточное время, остаточный ресурс [47, 48].

Рассмотрим основные термины и определения, касающиеся РХ, изложенные в Глоссарии МАГАТЭ [35], согласно которому аттестованный ресурс – период, в течение которого оборудование или его элемент, как это подтверждается посредством испытаний, анализа или на основе эксплуатационного опыта, способно функционировать в пределах критериев приемлемости при возникновении особых условий эксплуатации, обеспечивая при этом выполнение требуемых показателей безопасности. Проектный (расчетный) срок службы – период, в течение которого оборудование или

элемент, как ожидается, функционирует в соответствии с требованиями технических условий. Срок службы – период от начальной эксплуатации до окончательного вывода из эксплуатации оборудования. Эксплуатационный ресурс:

- период, в течение которого оборудование, имеющее официальное разрешение, используется в целях, для которых оно предназначено, до его снятия с эксплуатации или закрытия;

- период времени, в течение которого оборудование АЭС для обращения с отработавшим топливом или с радиоактивными отходами используется в предназначенных целях.

Большой вклад в изучение проблем оценивания и прогнозирования показателей надежности и технического обслуживания сделан немецкими учеными Ф. Байхельтом и П. Франкеном. В работе [3] рассмотрено математическое моделирование процессов восстановления, РХ – прямого и остаточного времени, а также статистические методы оценки распределения наработки. При этом определяется, что с процессом восстановления $\{X_n, n = 1, 2, \dots\}$ связаны процессы $\{R_t, t \geq 0\}$ и $\{V_t, t \geq 0\}$, называемые соответственно процессами обратного и прямого остаточного времени:

$$R_t = t - T_{N(t)}; \quad (1.3)$$

$$V_t = T_{N(t)+1} - t, \quad (1.4)$$

где R_t – обратное остаточное время, или возраст;
 V_t – прямое остаточное время, или остаточная наработка работающего оборудования к моменту времени t ;
 $T_1, T_2, \dots, T_{N(t)}, T_{N(t)+1}$ – моменты восстановления;
 $\{X_1, X_2, \dots, X_{N(t)+1}\}$ – процессы восстановления (рис. 1.3).

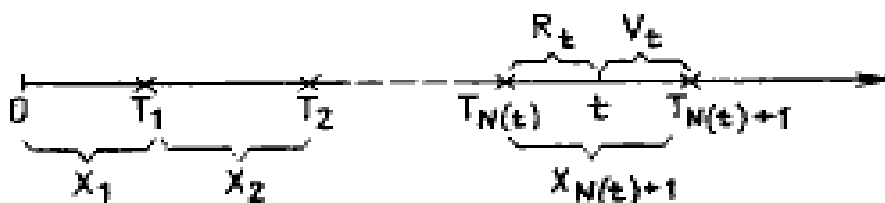


Рис. 1.3 Обратное и прямое остаточное время для процесса восстановления $\{X_n, n = 1, 2, \dots\}$

Для оценивания показателей надежности оборудования и трубопроводов АЭС применяется также определение ресурса 1, 2, 3, 4-го родов [49] и РС [1], под которой понимается комплекс технических характеристик оборудования, определяющих возможность его эксплуатации. При этом РС

является характеристикой только оборудования, а ресурс зависит от РС и условий эксплуатации. Кроме того, для оценивания долговечности применяются понятия:

– γ -процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ ;

– назначенный ресурс – суммарная наработка оборудования, по достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния;

– срок службы – календарная продолжительность эксплуатации (в т.ч. хранение, ремонт) от ее начала до наступления предельного состояния [1, 6, 45, 46, 50].

Для обеспечения работ по продлению срока эксплуатации оборудования энергоблоков АЭС разработан и утвержден перечень необходимых документов в виде норм, правил и стандартов [6 – 28].

Таким образом, существующая нормативная база, применяемая, например, в атомной энергетике, определяет следующие РХ [29], известные также как показатели долговечности [45]:

- средний ресурс – T_p ;
- γ -процентный ресурс – $T_{p\gamma}$;
- назначенный ресурс – T_{pn} ;
- средний срок службы – T_{cl} ;
- γ -процентный срок службы – $T_{cl\gamma}$;
- назначенный срок службы – $T_{cлн}$.

Для контроля показателей долговечности АЭС с 2003 года реализуется проект МАГАТЭ UKR/4/013 «План действий по вопросам управления сроком эксплуатации». Учитываются также рекомендации МАГАТЭ и других зарубежных организаций, изложенные в документах [30 – 35].

Внедрение и реализация программы управления старением энергоблока АЭС является необходимым условием:

- для поддержки или повышения уровня безопасности энергоблока АЭС;
- подготовки к эксплуатации в надпроектный срок;
- создания эффективной системы управления ресурсом.

При выполнении программы управления старением предусматривается осуществление переназначения ресурса элементов и оборудования энергоблоков, замена или восстановление которых не планируется к следующей переоценке безопасности. Предусматривается, что применяемые методы прогнозирования должны компенсировать неопределенности входной информации. Согласно [6], для оценки показателей надежности АЭС, энергоблоков, систем и оборудования применяют статистические и расчетно-экспериментальные методы. Одновременно практика управления

старением показывает актуальность разработки экспертных методов оценки РХ и повышения качества оценивания и прогнозирования показателей долговечности оборудования КВОИ [1, 2, 46, 49].

При изучении современных подходов к процессам управления старением выбранного оборудования энергоблоков АЭС необходимо рассмотреть три следующих ключевых элемента эффективной программы управления старением [10 – 13]:

- понимание процессов деградации вследствие старения;
- мониторинг старения, который дает возможность обнаружить ухудшение свойств оборудования энергоблока до его отказа;
- своевременное смягчение процессов и эффектов старения (например, посредством технического и ремонтного обслуживания, замены или изменения условий эксплуатации) для обеспечения поддержания необходимых запасов безопасности.

Мониторинг старения оборудования энергоблока включает [20 – 26]:

- определение индикаторов состояния оборудования;
- разработку методов диагностики;
- расширение возможностей отслеживания тенденций в изменении данных и их оценку;
- разработку моделей для прогнозирования остаточного ресурса и др. РХ.

Для управления старением оборудования энергоблока необходимы следующие исходные данные, которые накапливаются в процессах оперативного управления эксплуатацией, технического обслуживания и ремонта [28]:

- данные по мониторингу технического состояния оборудования энергоблока;
- данные, связанные с восстановлением ресурса оборудования энергоблока.

Данные по мониторингу технического состояния и восстановлению ресурса оборудования используют:

- для принятия оперативных решений о возможности его дальнейшей эксплуатации и необходимых корректирующих мероприятий;
- организации накопления статистической информации, последующей обработки и анализа в целях принятия решений о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования и разработки мероприятий по управлению его ресурсом.

К данным по мониторингу технического состояния относятся:

- показания штатных стационарных и переносных средств измерительной техники, характеризующих работу оборудования энергоблока при нормальной эксплуатации, в переходных режимах, регламентных и сверхрегламентных испытаниях;
- результаты инструментального и визуального контроля и измере-

ний параметров и свойств материалов, характеризующих состояние узлов и деталей оборудования при техническом обслуживании и ремонте;

- данные по дефектам оборудования;
- данные по результатам расследования отказов оборудования.

Разработкой методов решения практических задач надежности, включая исследование статистических методов, основанных на информации об эксплуатационных характеристиках КВОИ, занимались такие ученые, как Б.В. Гнеденко и Ю.К. Беляев, а также А.Ф. Гетман, М.А. Ястребенецкий, В.А. Острейковский, А.В. Антонов, известные в ядерной энергетике [1, 2, 45, 47]. Во многих случаях решение о продлении срока службы, основанное на фактическом состоянии оборудования КВОИ и накопленных статистических данных об отказах, является экономически оправданным и не приводит к снижению уровня безопасности. При этом известны работы по анализу методов оценивания ресурсных характеристик КВОИ при неоднородном потоке отказов и ограниченной исходной информации [38, 48, 51, 52]. Статистические методы оценки и прогнозирования ресурса оборудования АЭС подразделяются следующим образом [37]:

- методы оценки остаточного ресурса (ОР), основанные на расчете прямого остаточного времени;
- методы, основанные на анализе функции распределения ресурса как случайной величины;
- методы оценки ОР оборудования атомных станций на основе анализа выходных параметров как функции времени (интенсивности отказов, коэффициент готовности и т.п.);
- авторегрессионный метод.

Параметром управления в таких методах выступает ОР, который определяет возможную продолжительность эксплуатации объекта с заданного момента времени до достижения параметром (индикатором) технического состояния его предельного значения [37].

Предположим, что исследуемое оборудование безотказно проработало время t . Под *остаточной наработкой* понимают оставшуюся случайную наработку оборудования до отказа, под ОР – математическое ожидание (среднее значение) остаточной наработки [37]. Таким образом, остаточный ресурс является вероятностной характеристикой надежности оборудования АЭС. Необходимо отметить, что остаточный ресурс функционально связан с другими показателями надежности и оценивается в основном через них, и, следовательно, наилучшее оценивание остаточного ресурса возможно при условии качественного оценивания тех показателей, через которые он определяется.

Остаточный ресурс – это величина, характеризующая среднее оставшееся после некоторого момента времени τ время работы оборудования до отказа при условии, что до τ отказа не было [37, 53]:

$$T(\tau) = \frac{\int_{\tau}^{\infty} P(t) dt}{P(\tau)}. \quad (1.5)$$

Расчет ОР по формуле (1.5) применяется при анализе характеристик невосстанавливаемых элементов. Данный показатель надежности является функциональной характеристикой закона распределения случайной наработки до отказа и связан уравнениями с функцией распределения (ФР) или с плотностью распределения (ПР) наработки до отказа. Следовательно, оценивание ОР зависит, прежде всего, от того, насколько качественно проведено оценивание ФР и ПР. Последние, как правило, оцениваются в ситуации, когда приходится иметь дело со статистическими данными, из которых практически невозможно извлечь информацию о наработках до отказа.

Известны работы ученых Обнинского института атомной энергетики [37 – 39, 48, 52, 54 – 58], в которых разработан методический подход, позволяющий на основании неоднородной и ограниченной эксплуатационной информации оценивать ОР, а также методы, основанные на математической модели, учитывающей возможные «искажения» (такие, как учащение или разрежение) потоков отказов и восстановлений. Суть модели сводится к преобразованию неоднородного потока отказов в однородный обратный нормализующей функцией потока [38].

Для применения такого методического подхода необходимо обладать некоторым объемом статистической информации об объекте по дефектам и отказам, распределенной по годам и видам оборудования, и сравнением их количества по сравнению с предыдущим периодом, для чего можно использовать ежегодные отраслевые обобщенные отчеты по надежности оборудования энергоблоков АЭС [40].

В настоящее время для анализа показателей надежности, информационных и управляющих систем АЭС используются статистические методы, изложенные в методических требованиях [41 – 44], согласно которым выбирается непараметрический метод – в случае неизвестного закона распределения и параметрический метод – при известном законе распределения [2].

При этом в качестве характеристики, по которой проводится анализ тенденции изменения надежности во времени, используется параметр потока отказов $\omega(t)$. Анализ тренда параметра потока отказов проводится методом проверки статистических гипотез по статистическим данным, когда число отказов оборудования не менее 20.

Согласно [2, 47, 59 – 62], методы проверки статистических гипотез делятся на параметрические и непараметрические. Параметрические методы предполагают принятие априорных предположений относительно параметров распределения некоторой рассматриваемой случайной величины. Недостатками параметрических методов для анализа тренда потока отказов оборудования КВОИ являются:

- необходимость рассмотрения в качестве случайных величин наработки между отказами на интервалах разбиения периода наблюдения для сведения к модели непрерывного (нормального) распределения;
- двухсторонняя усеченность выборок наработок между отказами в интервалах разбиения;
- требование достаточно большого числа отказов для принятия нормальности распределения средней наработки между отказами в выборках.

Непараметрические методы не требуют никаких предположений о конкретном виде распределения. Эти методы направлены на исследование стационарности ряда наблюдений. Непараметрические критерии по сравнению с параметрическими имеют меньшую мощность. Однако этот недостаток компенсируется более простым построением выборочных статистик.

Необходимо отметить, что оборудование таких КВОИ, как АЭС, является, как правило, уникальным, дорогостоящим и высоконадежным, которое за весь период эксплуатации отказывает редко либо не отказывает вообще. Кроме того, при прогнозировании РХ необходимо учитывать наличие технического обслуживания и ремонтов, оптимальная схема которых позволяет свести к минимуму возможность возникновения отказов оборудования КВОИ.

Проблему организации наблюдений, накопления и обработки статистической исходной информации для проведения расчетов указанными методами усложняют такие факторы, как малая статистика данных об отказах, а также то, что в большинстве случаев исследователю не известны точные наработки до отказа элементов, а имеется лишь информация о количествах отказов на некотором интервале времени для совокупности изделий.

Известно, что для таких КВОИ, как АЭС, оборудование и трубопроводы являются мелкосерийными изделиями. Их разрушение при эксплуатации является редким событием, поэтому получить характеристики надежности из опыта эксплуатации в большинстве случаев невозможно [2, 46]. Провести стендовые испытания такого оборудования с адекватным моделированием эксплуатационных условий (как для электронных систем, состоящих из большого числа элементов, надежность которых известна) также невозможно. Поэтому для получения оценок РХ в таких условиях необходимо изучение процессов повреждения, старения, деградации, построение физических моделей, использование компьютерного моделирования и применение математического аппарата нечетких множеств, пре-

имущество которого, по сравнению с четкой логикой, доказано как теоретически, так и практически использованием его во многих ОКП [47, 63]. Таким образом, предопределяются актуальность и необходимость разработки новых экспертных методов оценки РХ для оборудования энергоблоков, основанных на нечетких математических моделях. Это позволит усовершенствовать существующие методические требования [41 – 44, 64], а следовательно, повысить качество оценивания и прогнозирования РХ оборудования КВОИ.

1.3. Методы оценивания ресурсных характеристик оборудования критически важных объектов инфраструктуры

На современном этапе развития КВОИ возникает необходимость в решении задач, направленных на повышение их безопасности, долговечности и эффективности функционирования, при которых используется развивающийся аппарат математической и статистической теории надежности. Разрабатываются математические модели, описывающие поведение оборудования КВОИ во времени, что дает возможность проводить анализ функционирования этого оборудования на разных временных интервалах. Одной из важных задач, стоящих перед эксплуатирующими организациями, является задача оценки показателей работоспособности и ОР на завершающем этапе функционирования КВОИ, а также прогнозирования его срока службы.

Применяемые традиционно параметрические методы анализа статистической информации в последнее время подвергаются критике специалистами по математической статистике. Дело в том, что использование параметрических методов требует предположений о виде закона распределения наблюдаемых случайных величин. Как правило, нельзя указать какие-либо веские причины, по которым конкретное распределение результатов наблюдений должно входить в то или иное параметрическое семейство. Анализ динамики изменений среднего прямого и обратного остаточного времени например определяющих элементов АКРБ показывает, как и при оценивании их интенсивности отказов, рассмотренного выше, что в условиях неполной и неопределенной исходной статистической информации имеют место недостаточная точность и несовершенство применяемого непараметрического подхода.

Одним из путей повышения качества принятых решений при оценивании и прогнозировании показателей надежности КВОИ является использование нечеткой логики [47].

Известно [63], что методика оценки, основанная на теории нечетких множеств, имеет следующие достоинства:

– нечеткие модели наиболее адекватны не только исследуемому объекту, но и специфическим особенностям экспертов;

– учитывается неопределенность без использования вероятностных распределений, что особенно подходит для случаев, когда вероятностные оценки не могут быть получены из-за непрезентабельности или неоднородности соответствующих выборок.

В то же время современное состояние нормативно-методической базы предъявляет требования к проведению не только точечного, но и интервального оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик КВОИ [47, 65]. При этом характерно, что обычно при прогнозировании проводится оценка ожидаемого значения исследуемой характеристики плюс оценка вариации ошибки прогнозирования или промежутка (называемого предсказуемым интервалом), на котором сохраняется вероятность содержания реальных будущих ее значений. В нашем случае (оценивание и прогнозирование ресурсных характеристик КВОИ) важно как предсказание конкретных значений прогнозируемой характеристики, так и предсказание значительных изменений в ее поведении. Фактически это и есть проблема управления ресурсом ОКП, когда необходимо предсказать момент перехода процесса в неуправляемое состояние.

Таким образом, целесообразно рассмотреть методы, позволяющие повысить качество оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик КВОИ.

В настоящее время для решения задач повышения качества анализа статистической информации развиваются непараметрические методы, в частности, методы ядерного оценивания [47, 54 – 56, 65]. Рассмотрим непараметрические оценки характеристик надежности КВОИ.

Ядерные оценки впервые были введены в работах Парзена [71] и Розенблатта [72], где принимается, что в результате наблюдения за объектом исследования получена выборка наработок до отказа $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$.

Ядерную оценку ПР определяют следующим образом:

$$f_n(t) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n G\left(\frac{t - \xi_i}{h}\right) = \frac{1}{nh\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^n \exp\left[-\left(\frac{t - \xi_i}{\sqrt{2}h}\right)^2\right], \quad (1.6)$$

где $G(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$ – гауссовское ядро;

n – объем выборки;

h – параметр локальности (ширина окна ядерной оценки, управляемый параметр).

В работах [47, 57, 58] получены формулы и проведены исследования ядерной оценки плотности распределения для различных схем формирования исходной информации (при наличии полных наработок до отказа

и различного рода цензурированной информации). Метод расчета оптимального значения параметра локальности описан в [47].

Обратим внимание на одну особенность решения задачи по определению характеристик надежности. Наблюдаемой случайной величиной в рассматриваемой задаче является время (наработка до отказа). Область определения данного параметра $[0; \infty)$. Следовательно, априори известно, что обрабатываемые случайные величины относятся к классу неотрицательных величин. Для положительно определенных случайных величин в качестве ядра предложено использовать гауссовское ядро, которое представляет собой гауссовскую плотность распределения нормированной случайной величины с математическим ожиданием, равным 0, и среднеквадратическим отклонением, равным σ – параметру локальности по ширине окна, с зеркальным отражением исходных данных [54]. Плотность распределения будет записана в виде

$$\hat{f}(t, \sigma) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n \left[G\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right) + G\left(\frac{t + \xi_i}{\sigma}\right) \right]. \quad (1.7)$$

Таким образом, изложена процедура получения плотности распределения наблюдаемой случайной величины наработки до отказа. Определив данную характеристику, можно переходить к оценке других показателей надежности. Отметим основные из них.

Вероятность безотказной работы (ВБР) – это вероятность того, что в пределах заданной наработки t отказ объекта не возникнет, то есть случайное время наработки до отказа ξ окажется не меньше t :

$$P(t) = P(\xi \geq t) = \bar{Q}(t), \quad t \geq 0. \quad (1.8)$$

Если известна ПР наработки до отказа, можно рассчитать ФР, численно проинтегрировав плотность:

$$\begin{aligned} \hat{F}(t, \sigma) &= \int_0^t f(u, \sigma) du = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t G\left(\frac{u - \xi_i}{\sigma}\right) du + \int_0^t G\left(\frac{u + \xi_i}{\sigma}\right) du \right] = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\Phi\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{t + \xi_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\xi_i}{\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{\xi_i}{\sigma}\right) \right] = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\Phi\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{t + \xi_i}{\sigma}\right) \right] - 1 \end{aligned} \quad (1.9)$$

где $\Phi(u)$ – интеграл ошибок.

Далее ВБР рассчитывается как

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (1.10)$$

Интенсивность отказов (ИО) – это отношение условной вероятности того, что случайная наработка до отказа будет принимать значения из полуинтервала $[t; t + \Delta t)$ бесконечно малой длины Δt при условии, что от отказа до момента времени t не было, к длине этого полуинтервала Δt . Другими словами, ИО – это отношение ПР наработки до отказа к ВБР:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq \xi < t + \Delta t / t \leq \xi)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{1 - Q(t)} = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (1.11)$$

Интенсивность отказов часто называют λ -характеристикой, она показывает, какая часть КВОИ выходит из строя в единицу времени по отношению к среднему числу исправно работающих КВОИ.

Среднее прямое и обратное остаточное время рассмотрены выше (1.1, 1.2).

Для практики более важной характеристикой является прямое остаточное время, так как оно показывает среднюю наработку изделия от некоторого текущего момента времени t до очередного отказа.

Отметим, что практика современных исследований предъявляет требование наряду с точечным оцениванием характеристик надежности КВОИ проводить и интервальное оценивание. Рассмотрим основные результаты интервального оценивания приведенных ранее характеристик.

Доверительные границы для ПР

Рассмотрим вначале построение доверительных границ для ядерной оценки плотности распределения, полученной по данным, содержащим только полные наработки. Пусть у нас есть выборка $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, представляющая собой результаты наблюдений за некоторым случайным параметром. Запишем выражение для ядерной оценки плотности распределения этого параметра:

$$f_{\xi}(t) = \frac{1}{n\sigma} \sum_{i=1}^n G\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right). \quad (1.12)$$

Обозначим случайные величины η_i :

$$\eta_i = \frac{1}{\sigma} G\left(\frac{t - \xi_i}{\sigma}\right), \quad (1.13)$$

которые являются независимыми и одинаково распределенными. Тогда, согласно центральной предельной теореме [47, 65], при больших n получим

$$f_{\xi}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i \overset{as}{\sim} N\left(M_{\eta}, \sqrt{\frac{D_{\eta}}{n}}\right), \quad (1.14)$$

где M_η, D_η – математическое ожидание и дисперсия случайной величины η .

При небольших значениях числа n для построения доверительных границ можно воспользоваться распределением Стьюдента с n степенями свободы:

$$\frac{M_\eta(t) - f_\xi(t)}{\sqrt{\frac{D_\eta(t)}{n}}} \sim t_n. \quad (1.15)$$

Тогда верхнюю $f_B(t)$ и нижнюю $f_H(t)$ доверительные границы для плотности распределения можно рассчитать по формулам

$$\begin{aligned} f_H(t) &= f_\xi(t) - t_{n,\alpha/2} \sqrt{\frac{D_\eta(t)}{n}} \\ f_B(t) &= f_\xi(t) + t_{n,\alpha/2} \sqrt{\frac{D_\eta(t)}{n}} \end{aligned} \quad (1.16)$$

Значения математического ожидания и дисперсии случайной величины η рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} M_\eta(t) &= \frac{1}{\sigma} \int_{\Omega} G\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) f_\xi(\tau) d\tau \\ D_\eta(t) &= \frac{1}{\sigma^2} \int_{\Omega} G^2\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) f_\xi(\tau) d\tau - M_\eta^2(t) \end{aligned} \quad (1.17)$$

Доверительные интервалы для вероятности безотказной работы

Используя формулу (1.31), можно рассчитать доверительные интервалы для ВБР. Тогда доверительные границы для оценки ВБР можно записать в следующем виде:

$$1 - \int_0^t f_B(t) dt \leq P(t) \leq 1 - \int_0^t f_H(t) dt. \quad (1.18)$$

Доверительные границы для интенсивности отказов

Рассмотрим построение доверительных границ для ядерной оценки интенсивности отказа. Оценка интенсивности отказа рассчитывают в виде

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\hat{f}_{\xi,n}(t)}{1 - \hat{F}_{\xi,n}(t)}, \quad (1.19)$$

где $\hat{F}_{\xi,n}(t)$ и $\hat{f}_{\xi,n}(t)$ – ядерные оценки функции и плотности распределения соответственно.

Как уже было показано, для оценки плотности распределения, построенной по полным наработкам, справедливо выражение (1.14).

С другой стороны, последовательность случайных величин $1 - \widehat{F}_{\xi,n}(t) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 1 - F_{ист.}(t)$, где $F_{ист.}(t)$ – истинное значение оцениваемой функции распределения случайной величины ξ . Согласно [72], получим

$$\frac{\widehat{f}_{\xi,n}(t)}{1 - \widehat{F}_{\xi,n}(t)} \sim N \left(\frac{M_{\eta}(t)}{1 - F(t)}, \sqrt{\frac{D_{\eta}(t)}{n} \frac{1}{1 - F(t)}} \right) \quad (1.20)$$

при $n \rightarrow \infty$.

И для небольших n доверительные границы интенсивности отказов – верхняя $\lambda_B(t)$ и нижняя $\lambda_H(t)$ – будут определяться по формулам:

$$\begin{aligned} \lambda_H(t) &= \lambda(t) - t_{n,\alpha/2} \sqrt{\frac{D_{\eta}(t)}{n} \frac{1}{1 - F(t)}} \\ \lambda_B(t) &= \lambda(t) + t_{n,\alpha/2} \sqrt{\frac{D_{\eta}(t)}{n} \frac{1}{1 - F(t)}} \end{aligned} \quad (1.21)$$

Определение доверительных интервалов для среднего прямого и обратного остаточного времени рассмотрено в [235].

Тогда, используя информацию о функционировании большой группы оборудования КВОИ, важных для безопасности АЭС, можно привести результаты расчета показателей надежности для одного из устройств (УНО-100М-01 – устройство системы автоматического контроля радиационной безопасности). В процессе эксплуатации 41 однотипного устройства УНО-100М-01 зафиксировано 879 отказов за 14 лет наблюдений. На основании данной информации определены наработки устройств между отказами и проведена обработка данных по изложенной методике. Результаты обработки представлены на рис. 1.4 – 1.7 [53].

Следует отметить, что для всех показателей надежности проведены расчеты не только точечных оценок, но и представлены интервальные оценки с уровнем доверительной вероятности, равной 0,90.

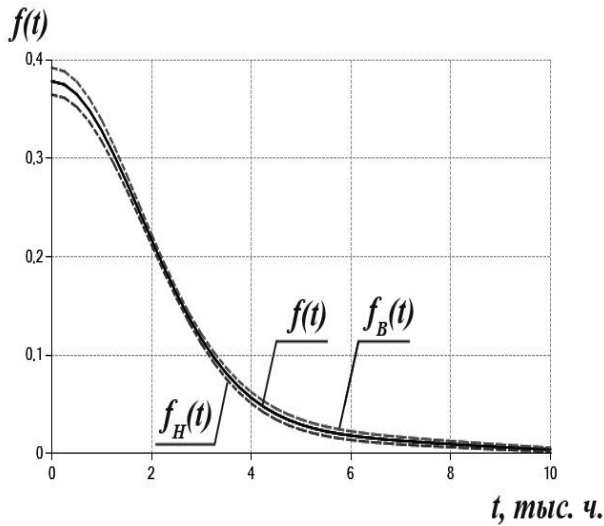


Рис. 1.4. Плотность распределения наработки между отказами

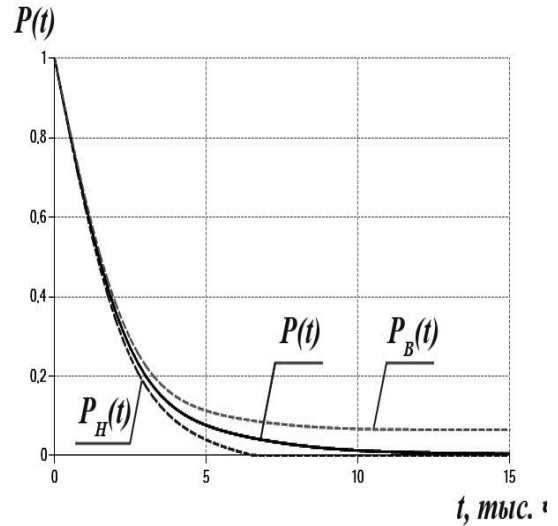


Рис. 1.5. Вероятность безотказной работы

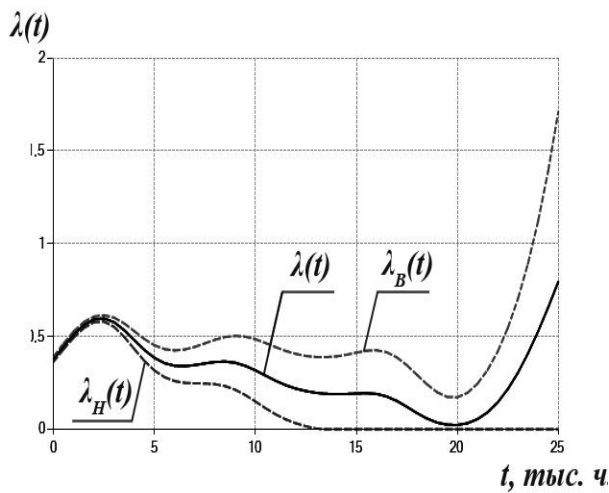


Рис. 1.6. Интенсивность отказов

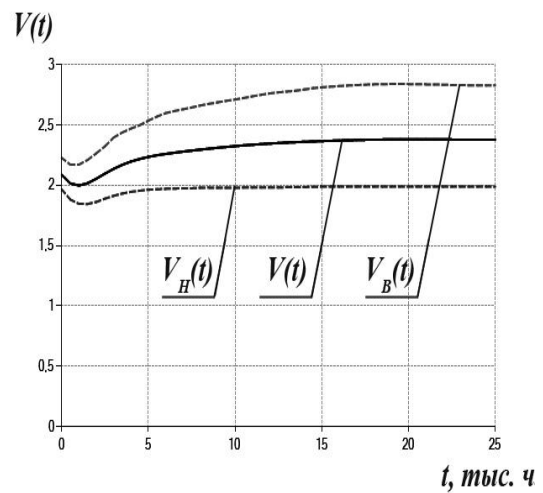


Рис. 1.7. Среднее прямое остаточное время

Проведем анализ результатов. Особый интерес представляет "спектральный анализ" интенсивности отказов (рис. 1.6). Помимо статистического шума каждый всплеск функции интенсивности отказа может быть обусловлен объективными причинами отказов. В рассматриваемом случае функция интенсивности отказа по оси наработок имеет три локальных максимума и всплеск интенсивности на границе области определения функции интенсивности. Первый локальный максимум наблюдается при наработках в 2,5...3 тыс. часов, второй при 9...10 тыс. часов, третий при 15...17 тыс. часов, и всплеск приходится на конец интервала построения показателей надежности (наработки свыше 25 тыс. часов). После получения данных результатов возникла необходимость заново проанализировать таблицы отказов. В процессе данного анализа выяснилось, что на указан-

ных временных интервалах наблюдается относительное увеличение количества отказов. Причем на каждом из интервалов удалось установить доминирующую причину отказов.

Технологический анализ причин отказов в зоне локальных максимумов показывает, что первый из них связан с недостатками в технологии выполнения ремонтных операций, включая профилактические работы. Действительно, если вернуться к данным об отказах, то можно заметить, что 60 % отказов в период, соответствующий первому всплеску интенсивности, были обусловлены недостатками технического обслуживания и ремонта. Второй и третий локальные максимумы (см. рис. 1.6) связан с отказами отдельных составных частей рассматриваемых устройств, обусловленных несовершенством их конструкции. 65 % отказов в период, соответствующий второму и третьему всплеску интенсивности, произошли именно по этой причине. Всплеск функции интенсивности отказов на границе области определения можно объяснить ошибками расчета ввиду малого объема данных об отказах в соответствующий промежуток времени.

Важно отметить, что непараметрические методы позволяют провести дополнительный углубленный технологический анализ надежности, в частности, спектральный анализ интенсивности отказов, что несвойственно параметрическим методам.

Таким образом, повышение качества оценивания ресурсных характеристик КВОИ дает определенный эффект, который можно усилить применением усовершенствованных методик оптимистического и пессимистического подхода к прогнозированию, определения допустимых областей РХ, а следовательно, их нормирования. К сожалению, вопросы обеспечения качества оценивания и прогнозирования РХ мало рассматриваются в существующей методологической и нормативной базе, что предопределяет необходимость стандартизации РХ и показателей ресурсоспособности КВОИ для обеспечения и повышения качества их оценивания и прогнозирования.

В ы в о д ы

1. Проведена математическая формализация задачи принятия решений о продлении срока эксплуатации оборудования КВОИ с использованием положений теории выбора и принятия решений.

2. Проведенное системное исследование процессов оценивания ресурсных характеристик оборудования КВОИ выявило необходимость разработки моделей на основе математического аппарата нечетких множеств и новых экспертных методов оценки, что может позволить повысить качество научно-технических обоснований по переназначению ресурса уникального высоконадежного оборудования ОКП, когда вероятностные

оценки не могут быть получены из-за нерепрезентативности соответствующих выборок.

3. Анализ современного состояния методологической и нормативно-методической базы по сбору и обработке статистической информации о ресурсных характеристиках КВОИ показывает необходимость усовершенствования процессов ресурсометрии и стандартизации показателей ресурсоспособности КВОИ.

4. Существующие параметрические и непараметрические методы оценивания высоконадежного оборудования КВОИ при неопределенности исходных данных об отказах характеризуются:

– существенным разбросом значений интенсивности отказов, который может иметь фактическую величину, в 3 – 15 раз превышающую ее среднее значение;

– значительным разбросом фактических значений среднего прямого и среднего обратного остаточных времен, которые могут в 2–3 раза отличаться от оценок при построении доверительных интервалов.

5. Проведенные авторами экспериментальные исследования интервальных оценок характеристик долговечности на примере реальных эксплуатационных данных высоконадежного оборудования энергоблоков АЭС подтверждают, что в условиях неполной исходной информации имеют место недостаточность и несовершенство непараметрических методов, что и предопределяет целесообразность применения комплексного подхода с использованием теории нечетких множеств и экспертного оценивания.

Глава 2

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ

2.1 Ресурсоспособность оборудования

В существующей как отечественной, так и зарубежной технической литературе термин «ресурсоспособность» встречается редко, а его показатели недостаточно рассмотрены и исследованы. Можно отметить его применение в атомной энергетике [1, 46], а также в отдельной нормативной документации [49]. Для дальнейшего рассмотрения вопросов определения показателей РС полагаем, что ресурсоспособность – комплекс технических характеристик, определяющих возможность, прежде всего, их использования по назначению, включая техническое обслуживание и ремонт, при котором реализуется, поддерживается и восстанавливается качество оборудования КВОИ. Целесообразно отметить, что РС является характеристикой только оборудования, в то время как ресурс оборудования зависит от его РС и условий эксплуатации [1]. Поэтому можно считать, что оценивание и прогнозирование комплекса технических характеристик, характеризующих и определяющих ресурсоспособность КВОИ, является основополагающей проблемой, прежде всего, на этапе проектирования КВОИ. При этом проблема ресурса в атомной энергетике, в частности, и для оборудования ОКП, в общем, является наиболее актуальной, что связано со следующими обстоятельствами [45, 46]:

- часть энергоблоков атомных электростанций выработали свой назначенный срок службы;
- обоснование РС осуществлялось 40 – 50 лет по руководящим, техническим материалам того времени, которые на сегодня либо устарели, либо нуждаются в переосмыслении с учетом как опыта эксплуатации, так и новых научных достижений;
- опыт эксплуатации КВОИ показывает, что назначенные показатели долговечности для многих видов объектов недостаточно обоснованы и, как следствие, ведут к неэффективному использованию материальных средств, затраченных на разработку, производство и эксплуатацию таких объектов.

В связи с указанным проблема исследования реальных характеристик ресурсоспособности КВОИ, необходимости уточнения терминов при определении остаточной долговечности ОКП является актуальной для анализа событий, развивающихся во времени, которые типичны для обеспечения

долговечности КВОИ. Следует отметить, что малоисследованность ресурсоспособности КВОИ предопределяет рассмотрение ряда особенностей, к которым можно отнести следующие [45, 47, 51].

1. Оборудование КВОИ, как правило, является уникальным и высоконадежным. Статистических данных об отказах такого оборудования для получения оценок характеристик надежности и долговечности с высокой степенью достоверности недостаточно [47, 73], так как приходится проводить анализ в условиях малых выборок, представляющих собой совокупность группированных и цензурированных данных. Поэтому эксплуатационная информация о надежности, как текущая, так и априорная, представляет собой неоднородный поток событий, имеющих недостаточную точность по объективным и субъективным причинам. Поэтому в условиях ограниченной информации необходим анализ степени однородности статистических данных для различных вопросов при исследовании ресурсоспособности КВОИ [51]:

- сравнение характеристик РС оборудования КВОИ, эксплуатирующегося в различных условиях;
- оценивание влияния на РС различных внутренних и внешних факторов;
- объединение статистической информации, полученной от различных источников, для повышения точности и достоверности оценок характеристик РС.

Существующие условия недостаточности и неопределенности исходной информации о надежности и долговечности оборудования ОКП обосновывают необходимость применения как параметрических и непараметрических критериев, так и комплексного подхода при использовании теории нечетких множеств и экспертных методов принятия решений [68].

2. Современная технология ресурсного проектирования (ТРП) оборудования КВОИ [1] содержит этапы, которые строятся, исходя из темпов технического прогресса в той или иной отрасли, темпов морального старения, из экономических, политических, экологических и других соображений, не связанных с технологией обоснования ресурса. Поэтому имеет место потребность уточнять, корректировать, развивать и совершенствовать различные научно-технические задачи, которые, в частности, можно сформулировать следующим образом.

Во-первых, научно-техническое обоснование таких этапов ТРП, как:

- определение условий эксплуатации проектируемого оборудования КВОИ;
- определение назначенного срока службы;
- определение РХ проектируемого оборудования КВОИ;
- окончательное обоснование назначенного ресурса эксплуатации за период, определенный назначенным сроком службы, в связи с отсутствием определения РС,

можно считать недостаточно корректным. Такая оценка, включая применение понятия гарантоспособность, достаточно близкого к РС, предлагается при исследовании оборудования ОКП, важных для их безопасности [78]. Поэтому необходимо совершенствование терминологии в области оценивания РС оборудования КВОИ.

Во-вторых, различным этапам жизненного цикла оборудования КВОИ характерны соответствующие составляющие проблемы ресурса, к которым можно отнести:

- научное обоснование ресурса и РХ на этапах проектирования и изготовления;
- технологию контроля и управления ресурсом во время эксплуатации;
- научное обоснование уточненной оценки РХ и технологии управления ресурсом при эксплуатации;
- вероятностный анализ взаимозависимости ресурса и безопасности;
- оптимизацию технологий контроля и управления ресурсом.

Поэтому целесообразно комплексное системное исследование проблемы менеджмента ресурса, охватывающей оценивание влияния определяющих факторов в процессе жизненного цикла оборудования КВОИ, в целях повышения качества оценивания и прогнозирования его показателей РС.

В-третьих, опыт применения баз данных, используемых в программах оценивания ресурса оборудования КВОИ, показывает [1, 45, 79], что:

- отсутствует достаточная информация, которую можно подвергнуть статистической обработке;
- имеет место низкое качество доступной информации;
- отсутствует единая система сбора, организации наблюдения, накопления и обработки статистической информации о РС оборудования;
- не учитываются условия развития предотказных состояний;
- используется устаревшая нормативно-методическая база для оценивания и контроля показателей надежности и долговечности оборудования КВОИ.

Поэтому необходимы уточнение и конкретизация характеристик РС, что позволяет осуществлять их качественное и количественное оценивание, включая нормирование тех характеристик и показателей РС, которые определяют предельное состояние оборудования КВОИ.

Таким образом, повышая корректность при системном исследовании РС, обеспечивая комплексный подход при экспертном оценивании и менеджменте ресурса, предусматривая нормирование характеристик и показателей РС оборудования КВОИ, можно получить результаты их более качественного оценивания и прогнозирования, способствующие повышению эффективности технологии ресурсного проектирования.

3. Для оборудования КВОИ оценивание рисков является актуальным вопросом обеспечения его долговечности и безопасности [1, 45]. При этом предполагается определить, как и за счет каких ресурсов с приемлемыми рисками можно обеспечить требуемую РС оборудования. На этой основе можно прогнозировать допустимые изменения предельных состояний оборудования КВОИ, а следовательно, оценивать и нормировать значения соответствующих определяющих характеристик и показателей РС.

Таким образом, рассмотренные особенности показывают актуальность задачи стандартизации и системного исследования показателей ресурсоспособности КВОИ, включающей систематизацию свойств, унификацию состояний и нормирование характеристик РС, определяющих предельное состояние оборудования.

2.2. Исследование показателей ресурсоспособности

Для исследования характеристик ресурсоспособности оборудования КВОИ представим поведение функции интенсивности отказов оборудования КВОИ, как показано на рис. 2.1, полный эксплуатационный период которой разбит на четыре зоны [65, 66]:

I – зона «приработки» и опытной эксплуатации;

II – зона «нормальной» эксплуатации в соответствии с требованиями нормативной и проектной документации;

III – зона «физического старения», характеризующаяся ростом интенсивности отказов, проявлением накопления различных дефектов ввиду старения элементов КВОИ;

IV – зона «прекращения» эксплуатации оборудования КВОИ в «прежнем виде».

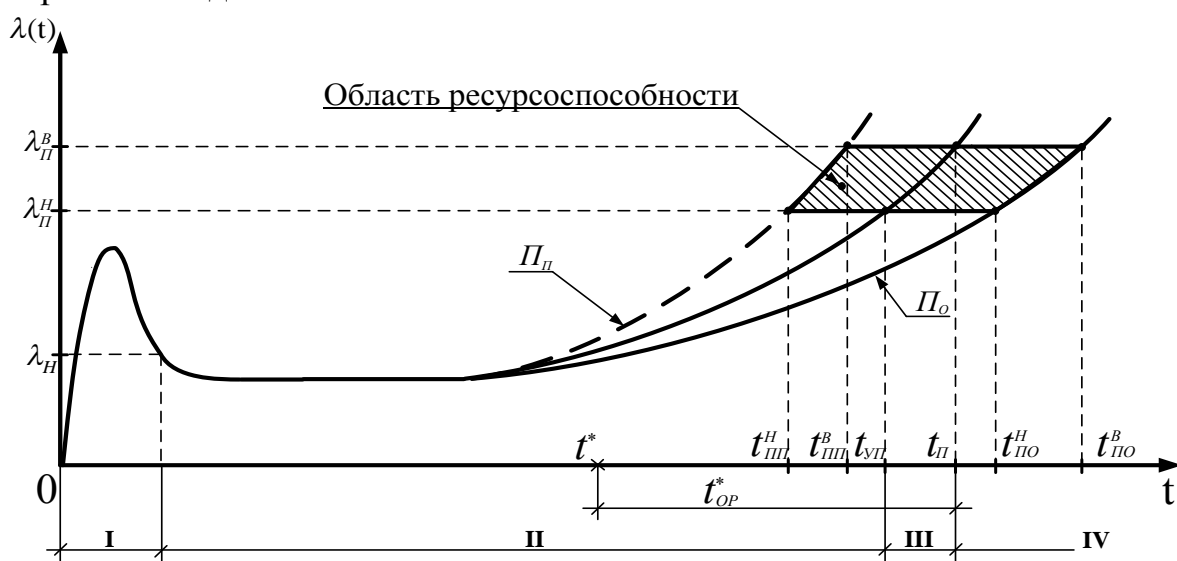


Рис. 2.1. Теоретическое изменение $\lambda(t)$ и определение области РС

На рис. 2.1 по оси $\lambda(t)$ отмечен начальный уровень надежности λ_H , характерный для совокупности оборудования КВОИ, прошедших переход «приработки», который, как правило [65, 66], соответствует надежности КВОИ, обеспечивающих их назначенный ресурс. Показаны также предельный уровень надежности, для которого целесообразно указать его верхнее и нижнее значение λ_{II}^B и λ_{II}^H . При этом уровень λ_{II}^H характеризует наработку КВОИ, выработав которую, он начинает интенсивно стареть, то есть в нем начинают интенсивно развиваться необратимые процессы накопления повреждений (уровень λ_{II}^H можно считать контрольным уровнем надежности КВОИ). Предельный уровень λ_{II}^B характеризует наработку КВОИ, за пределами которой его эксплуатация нецелесообразна. Также на оси t (см. рис. 2.1) указана предельная наработка оборудования t_{II} , при достижении которой его необходимо выводить из эксплуатации, и упреждающая наработка t_{VII} , при достижении которой начинается интенсивное старение. Одновременно, указывая время t_{II} , можно показать время ОР t_{OP}^* относительно любого момента времени t^* в процессе эксплуатации компонента КВОИ.

Интерпретация процессов оценивания характеристик ресурсоспособности оборудования показана на рис. 2.2, где, с учетом рис. 2.1, обозначены [66]:

B – возраст или обратное остаточное время КВОИ;

H – наработка остаточного ресурса или прямое остаточное время КВОИ.

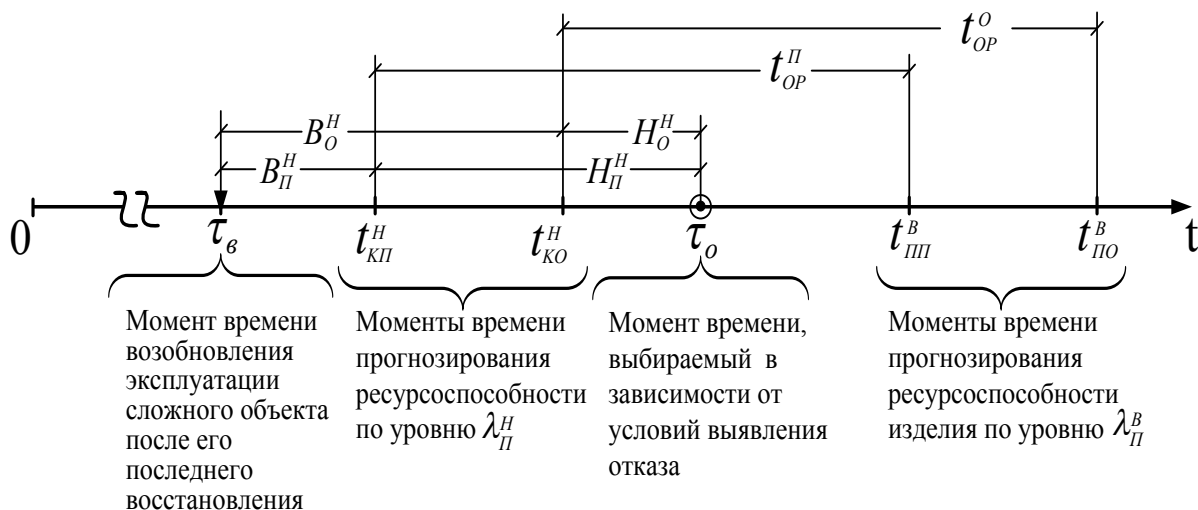


Рис. 2.2. Иллюстрация процессов оценивания характеристик ресурсоспособности

Поскольку в процессе эксплуатации КВОИ решается задача прогнозирования поведения интенсивности отказов как статистическая задача, основанная на обработке эксплуатационной информации, следовательно, прогноз имеет некоторый разброс, обусловленный точностью статистиче-

ских расчетов. Поэтому на рис. 2.1 кривые P_n и P_o характеризуют пессимистический и оптимистический прогнозы поведения $\lambda(t)$ соответственно.

С учетом введенного понятия ресурсоспособности КВОИ общая задача ее прогнозирования сводится к ресурсным задачам, которые классифицируются по знаку времени следующим образом [1]:

- прямые ресурсные задачи, которые позволяют прогнозировать РХ;
- обратные ресурсные задачи, в которых время направлено в прошлое, а целью их решения является воссоздание процесса исчерпания ресурса оборудования КВОИ.

Следовательно, при решении этих задач целесообразно рассмотрение принципов и свойств энтропийно-временных моделей расходования ресурса КВОИ.

Из математической теории надежности известно [1], что

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln P(t), \quad (2.1)$$

где правая часть уравнения (2.1) называется функцией ресурса КВОИ и является мерой необратимости процессов, ведущих к расходу запаса надежности и деградации КВОИ, а $P(t)$ – вероятность безотказной работы, при этом интенсивность отказов есть мера скорости изменения его энтропии.

Тогда можно применить энтропийный критерий деградации, для чего используется следующее выражение [80]:

$$\frac{dS}{dt} = C \sum_{i=1}^n \frac{\partial q_i}{\partial(\Delta x_i)} \frac{d(\Delta x_i)}{dt}, \quad (2.2)$$

- где
- C – положительная константа, связанная с выбором единиц измерения;
 - S – энтропия состояния оборудования КВОИ, эквивалентная его ресурсу, выработанному за время t ;
 - n – число параметров, характеризующих действующие нагрузки;
 - Δx_i – разность между критическими (экстремальными) и действующими (средними) значениями нагрузок;
 - q_i – вероятность отказа, вызванного изменением параметра конкретной нагрузки Δx_i ;
 - $\frac{\partial q_i}{\partial(\Delta x_i)}$ – скорость изменения вероятности отказа, вызванного изменением Δx_i , зависящих от качества материала, конструкции и технологии изготовления;

$\frac{d(\Delta x_i)}{dt}$ – скорость изменения величины запаса по нагрузке, зависит от конструкции, физических и физико-химических свойств материала.

Теоретически применение энтропийного критерия деградации при исследовании предельных (экстремальных) значений ресурсных характеристик компонентов КВОИ позволяет построить кривые P_{II} и P_{IO} , что дает возможность определить область РС, обозначенную на рис. 2.1.

При построении области РС можно использовать подход [81] для определения допусковых областей работоспособности компонентов КВОИ при контроле их качества и надежности, который заключается в следующем:

- определяются допустимые изменения основных (определяющих) контролируемых параметров оборудования КВОИ и влияние динамики их изменения на вероятность его РС;

- выбираются критические характеристики возмущающих воздействий при эксплуатации и проведении испытаний в режимах динамического контроля, провоцирующих выявление параметрических отказов и предотказных состояний;

- статистическая обработка результатов динамического контроля и оценивания запасов работоспособности оборудования КВОИ для формирования процесса контроля работоспособности, обеспечивающего высокое качество проверки соответствия техническим требованиям.

Динамику временных характеристик $\lambda(t)$ при прогнозировании ресурсоспособности оборудования КВОИ, используя материалы работы [82], можно интерпретировать с помощью рис. 2.3, где заданы следующие характеристики:

t_H – назначенный ресурс;

P_γ – заданная вероятность обеспечения γ -процентного ресурса t_γ ;

$f(t)$ – плотность вероятности случайной величины наработки КВОИ;

λ_H^H и λ_H^B – нижнее и верхнее значения интенсивности отказов при заданном t_H ;

λ_γ^H и λ_γ^B – нижнее и верхнее значения интенсивности отказов при заданном t_γ ;

t_r – технический ресурс;

$T_{\gamma II}^H$ и T_{III}^H – нижние прогнозируемые значения времени, соответствующие λ_γ^H и λ_{II}^H при пессимистическом поведении $\lambda(t)$;

$T_{\gamma O}^B$ и T_{IO}^B – верхние прогнозируемые значения времени, λ_γ^B и λ_{II}^B при оптимистическом поведении $\lambda(t)$.

Ресурсоспособность КВОИ методологически должна закладываться при проектировании, обеспечиваться на этапе изготовления и поддерживаться при его эксплуатации.

К сожалению, существующая практика проектно-конструкторских работ не в полной мере обеспечивает необходимый уровень РС [83], так как:

- срок эксплуатации КВОИ не связан с технологией обоснования его ресурса;

- недостаточно учитывается необходимость определения предельных значений количественных характеристик ресурсоспособности КВОИ, что объясняется отсутствием общепринятой единой методологии и научного обоснования технологии ресурсного проектирования, а также трудностями изучения физических процессов, предшествующих возникновению отказов (которые являются редкими событиями) уникального, высоконадежного оборудования КВОИ [79].

Анализ технической литературы [1, 45, 65] и нормативно-технической документации [40, 41, 43] показывает, что недостаточно полно рассмотрены вопросы количественной оценки допустимых изменений интенсивности отказов, соответствующих назначенному и γ -процентному ресурсу (см. рис. 2.3) и их влияния на изменение времени предельного состояния оборудования.

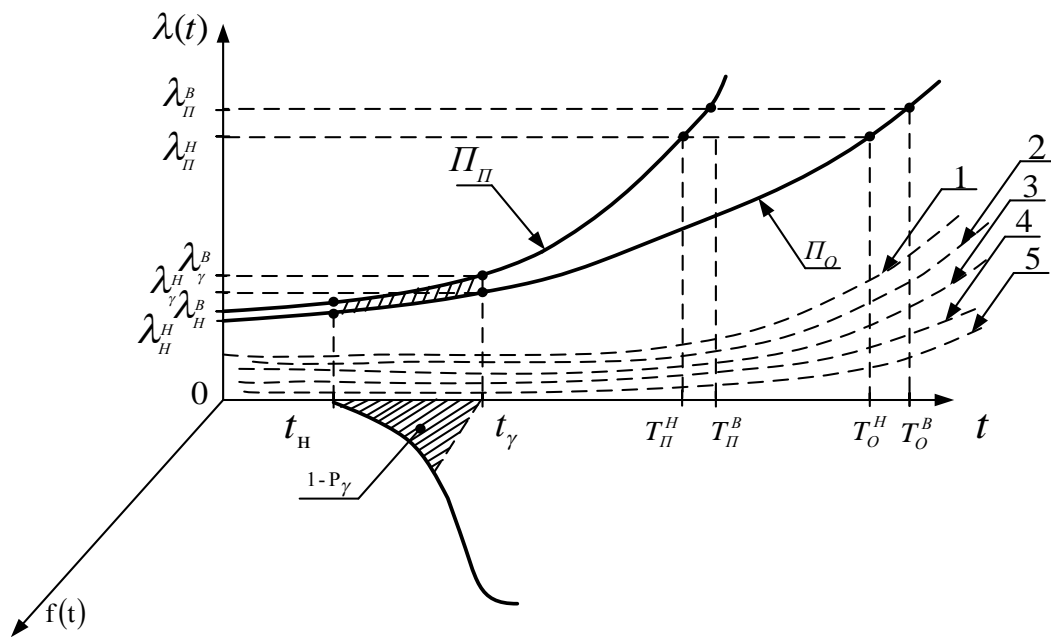


Рис. 2.3. Динамика временных характеристик $\lambda(t)$ при прогнозировании ресурсоспособности СО

Рассматривая вопросы оценивания ресурсоспособности КВОИ, необходимо учитывать наличие старения как неизбежного природного феномена. Известно [35], что этот термин наиболее часто употребляется в качестве синонима термина деградация вследствие старения. При этом используется термин нефизическое старение как процесс устаревания вследствие

эволюции знаний и технологий, или технологическое устаревание, а также термин физическое старение вследствие физических, химических и/или биологических процессов (механизмов старения) или старение материала. Можно показать [84], что процесс исследования проблем РС должен включать:

- анализ тренда рассматриваемых характеристик компонент КВОИ;
- анализ изменения параметров, характеризующих наибольшую степень деградации;
- оценивание предельных значений рассматриваемых параметров;
- проведение изыскательных работ в стендовых условиях, которые являются наиболее активными и глубокими (например, на АЭС могут проводиться только пассивные испытания, в которых стрессоры изменить нельзя [84]).

Таким образом, используя обозначения, принятые на рис. 2.1 – 2.3, а также известные показатели долговечности [85] для рассмотрения РС, можно предложить следующие показатели:

1. $\lambda_H^H \dots \lambda_H^B$ – диапазон допустимых изменений интенсивности отказов $\lambda(t)$, соответствующий назначенному ресурсу t_H , одному из важных понятий долговечности оборудования КВОИ [45]. Назначенный ресурс должен иметь научно-техническое обоснование, подтвержденное различными испытаниями, результаты которых должны фиксироваться и устанавливаться в технической документации. Так как КВОИ состоит из разнородных элементов, то функция $\lambda(t)$ имеет нечеткий характер с не резко выраженными участками, а диапазон $\lambda_H^H \dots \lambda_H^B$ определяется для совокупности конкретных компонент КВОИ.

2. $\lambda_\gamma^H \dots \lambda_\gamma^B$ – диапазон допустимых изменений интенсивности отказов $\lambda(t)$, соответствующий γ -процентному ресурсу, одному из важных понятий при прогнозировании ресурса на стадии проектирования КВОИ [1], в течение которого он не достигает своего предельного состояния с заданной вероятностью γ . γ -процентный ресурс должен иметь научно-техническое обоснование, учитывающее пессимистический и оптимистический характер поведения $\lambda(t)$, основанный на статистических данных, полученных в результате эксплуатации аналогичных компонент КВОИ.

3. $\lambda_H^H \dots \lambda_H^B$ – диапазон допустимых изменений интенсивности отказов $\lambda(t)$, соответствующий предельному состоянию оборудования КВОИ, который устанавливается разработчиком (совместно с эксплуатирующей организацией в ядерной энергетике) с помощью контрольного и предельного уровней интенсивности отказов, на основе расчетов по вероятностному анализу безопасности для энергоблоков АЭС. При этом контрольный уровень λ_H^H характеризует наработку оборудования, выработку которую, оно начинает интенсивно стареть, а предельный уровень λ_H^B характеризует наработку, за пределами которой эксплуатация компонента КВОИ нецелесообразна.

4. $t_{\gamma\Pi}^B$ и $t_{\gamma O}^B$ – диапазон допустимых значений γ -процентного ресурса, соответствующий интенсивности отказов λ_{γ}^H при пессимистическом прогнозе и интенсивности отказов λ_{γ}^B при оптимистическом прогнозе, который должен иметь научно-техническое обоснование на стадии проектирования КВОИ.

5. t_{OP}^* – остаточный ресурс КВОИ, научно обоснованная методика определения и прогнозирования которого разрабатывается на стадии проектирования КВОИ и подтверждается различными испытаниями, результаты которых должны указываться в технической документации.

$t_{III}^H \dots t_{II O}^B$ – диапазон допустимых значений предельной наработки, соответствующий интенсивности отказов λ_{II}^H при пессимистическом прогнозе и интенсивности отказов при оптимистическом прогнозе, который должен иметь научно-техническое обоснование на стадии проектирования КВОИ.

В результате предложены показатели ресурсоспособности КВОИ, использование которых целесообразно, начиная со стадии их проектирования. Учитывая показанные выше особенности применения РС и малоисследованность этой комплексной характеристики КВОИ, целесообразно рассмотреть вопросы определения структуры и взаимосвязи свойств РС, исследования технических состояний и унификации динамики их состояний, оценивания, прогнозирования и нормирования времени предельного состояния КВОИ.

2.3. Систематизация свойств ресурсоспособности

Результаты эксплуатации оборудования ОКП, а также материалы международных научно-технических конференций, показывают [86 – 95], что назначенные показатели долговечности для многих видов КВОИ весьма занижены, что приводит к преждевременному прекращению применения КВОИ по назначению и, как следствие, к неэффективному использованию материальных средств, затраченных на разработку, производство и эксплуатацию таких объектов. В связи с этим задача исследования реальных свойств РС и в том числе остаточной долговечности оборудования ОКП является актуальной в научном плане для анализа событий, развивающихся во времени, которые типичны для обеспечения надежности технических средств, медико-биологических исследований в клинической практике и др. [96].

В целях выявления и сокращения недостатков в сфере оценивания свойств РС оборудования ОКП предлагается исследование взаимодействия определяющих РХ [87]. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих вопросов:

– формализация задачи определения структуры и взаимосвязи свойств РС оборудования ОКП;

- исследование схемы значений допустимых изменений определяющих РХ в зависимости от коренных причин отказов оборудования ОКП;
- определение степени взаимодействия РХ и упорядочения их влияния на РС оборудования ОКП.

Для определения структуры и взаимосвязи свойств РС объектов ОКП целесообразна математическая формализация этой задачи на основе следующих обозначений:

q_i – любой i -й ОКП ($i = \overline{1, n}$);

$Q = \{q_i\}$ – множество ОКП;

Sq_i – множество свойств i -го ОКП, образующих пространство S .

$SQ = \{Sq_i\}$ – множество свойств i -х объектов ОКП, причем любому ОКП ставится в соответствие множество свойств Sq_i , то есть обеспечивается условие эквивалентности

$$q_i \Leftrightarrow Sq_i, \quad (2.3)$$

где Sq_{ij} – числовая характеристика свойств $q_i \in Q$.

Свойства могут быть разбиты на классы $S_1, \dots, S_i, \dots, S_j, \dots, S_p, \dots, S_k$, для которых выполняется одно из следующих условий:

$$S_j \subset S_p, S_p \subset S_j, S_p \cap S_j = \emptyset; \quad (2.4)$$

$$j \in i; j \neq p; p \in i.$$

При рассмотрении свойств ОКП целесообразно выделить первичные, вторичные и другие группы свойств S' , S'' и S''' соответственно.

В метрическом пространстве S целесообразно ввести расстояние ρ_S , которое может интерпретироваться как мера сходства или различия природы свойств, определяемых конкретными значениями характеристик d . То есть для i -го ОКП должно выполняться условие

$$\rho_S \Rightarrow \rho_d(d_k^i, d_l^i), \quad (2.5)$$

где $d_k^i, d_l^i \in D^i = \{d_1^i, d_2^i, \dots, d_n^i\}$, а n – число конкретных характеристик первичных свойств.

Тогда с учетом выражений (2.3) – (2.5) характеристики свойств исследуемых ОКП должны удовлетворять следующим условиям [87]:

$$\begin{aligned} 1. \rho_S(S_i, S_j) &< \rho_S(S_i, S_k) \\ 2. \rho_S(S_i, S_j) &= \rho_S(S_j, S_i) \\ 3. \rho_S(S_i, S_j) &= 0 \Leftrightarrow S_i \equiv S_j \\ 4. \rho_S(S_j, S_i) + \rho_S(S_j, S_k) &\geq \rho_S(S_i, S_k) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Использование предложенного формализованного подхода предполагает применение ключевых понятий и основных принципов при исследовании свойств РС оборудования ОКП, таких как [17, 51, 95]:

1. Принцип стохастичности ресурса КВОИ, который декларирует (постулирует) то, что реальное значение ресурса конкретного оборудования считается случайной величиной, определяемой соответствующим законом распределения.

2. Принцип обоснования значения ресурса оборудования КВОИ из условий риска, предусматривающий, что требования к нему должны назначаться, исходя из условий обеспечения заданного уровня безопасности ОКП.

3. Принцип сохранения физической сущности процессов при прогнозировании ресурса, состоящий в том, что адекватность модели изменения процессов деградации материалов оборудования КВОИ во времени прогнозируемым процессам на интервале предыстории сохраняется на интервале упреждений. То есть это известный принцип К. Шеннона: основные закономерности, наблюдающиеся в прошлом, будут сохранены и в будущем.

4. Принцип адекватности математических методов оценки и прогнозирования ресурса статистическим данным о работоспособности оборудования КВОИ, требующий предварительного анализа содержания и объема входной (эксплуатационной) информации.

5. Принцип сочетания детерминированных, статистических, физико-статистических и экспертных методов.

6. Принцип прогнозирования индивидуального ресурса, требующий выполнения работ для конкретного оборудования КВОИ, определяющих ОР, характеризующий возможную продолжительность эксплуатации данного оборудования от момента контроля до предельного состояния.

7. Принцип продления назначенного ресурса, который предусматривает обоснование и установление нового назначенного ресурса конкретного оборудования ОКП.

Для оценивания и прогнозирования РС оборудования ОКП можно использовать их определяющие РХ [98], которые, как случайные величины, характеризуются средними значениями и дисперсиями, качественные оценки которых показаны на рис. 2.4.

При этом желательно, чтобы для оценок определяющих РХ оборудования КВОИ выполнялись условия:

$$t_n < t_\gamma < t_r < t_\ell, \quad (2.7)$$

которые характеризуют соответствующие интервалы зависимости интенсивности отказов от времени, включающие точки возможного контроля остаточного ресурса оборудования КВОИ.

Для дальнейшего исследования ресурсоспособности КВОИ целесообразно на примере оборудования энергоблоков АЭС рассмотреть особенности оценивания и прогнозирования их РХ с позиции теории надежности и диагностики [79]:

1. Все многообразие элементов энергоблоков АЭС делится на три класса: уникальное, мелкосерийное и массового изготовления.

2. Элементы энергоблоков АЭС могут быть невосстанавливаемыми или восстанавливаемыми, которые, как правило, подвергаются плановой профилактике.

Различные конструктивные меры обеспечивают функциональную избыточность оборудования энергоблоков АЭС.

3. Многообразие факторов различной природы отказов под воздействием комплекса эксплуатационных нагрузок существенно усложняет процессы диагностирования и анализа надежности оборудования АЭС.

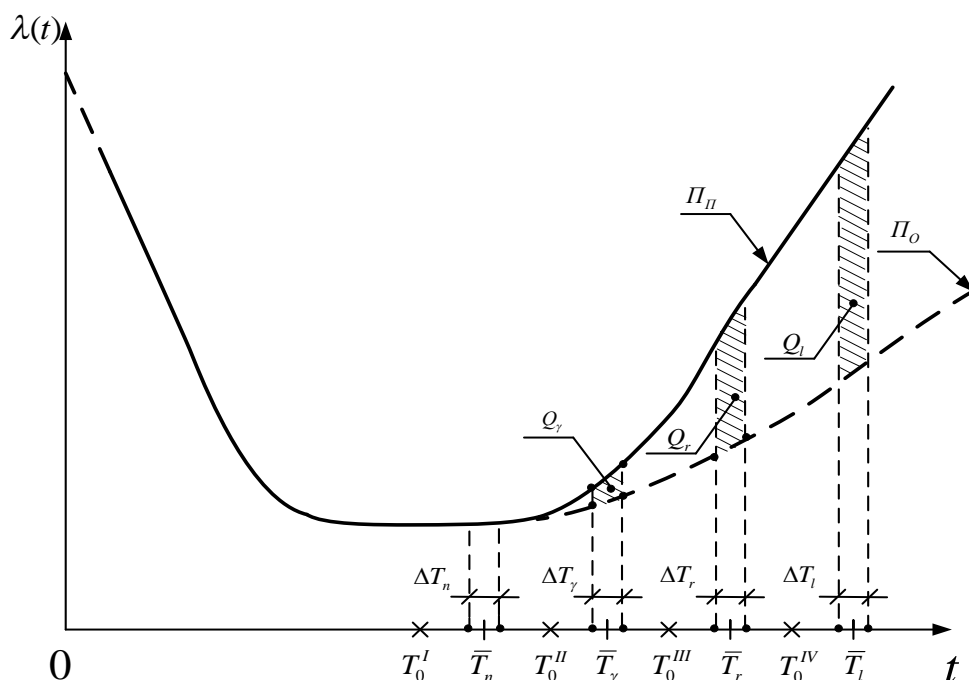


Рис. 2.4. Схема значений допустимых изменений определяющих РХ оборудования ОКП, где обозначено:

- \bar{T}_n – гарантированный ресурс и его допустимые отклонения Δt_n ;
- \bar{T}_γ – γ -процентный ресурс и его допустимые отклонения Δt_γ ;
- \bar{T}_r – технический ресурс и его допустимые отклонения Δt_r ;
- \bar{T}_l – время предельного состояния и его допустимые отклонения Δt_l ;
- $T_0^I \div T_0^{IV}$ – остаточный ресурс для выбранной точки его контроля;
- Π_{II} – пессимистический прогноз; Π_O – оптимистический прогноз;
- $\lambda(t)$ – интенсивность отказов ОКП; Q_γ, Q_r, Q_{II} – соответствующие зоны допустимых отклонений $\lambda(t)$

С точки зрения разработчика оборудования АЭС, проблему исследования свойств РС следует рассматривать с учетом следующих особенностей [79]:

1. Возможности прогнозирования РС ЯЭУ предшествует наличие определенной параметрической избыточности. Понятие параметрической избыточности характеризует то, что отказы оборудования АЭС связаны обычно не с выходом из строя отдельных элементов, а с ухудшением и выходом за допустимые пределы их характеристик, отражающих функциональное назначение. Эти характеристики отображаются совокупностью параметров, поддающихся, как правило, измерениям. Таким образом, физическая сущность расхождения (уменьшения) параметрической избыточности связана с процессами накопления дефектов в элементах оборудования АЭС [83], а прогнозирование их РС имеет смысл только в рамках моделей, связанных с обнаружением и анализом указанных процессов.

2. Применение разнородных элементов АЭС, работающих на основе различных физических принципов, предопределяет существование независимых обобщенных параметров, на процесс измерения которых влияет большое число факторов, имеющих случайный характер, в том числе старение, коррозия, износ, эрозия и др. Задача выявления тенденций изменений прогнозируемого параметра относится к вопросам многофакторного анализа, что усложняет прогнозирование оборудования КВОИ.

3. Отказы оборудования АЭС являются редкими событиями, что затрудняет изучение физических процессов и причин, предшествующих их возникновению.

4. Построение единой универсальной математической модели параметрической избыточности оборудования АЭС практически невозможно из-за дефицита статистических данных, что вызвано случайным характером процессов, происходящих в КВОИ прогнозирования, разнородностью физических принципов работы элементов и широкого спектра эксплуатационных воздействий.

Следует отметить, что рассмотренные особенности характерны как для объектов ядерной энергетики, так и для оборудования ОКП [1, 99, 100]. При этом основную угрозу ОР и негативному изменению состояния ресурсоспособности КВОИ несут отказы, исследование причин которых затруднено указанными выше особенностями.

В связи с этим при оценивании и прогнозировании свойств ресурсоспособности ОКП необходима типизация отказов [81]. Используя материалы работ [73, 102, 103], можно представить обобщение отказов по скорости развития: внезапные, постепенные (параметрические); по взаимосвязи с другими: независимые, зависимые; по возможности выявления: явные, неявные, перемежающиеся; по причинам: конструкционные, производственные, эксплуатационные, деградационные.

Следует отметить, что такая типизация отказов позволяет характеризовать техническое состояние КВОИ как во времени (ретроспективное, текущее, перспективное), так и по глубине (отдельных элементов конструкции, конкретных дефектов и т.п.), что дает основание для вероятностного прогнозирования ресурсоспособности КВОИ. Например, применительно к турбогенераторам большой мощности, которые относятся к уникальному оборудованию АЭС, исследование закономерностей интенсивности их отказов [89] позволило выделить следующую типизацию [104]:

I – отказы комплектующих элементов и применяемых материалов (например, нарушение герметичности фторопластового шланга системы охлаждения обмотки статора);

II – отказы, вызванные неудачной конструкцией элементов и узлов, а также несовершенством конструкторской документации. Данную группу отказов целесообразно конкретизировать введением следующих подгрупп:

II_{нк} – отказы, вызванные несовершенством конструкции (например, несовершенство конструкции сливного коллектора системы охлаждения статора, отсутствие допусков на сборку фланцевых соединений трубопроводов системы охлаждения внутри статора и др.);

II_{мк} – невозможность обнаружить дефекты существующими методами контроля из-за конструктивных особенностей, например, системы охлаждения статора;

II_{оп} – отказы, вызванные недостаточным объемом и разнообразием многообразных проверок, применяемых для оценки надежности турбогенераторов большой мощности при проектных режимах эксплуатации;

III – отказы, вызванные технологической необеспеченностью при изготовлении или ремонтах турбогенераторов большой мощности, в том числе несовершенством технологической документации;

IV – отказы, вызванные низким качеством работ при изготовлении, сборке и монтаже турбогенераторов большой мощности. Целесообразна конкретизация данной группы следующим образом:

IV_{нсс} – отказы, вызванные некачественными сварными соединениями;

IV_{тд} – отказы, вызванные технологическими дефектами (например, некачественной сборкой);

V – отказы, вызванные нарушением условий эксплуатации, которые можно конкретизировать следующим образом:

V_а – отказы, вызванные аномальными режимами эксплуатации;

V_р – отказы, вызванные низким качеством технического обслуживания и ремонта.

Кроме того, анализ нормативной документации по оцениванию показателей надежности и исследованию коренных причин отказов элементов

АЭС [41, 42, 44, 105 – 108], показывает, что определяющими типами отказов КВОИ можно полагать:

- конструктивные;
- производственные;
- эксплуатационные;
- деградационные;
- ресурсные.

Тогда, используя предложенные определяющие типы отказов и учитывая рассмотренные выше особенности оборудования АЭС как объекта прогнозирования, можно предположить, что наибольшая угроза состоянию ресурсоспособности КВОИ исходит от конструктивных, эксплуатационных, деградационных и ресурсных отказов. При этом следует учитывать [79], что в теории надежности разделение отказов на внезапные и постепенные носит неопределенный характер. Поэтому в зависимости от возможности прогнозирования, определяемой продолжительностью времени развития предотказного состояния, целесообразнее говорить об отказах, поддающихся и не поддающихся прогнозу, то есть об отказах, которые могут возникать, но не обнаруживаются в течение неопределенного времени пребывания КВОИ в предотказном состоянии.

С учетом изложенного опыт эксплуатации позволяет предположить, что имеют место следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
 t_H &= f_H(\lambda_K; \lambda_{\text{Э}}), \\
 t_{\gamma} &= f_{\gamma}(\lambda_K; \lambda_{\text{Э}}; \lambda_{\text{КП}}), \\
 t_r &= f_r(\lambda_K; \lambda_{\text{Э}}; \lambda_{\text{КП}}; \lambda_D), \\
 t_n &= f_l(\lambda_K; \lambda_{\text{Э}}; \lambda_{\text{КП}}; \lambda_D; \lambda_P)
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

где λ_K – интенсивность конструкционных внезапных отказов;

$\lambda_{\text{КП}}$ – интенсивность конструкционных постепенных отказов;

$\lambda_{\text{Э}}$ – интенсивность эксплуатационных отказов;

λ_D – интенсивность деградационных отказов;

λ_P – интенсивность ресурсных отказов.

Для оценки времени предельного состояния t_{η} (см. рис. 2.4) можно использовать модель Кокса [96], асимптотическую теорию вероятностей экстремальных значений [109] (развитие теории Гумбеля) и др., что показано в пункте 2.4 и 4-й главе данной монографии.

Тогда для исследования РС оборудования ОКП с помощью оценки определяющих РХ можно предложить систематизацию имеющейся информации на основе квадратных матриц специального вида:

– для случая $T_0^I < T_n$

$$\begin{pmatrix} a_{oo} & a_{no} & a_{\gamma o} & a_{ro} & a_{lo} \\ a_{on} & a_{nn} & a_{\gamma n} & a_{rn} & a_{ln} \\ a_{o\gamma} & a_{n\gamma} & a_{\gamma\gamma} & a_{r\gamma} & a_{l\gamma} \\ a_{or} & a_{nr} & a_{\gamma r} & a_{rr} & a_{lr} \\ a_{ol} & a_{nl} & a_{\gamma l} & a_{rl} & a_{ll} \end{pmatrix}; \quad (2.9)$$

– для случая $T_n < T_0^{II} < T_\gamma$

$$\begin{pmatrix} a_{nn} & a_{on} & a_{\gamma n} & a_{rn} & a_{ln} \\ a_{no} & a_{oo} & a_{\gamma o} & a_{ro} & a_{lo} \\ a_{n\gamma} & a_{o\gamma} & a_{\gamma\gamma} & a_{r\gamma} & a_{l\gamma} \\ a_{nr} & a_{or} & a_{\gamma r} & a_{rr} & a_{lr} \\ a_{nl} & a_{ol} & a_{\gamma l} & a_{rl} & a_{ll} \end{pmatrix}; \quad (2.10)$$

– для случая $T_\gamma < T_0^{III} < T_r$

$$\begin{pmatrix} a_{nn} & a_{\gamma n} & a_{on} & a_{rn} & a_{ln} \\ a_{n\gamma} & a_{\gamma\gamma} & a_{o\gamma} & a_{r\gamma} & a_{l\gamma} \\ a_{no} & a_{\gamma o} & a_{oo} & a_{ro} & a_{lo} \\ a_{nr} & a_{\gamma r} & a_{or} & a_{rr} & a_{lr} \\ a_{nl} & a_{\gamma l} & a_{ol} & a_{rl} & a_{ll} \end{pmatrix}; \quad (2.11)$$

– для случая $T_r < T_0^{IV} < T_l$

$$\begin{pmatrix} a_{nn} & a_{\gamma n} & a_{\gamma o} & a_{on} & a_{ln} \\ a_{n\gamma} & a_{\gamma\gamma} & a_{r\gamma} & a_{o\gamma} & a_{l\gamma} \\ a_{or} & a_{\gamma r} & a_{rr} & a_{or} & a_{lr} \\ a_{no} & a_{\gamma o} & a_{ro} & a_{oo} & a_{lo} \\ a_{nl} & a_{\gamma l} & a_{rl} & a_{ol} & a_{ll} \end{pmatrix}. \quad (2.12)$$

Столбцы и строки квадратных матриц (2.9) – (2.12) соответствуют оценкам определяющих ресурсных характеристик оборудования ОКП, а клетки $(i; j)$ – вариантам изменения j -й определяющей ресурсной характеристики при улучшении (ухудшении) i -й определяющей ресурсной характеристики.

Следует указать, что матрица (2.9) содержит исходную информацию для исследования зависимости гарантированного ресурса прежде всего от влияния интенсивностей отказов λ_K и $\lambda_{\text{Э}}$; матрица (2.10) – зависимости γ -процентного ресурса от интенсивностей отказов $\lambda_K, \lambda_{\text{Э}}$ и $\lambda_{\text{КП}}$; матрица (2.11) – зависимости технического ресурса от интенсивностей отказов $\lambda_K, \lambda_{\text{Э}}, \lambda_{\text{КП}}$ и λ_D ; матрица (2.12) – зависимости времени предельного состояния от интенсивностей отказов $\lambda_K, \lambda_{\text{Э}}, \lambda_{\text{КП}}, \lambda_D$ и λ_P .

Тогда можно проанализировать взаимодействие определяющих РХ с помощью многомерного корреляционного анализа [110], и по его результатам упорядочить (ранжировать) влияние определяющих РХ на РС оборудования ОКП, для чего применяются частные коэффициенты корреляции второго порядка

$$\begin{aligned}
 R_{l,n/\gamma,r} &= \frac{R_{l,n/\gamma} - R_{l,r/\gamma} \cdot R_{n,r/\gamma}}{\sqrt{(1 - R_{l,r/\gamma}^2) \cdot (1 - R_{n,r/\gamma}^2)}}; \\
 R_{l,\gamma/n,r} &= \frac{R_{l,\gamma/\gamma} - R_{l,r/n} \cdot R_{\gamma,r/n}}{\sqrt{(1 - R_{l,r/n}^2) \cdot (1 - R_{\gamma,r/n}^2)}}; \\
 R_{l,r/\gamma,n} &= \frac{R_{l,r/\gamma} - R_{l,n/\gamma} \cdot R_{r,n/\gamma}}{\sqrt{(1 - R_{l,n/\gamma}^2) \cdot (1 - R_{r,n/\gamma}^2)}},
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

где

$$\begin{aligned}
 R_{l,n/\gamma} &= \frac{r_{l,n} - r_{l,\gamma} \cdot r_{n,\gamma}}{\sqrt{(1 - r_{l,\gamma}^2) \cdot (1 - r_{n,\gamma}^2)}}; & R_{l,n/r} &= \frac{r_{l,n} - r_{l,r} \cdot r_{n,r}}{\sqrt{(1 - r_{l,r}^2) \cdot (1 - r_{n,r}^2)}}; & R_{l,\gamma/n} &= \frac{r_{l,\gamma} - r_{l,n} \cdot r_{\gamma,n}}{\sqrt{(1 - r_{l,n}^2) \cdot (1 - r_{\gamma,n}^2)}}; \\
 R_{l,\gamma/r} &= \frac{r_{l,\gamma} - r_{l,r} \cdot r_{\gamma,r}}{\sqrt{(1 - r_{l,r}^2) \cdot (1 - r_{\gamma,r}^2)}}; & R_{l,r/n} &= \frac{r_{l,r} - r_{l,n} \cdot r_{r,n}}{\sqrt{(1 - r_{l,n}^2) \cdot (1 - r_{r,n}^2)}}; & R_{l,r/\gamma} &= \frac{r_{l,r} - r_{l,\gamma} \cdot r_{r,\gamma}}{\sqrt{(1 - r_{l,\gamma}^2) \cdot (1 - r_{r,\gamma}^2)}}; \\
 R_{n,r/\gamma} &= \frac{r_{n,r} - r_{n,\gamma} \cdot r_{r,\gamma}}{\sqrt{(1 - r_{n,\gamma}^2) \cdot (1 - r_{r,\gamma}^2)}}; & R_{\gamma,r/n} &= \frac{r_{\gamma,r} - r_{\gamma,n} \cdot r_{r,n}}{\sqrt{(1 - r_{\gamma,n}^2) \cdot (1 - r_{r,n}^2)}}; & R_{r,n/\gamma} &= \frac{r_{r,n} - r_{r,\gamma} \cdot r_{n,\gamma}}{\sqrt{(1 - r_{r,\gamma}^2) \cdot (1 - r_{n,\gamma}^2)}}
 \end{aligned}$$

– значения частных коэффициентов корреляции первого порядка.

При этом осуществляется комплексное исследование характеристик ресурсоспособности КВОИ, предопределенное наличием пессимистического и оптимистического прогнозов, а также допустимыми отклонениями Δt_r , Δt_γ и Δt_l , что иллюстрируют для множества КВОИ зоны Q_γ, Q_r, Q_l , заштрихованные на рис. 2.4.

В результате совместного применения:

- изложенного математического подхода, обеспечивающего выполнение условий (2.6);

- указанных основных принципов исследования показателей РС;

- допустимых изменений определяющих ресурсных характеристик КВОИ, с учетом особенностей их прогнозирования, которые характеризуются наличием параметрической избыточности и остаточной дефектности, неизбежной из-за влияния определяющих типов отказов, согласно зависимостям (2.8);

- анализа взаимодействия определяющих РХ с помощью многомерного корреляционного анализа

появляется возможность систематизации характеристик ресурсоспособности КВОИ и представления модели их структуры и взаимосвязей (рис. 2.5) [98].



Рис. 2.5. Структура взаимосвязанных характеристик ресурсоспособности оборудования КВОИ

Согласно [87], под первичными характеристиками Ch' следует определять:

- технические параметры материалов и комплектующих оборудования КВОИ;
- проектируемую деградацию;
- вероятность изменения технических параметров при хранении и после восстановления, ремонта или модернизации.

При этом для каждой из первичных характеристик могут быть определены вторичные характеристики, которые могут быть общими для различных первичных характеристик. В предлагаемой структуре (см. рис. 2.5) показана целесообразность характеризовать опасности (угрозы) Ch_y , которые определяются, прежде всего, влиянием деградационных, ресурсных и параметрических отказов, требующих исследования предотказных и предельных состояний КВОИ.

Под совокупностью вторичных параметров Ch'' предлагается понимать [87]:

- риски и их последствия в зависимости от заданных влияющих факторов, включая недостаточное качество оценивания и прогнозирования РХ и показателей ресурсоспособности КВОИ;
- технологическую приспособленность КВОИ к диагностированию и прогнозированию его состояний на всех этапах жизненного цикла;
- критичность отказов с учетом их последствий.

Следует отметить влияние указанных опасностей на изменение характеристик Ch' , степень взаимодействия которых можно определить конкретными значениями ρ (см. рис. 2.5).

Это позволяет рассматривать предложенную структуру взаимосвязанных характеристик РС как одно из теоретических обоснований при создании принципов стандартизации показателей РС, что особенно важно на этапах разработки и проектирования КВОИ. Учитывая малоизученность вопросов исследования предотказных и предельных состояний КВОИ, которые также существенно влияют на РС, целесообразно исследовать динамику состояний КВОИ в целях развития теоретических положений для совершенствования нормативно-методической базы при создании принципов стандартизации показателей их РС.

2.4. Унификация динамики состояний ресурсоспособности

Исследование множества состояний КВОИ при оценивании РС, в общем, и определяющих РХ, в частности, может позволить осуществить их унификацию с точки зрения приведения КВОИ к единообразию описаний относительно динамики состояний РС [101].

Для описания динамики состояний ресурсоспособности КВОИ в общем случае предложено рассмотреть множество работоспособных (и безопасных) состояний MS и полностью неработоспособных состояний, включающих функционально опасные $MS_{оп}$ и безопасные $MS_{б}$ состояния соответственно, с помощью разработанной модели [101], показанной на рис. 2.6, где обозначено: S_0 – исходное исправное состояние; S_k – подмножество состояний конструктивных внезапных отказов; $S_{кп}$ – подмножество состояний конструктивных постепенных отказов; $S_э$ – подмножество состояний эксплуатационных отказов; $S_д$ – подмножество состояний деградиционных отказов; S_p – подмножество состояний ресурсных отказов; $S'_{кп}$ – подмножество состояний конструктивных постепенных отказов, возникающих, но не обнаруженных; $S'_д$ – подмножество состояний деградиционных отказов, возникающих, но не обнаруженных.

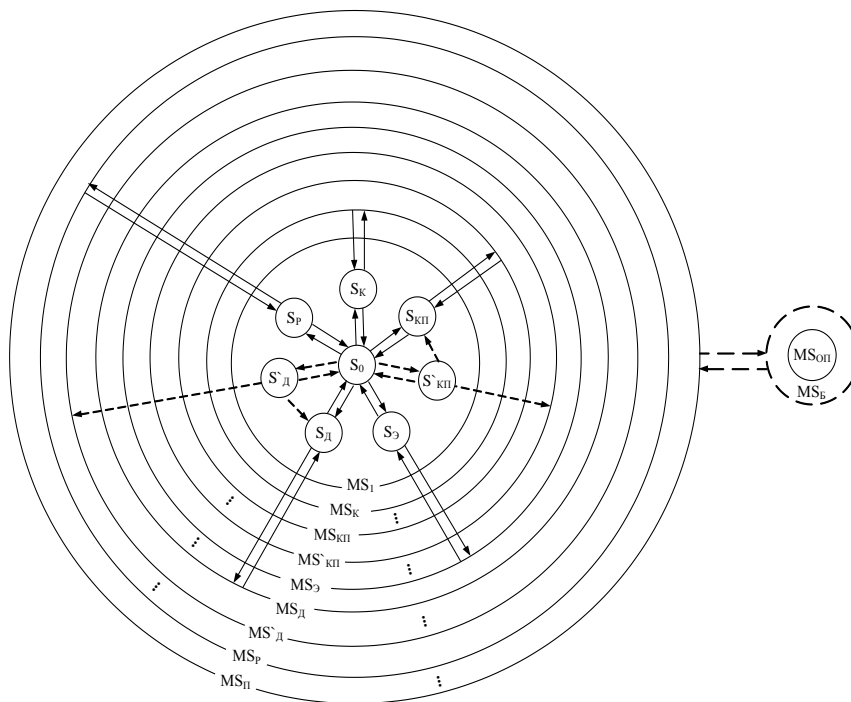


Рис. 2.6. Модель динамики состояний ресурсоспособности КВОИ

При обнаружении отказов и их устранении СО переходит в исправное состояние S_0 .

В общем, могут иметь место и другие состояния, связанные с профилактикой, модернизацией, ремонтом, заменой элементов, которые не показаны на рис. 2.6. Переход СО из состояний множества MS_1 в состояния множества MS_j , где $j = \overline{2, n}$, вызывается уменьшением запаса ресурса при сохранении в полном объеме его функциональности. В случае пополнения ресурса возможны обратные переходы.

Таким образом, предложена модель, позволяющая привести состояния РС к единообразию относительно определяющих причин отказов, что позволяет унифицировать подходы к моделированию в рамках методологии индивидуального прогнозирования КВОИ.

В настоящее время проблема оценки и прогнозирования индивидуального ресурса является одной из центральных для оборудования ОКП, обострение которой предопределяется тем, что не решены следующие фундаментальные задачи [83]:

- отсутствуют зависимости, связывающие значение ресурса с периодичностью и объемом технического обслуживания, контроля, испытаний и инспекций;

- не решена задача прогнозирования индивидуального ресурса оборудования ОКП;

- отсутствуют аналитические зависимости влияния старения и ОР на технико-экономические показатели эффективности оборудования ОКП.

Для дальнейшего исследования состояний РС предположим, что КВОИ с конечным временем жизни описывается процессом естественного старения, который можно представить в виде ряда последовательных этапов.

Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос прогнозирования времени попадания КВОИ в предельные состояния в зависимости от времени предельно допустимого момента окончания работ по восстановлению ресурса h_i КВОИ.

Эта задача может быть решена, если перейти к многоэтапному представлению процесса старения, что позволит более гибко определить стратегию по выбору моментов времени h_i для частичного или полного восстановления ресурса. Тогда представленные на рис. 2.6 состояния и траектории переходов между ними могут быть детализованы и смоделированы на основе полумарковских процессов [111], если с помощью теории экспертных заключений задать оценки времен h_i .

Границы этапов на временной оси образуют N упорядоченных точек, при этом число этапов равно $N-1$. Таким образом, можно определить фазовое пространство $E = \{1, 2, \dots, N-1, N\}$. В каждом состоянии КВОИ обладает различными функциональными характеристиками. Очевидно, что в процессе старения эти характеристики ухудшаются, к примеру:

- увеличивается вероятность отказа для комплектующих компонентов;
- уменьшается ресурс металлоконструкций из-за действия коррозионных процессов и др.

Важной системной характеристикой для этих условий является время попадания в предельное состояние, которое определяет остаточное время жизни, а также общее время жизненного цикла КВОИ. Это время можно значительно продлить, если в процессе эксплуатации КВОИ выполнять комплекс работ, направленных на частичное восстановление ресурса.

Существенный интерес представляет математическая модель, позволяющая принимать обоснованные решения по восстановлению ресурса и продлению остаточного времени жизни. Такая модель должна быть построена при обязательном учете следующих обстоятельств:

1. Необходимо в полной мере учитывать временную упорядоченность этапов старения.

2. Процесс старения носит стохастический характер и должен быть описан с использованием вероятностного подхода.

3. При правильно организованном процессе эксплуатации КВОИ возможны лишь эволюционные процессы деградации и восстановления. Это приводит к необходимости считать возможными лишь переходы из данного этапа на предыдущий и на последующий.

4. Нет достаточных оснований предполагать, что вероятностные процессы, при установлении регламента технического обслуживания описывающие динамику КВОИ, основаны на простейших потоках событий и описываются показательными функциями распределения.

5. В модели целесообразно использовать не функции плотности распределения, которые, как известно, идентифицируются с существенными погрешностями, а функции распределения интегрального вида.

Описанным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют модели, построенные на основе теории полумарковских процессов, которые в последнее время, несмотря на некоторую громоздкость аппарата, становятся надежным инструментальным средством исследования КВОИ.

На основе модели динамики состояний ресурсоспособности КВОИ, путем ввода в рассмотрение временной компоненты представляется возможным построить вложенную цепь Маркова для процесса старения КВОИ с частичным восстановлением ресурса. В соответствии с этими соображениями построена модель (рис. 2.7) оценки времени попадания КВОИ в предельное состояние при частичном восстановлении ресурса на основе теории полумарковских процессов, где для указанного рисунка и далее обозначено [101]:

N – число этапов процесса уменьшения и восстановления ресурса оборудования КВОИ;

$F_i(t)$ – функция распределения случайных времен на i -м этапе уменьшения ресурса оборудования КВОИ;

i, k, l, m – индексы номеров этапов уменьшения ресурса оборудования КВОИ;

η_i – время, при котором КВОИ не получает обслуживания, приводящего к увеличению ресурса;

θ_k – время пребывания КВОИ в состоянии k в процессе уменьшения ресурса;

M – время перехода между этапами уменьшения ресурса оборудования КВОИ;

h_i – время предельно допустимого момента окончания работ по восстановлению ресурса;

$t_{1,N}$ – время перехода в предельное состояние.

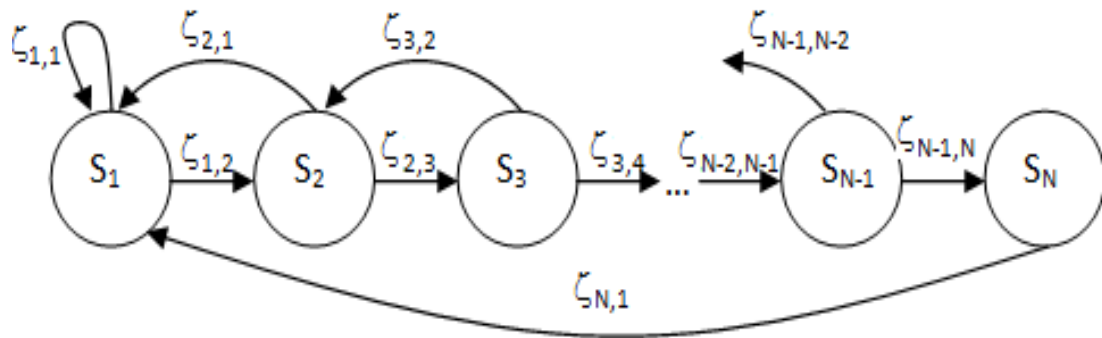


Рис. 2.7. Вложенная цепь Маркова для процесса старения СО частичным восстановлением ресурса

При этом предлагается следующая формализация:

1. Переход в следующее $i+1$ состояние (старение) происходит в случае, если время η_i , которое КВОИ может функционировать без технического обслуживания, превысило h_i .

2. Время η_i , которое КВОИ может не обслуживаться, является случайной величиной, распределенной согласно закону распределения $F_i(x)$.

Процесс старения может быть задан двумя последовательностями: $\{\eta_k\}$ и $\{\xi_{k,k}\}$. Вероятности переходов для вложенной цепи Маркова могут быть определены следующим образом [101]:

$$\begin{cases} P\{\zeta_{n+1} = k+1 | \zeta_n = k\} = P\{\eta_k \leq h_k\} = F_k(h_k) \\ P\{\zeta_{n+1} = k-1 | \zeta_n = k\} = P\{\eta_k > h_k\} = 1 - F_k(h_k) = \bar{F}_k(h_k) \\ P\{\zeta_{n+1} = 1 | \zeta_n = 1\} = P\{\eta_1 > h_1\} = F_1(h_1) \\ P\{\zeta_{n+1} = 1 | \zeta_n = N\} = 1 \end{cases} \quad (2.14)$$

Остальные вероятности переходов равны нулю.

Определение времен θ_k пребывания КВОИ в состоянии с номером k может быть выполнено на основе следующих оценок [101, 111]:

$$\begin{cases} \theta_k = \min\{\eta_k, h_k\} = \eta_k \wedge h_k, k = \overline{1, N-1} \\ \theta_N = 0 \end{cases} \quad (2.15)$$

а времена пребывания в состоянии k при условии перехода в состояние l равны

$$\theta_{k,k+1} = \eta_k \quad \theta_{k,k-1} = h_k \quad \theta_{1,1} = h_1 \quad \theta_{N,1} = 0.$$

Остальные времена переходов по состояниям равны нулю.

На основе приведенных выше данных и выражений (2.14), (2.15) можно аналитически вычислить математическое ожидание времени попадания в предельное состояние ($t_{1,N}$) для оборудования КВОИ [101].

$$\begin{aligned}
 t_{1,N} = & \sum_{i=1}^{N-1} \frac{h_i - F_i(h_i)(h_i - M\{\eta_i\})}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k} - \sum_{i=1}^{N-2} \frac{h_i - F_i(h_i)(h_i - M\{\eta_i\})}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k} \sum_{l=i+1}^{N-1} F_l \overline{F_{l+1}} + \\
 & + \sum_{i=1}^{N-4} \frac{h_i - F_i(h_i)(h_i - M\{\eta_i\})}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k} \sum_{l=i+1}^{N-3} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-1} F_m \overline{F_{m+1}} - \\
 & - \sum_{i=1}^{N-6} \frac{h_i - F_i(h_i)(h_i - M\{\eta_i\})}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k} \sum_{l=i+1}^{N-5} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-3} F_m \overline{F_{m+1}} \sum_{j=m+2}^{N-1} F_j \overline{F_{j+1}} + R_n,
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

где R_n – часть суммы, образованная слагаемыми, для которых верхний предел суммирования у первого знака суммы является положительным числом.

Учитывая разработанную модель динамики состояний ресурсоспособности КВОИ (см. рис. 2.6), можно получить вложенную цепь Маркова для оценивания влияния определяющих причин отказов на ресурсоспособность КВОИ (рис. 2.8).

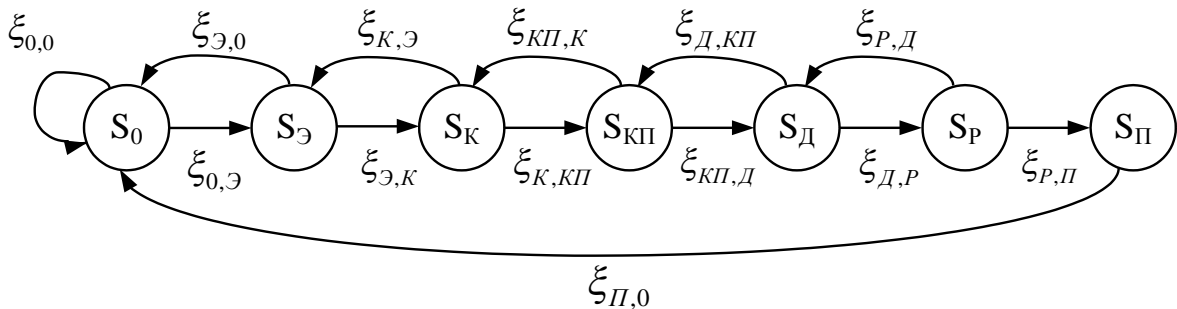


Рис. 2.8. Вложенная цепь Маркова оценивания влияния определяющих причин отказов на ресурсоспособность КВОИ

Тогда с помощью аналитического выражения (2.16) для $t_{1,N}$ можно построить зависимость времени попадания в предельное состояние КВОИ $t_{\text{П}}$, вложенная цепь Маркова которого показана на рис. 2.8, от влияющих причин отказов (рис. 2.9).

При этом момент осуществления технического обслуживания на всех этапах отмасштабирован и принадлежит единичному интервалу.

В заключение данного исследования можно сказать, что таким образом получена основа для унификации представления динамики состояний КВОИ на основе исследования множества его состояний применительно к определяющей РХ – времени предельного состояния, с учетом влияния определяющих причин отказов.

Таким образом:

- предложена модель состояний, унифицирующая влияние определяющих причин отказов на ресурсоспособность КВОИ;
- построен граф полумарковской модели для определения времени попадания КВОИ в предельное состояние;
- представлена аналитическая зависимость для вычисления времени попадания КВОИ в предельное состояние;
- показан подход для оценивания степени влияния определяющих причин отказов на ресурсоспособность КВОИ;
- предложено приведение состояний КВОИ к единообразию по установленному признаку для конкретизации условий при исследовании предотказных и предельных состояний КВОИ, что позволяет повысить качество оценивания и прогнозирования РХ и показателей РС за счет уменьшения остаточной дефектности и вскрытия резервов ресурсоспособности КВОИ.

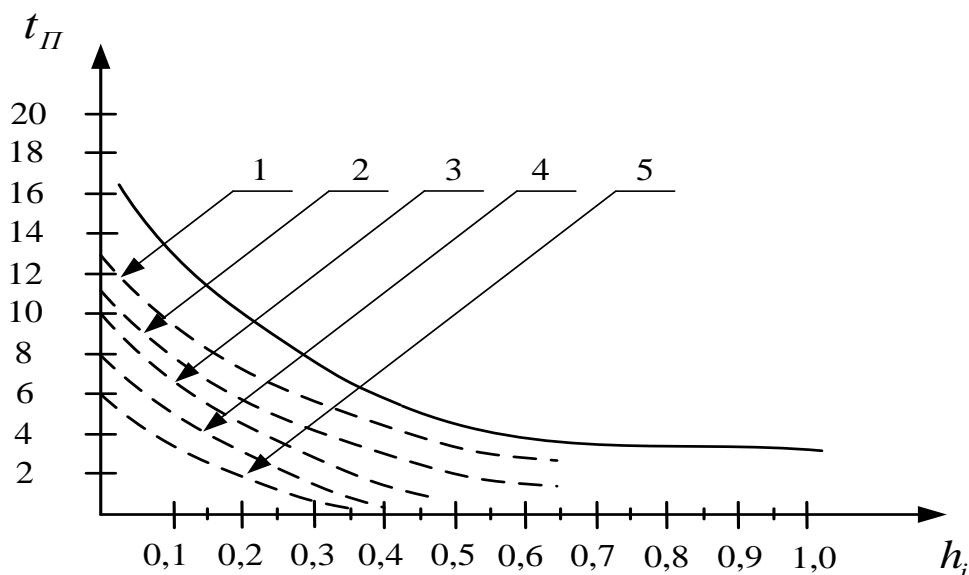


Рис. 2.9. Зависимость математического ожидания времени попадания в предельное состояние КВОИ от h_i , где обозначено:

- 1 – исследуется влияние только эксплуатационных отказов;
- 2 – исследуется влияние только конструктивных внезапных отказов;
- 3 – исследуется влияние только конструктивных постепенных отказов;
- 4 – исследуется влияние только деградационных отказов;
- 5 – исследуется влияние только ресурсных отказов

2.5. Нормирование показателей ресурсоспособности

В пункте 2.1 данной монографии предложены показатели РС: $\lambda_H^H \dots \lambda_H^B$; $\lambda_\gamma^H \dots \lambda_\gamma^B$; $\lambda_\Pi^H \dots \lambda_\Pi^B$; $t_{\gamma O}^B \dots t_{\gamma O}^H$; t_{OP}^* ; $t_{\Pi\Pi}^H \dots t_{\Pi O}^B$, которые целесообразно дополнить к известным показателям долговечности КВОИ.

Как известно [79], γ -процентные показатели равны квантилям соответствующих распределений. Задаваемые значения γ для критических отказов должны быть весьма близки к 100 %, чтобы сделать их практически невозможными событиями. Статистические оценки для γ -процентных показателей могут быть получены либо непосредственно, либо после аппроксимации эмпирических функций распределения подходящими аналитическими распределениями. Экстраполирование эмпирических результатов при ограниченной исходной информации может привести к значительным ошибкам.

Применение указанных показателей ресурсоспособности, начиная с этапа разработки КВОИ, может усовершенствовать технологию ресурсного проектирования. Для этого необходимо выбрать такие показатели, влияние которых на оценивание и прогнозирование ресурсоспособности КВОИ можно считать определяющим, то есть установить определяющие показатели РС.

Предположим, что показатели ресурсоспособности $\lambda_H^H \dots \lambda_H^B$; $\lambda_\gamma^H \dots \lambda_\gamma^B$; $t_{\gamma\Pi}^B \dots t_{\gamma O}^B$ устанавливаются в технических требованиях Заказчиком априори и обеспечиваются на стадии проектирования, с учетом менеджмента старения [84], а ОР t_{OP}^* (см. рис. 2.1) определяется временем предельного состояния КВОИ. Тогда с точки зрения оценивания ресурсных характеристик КВОИ можно считать, что его определяющими показателями РС являются $\lambda_\Pi^H \dots \lambda_\Pi^B$ и $t_{\Pi\Pi}^H \dots t_{\Pi O}^B$, которые позволяют осуществлять как прямое, так и обратное аналитическое прогнозирование. При оценивании и прогнозировании определяющих показателей РС для обеспечения требуемой достоверности и точности необходимо определиться с правильным выбором структуры экстраполяционной функции. Выбор этой функции существенным образом зависит от субъективных качеств проектанта, который выполняет последовательность операций, в общем случае, состоящую:

- из определения характера тренда при содержательном анализе рассматриваемого процесса;
- получения окончательного вида аппроксимирующей функции;
- расчета требуемых параметров в выбранной исследуемой зависимости.

Используя эксплуатационную информацию, можно утверждать [53, 69], что в период нормальной эксплуатации КВОИ, переходящей в стадию технологического устаревания или старения материалов, исследуемый процесс является стабильным и монотонно возрастающим, что типично для большинства оборудования КВОИ. Тогда состав аппроксимирующих функций для определения вида тренда $\lambda(t)$ можно ограничить совокупностью двухпараметрических семейств [79], которая приведена в табл. 2.1, с учетом обозначений, принятых в пп. 2.1 – 2.3.

Для аналитического оценивания определяющих показателей РС необходимо отметить [65, 79], что в подавляющем большинстве имевших место

ситуаций обоснований для использования конкретного вида закона распределения нет. Поэтому в настоящее время все большую роль в теории надежности и анализе долговечности оборудования КВОИ играют непараметрические методы оценки ПР [47]. В работах [55, 58, 65] показано, что для повышения точности и достоверности результатов целесообразно применять непараметрический метод ядерной оценки интенсивности отказов:

$$\lambda(t) = \frac{f_{\xi,n}(t)}{1 - F_{\xi,n}(t)}, \quad (2.17)$$

где $F_{\xi,n}(t)$ и $f_{\xi,n}(t)$ – ядерные оценки функции и плотности распределения соответственно;

n – общее число наблюдений;

ξ – случайные элементы выборки $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$.

Т а б л и ц а 2.1

Аналитическая оценка времени предельного состояния КВОИ

№ п/п	Аппроксимирующая функция $\lambda(t)$	Время предельного состояния t_{Π}	a	b
1	$a + bt$	$\frac{t_{\gamma} - t_H}{\lambda_{\gamma} - \lambda_H} \cdot \left(\lambda_{\Pi} - \lambda_H + \frac{\lambda_{\gamma} - \lambda_H}{t_{\gamma} - t_H} \cdot t_H \right)$	$\lambda_H \cdot \frac{\lambda_{\gamma} - \lambda_H}{t_{\gamma} - t_H} \cdot t_H$	$\frac{\lambda_{\gamma} - \lambda_H}{t_{\gamma} - t_H}$
2	at^b	$\frac{\ln t_{\gamma} - \ln t_H}{\ln \lambda_{\gamma} - \ln \lambda_H} \cdot \left(\ln \frac{\lambda_{\Pi}}{\lambda_H} + \frac{\ln \lambda_{\gamma} - \ln \lambda_H}{\ln t_{\gamma} - \ln t_H} \cdot \ln t_H \right)$	$\ln \lambda_H - \frac{\ln \lambda_{\gamma} - \ln \lambda_H}{\ln t_{\gamma} - \ln t_H} \cdot \ln \lambda_H$	$\frac{\ln \lambda_{\gamma} - \ln \lambda_H}{\ln t_{\gamma} - \ln t_H}$
3	ae^{bt}	$\frac{1}{b} \ln \frac{\lambda_{\Pi}}{a}$	$\lambda_H \left(\frac{t_H}{t_{\gamma}} \right)^{\frac{t_H}{t_{\gamma} - t_H}}$	$\frac{\ln \lambda_H - \lambda_{\gamma}}{t_H - t_{\gamma}}$
4	$e^{at} t^b$	$t_{\Pi} - \frac{\ln \lambda_{\Pi}}{a} - \frac{b}{a} \ln t_{um} - 1,$ где t_{um} – время окончания итерационного процесса при решении трансцендентного уравнения методом последовательных приближений, обеспечивающего требуемую точность $ t_{um} - t_{um-1} < \varepsilon$	$\frac{\ln t_{\gamma} \ln \lambda_H - \ln t_H \ln \lambda_{\gamma}}{t_H \ln t_{\gamma} - t_{\gamma} \ln t_H}$	$\frac{t_{\gamma} \ln \lambda_H - t_H \ln \lambda_{\gamma}}{t_{\gamma} \ln t_H - t_H \ln t_{\gamma}}$

Тогда, используя материалы работ [55, 82], можно показать, что нижнее и верхнее значение λ_{II} определяются выражениями

$$\lambda_{II}^H = \lambda_{II}^C - \Delta\lambda_{II}, \quad \lambda_{II}^B = \lambda_{II}^C + \Delta\lambda_{II}, \quad (2.18)$$

где $\lambda_{II}^C = \frac{M_{\eta}(t)}{1-F(t)}$ – среднее значение λ -характеристики, в котором $F(t)$ –

функция распределения наработки до отказа, а $M_{\eta}(t)$ – математическое ожидание случайной величины η , которая определяется следующим обра-

зом: $\eta = \frac{1}{\sigma} G\left(\frac{t-\xi_i}{\sigma}\right)$; σ – параметр локальности; $G(\xi)$ – ядро Розенבלата [58];

$\Delta\lambda_{II} = t_{n,\alpha/2} \sqrt{\frac{D_{\eta}(t)}{n}} \cdot \frac{1}{1-F(t)}$ – допустимое отклонение λ -характеристики от λ_{II}^C ;

$D_{\eta}(t)$ – дисперсия случайной величины η ; $t_{n,\alpha/2}$ – расчетное значение критерия Стьюдента при выборке объема n и заданном уровне значимости $\alpha/2$.

Следует отметить, что выбор ядра зависит от априорной информации о свойствах плотности $f_{\xi,n}(t)$, поэтому в настоящее время в качестве ядра могут использоваться треугольная функция, ядро Порзена, ядро Епанечникова, ядро Гаусса, ядро Лапласа, ядро Коши, ядро Фейера и ядро Тьюни [65].

Таким образом, можно определить исходные данные для установления нормирования значений определяющего показателя РС $\lambda_{II}^H \dots \lambda_{II}^B$.

Для исследования определяющего показателя ресурсоспособности $t_{III}^H \dots t_{II}^B$ можно предложить следующий подход.

Заданные при проектировании КВОИ значения назначенного и γ -процентного ресурса, как оговорено выше, для построения исследуемой λ -характеристики позволяют получить следующие исходные координаты: $(t_H; \lambda_H^H)$, $(t_H; \lambda_H^B)$, $(t_{\gamma}; \lambda_{\gamma}^H)$, $(t_{\gamma}; \lambda_{\gamma}^B)$, тогда можно показать семейство кривых для прогнозирования времени предельного состояния КВОИ, что показано на рис. 2.10, где обозначены, с учетом рис. 2.1 и 2.3: *И* и *Э* – иллюстрации интенсивной и экстенсивной деградации, соответственно, а *С* – усредненный характер поведения $\lambda(t)$.

В результате, используя выражения (2.18) и данные табл. 2.1, можно определить значения времени предельных состояний КВОИ (см. рис. 2.10) с помощью табл. 2.2.

Таким образом, можно определить область допустимых изменений времени предельного состояния КВОИ в зависимости от поведения его λ -характеристики, что позволяет нормировать значения t_{II} с помощью допусков Δt_{II}^H , Δt_{II}^B , Δt_{II}^C , Δt_{II}^O , Δt_{II}^{\exists} , указанных на рис. 2.10.

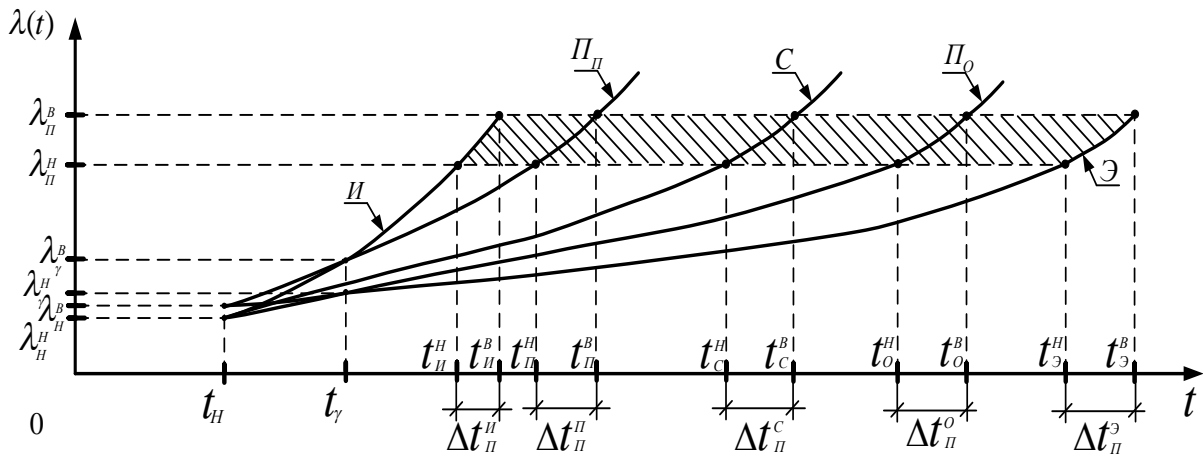


Рис. 2.10. Семейство кривых для прогнозирования времени предельного состояния КВОИ

Т а б л и ц а 2.2

Значение времени предельных состояний

$\lambda(t)$	Исходные координаты	Установка	t_{Π}
И	$(t_H; \lambda_H^H); (t_\gamma; \lambda_\gamma^B)$	λ_{Π}^H	t_{Π}^H
		λ_{Π}^B	t_{Π}^B
П	$(t_H; \lambda_H^B); (t_\gamma; \lambda_\gamma^B)$	λ_{Π}^H	t_{Π}^H
		λ_{Π}^B	t_{Π}^B
С	$(t_H; \lambda_H^C); (t_\gamma; \lambda_\gamma^C)$	λ_{Π}^H	t_C^H
		λ_{Π}^B	t_C^B
О	$(t_H; \lambda_H^H); (t_\gamma; \lambda_\gamma^H)$	λ_{Π}^H	t_O^H
		λ_{Π}^B	t_O^B
Э	$(t_H; \lambda_H^B); (t_\gamma; \lambda_\gamma^H)$	λ_{Π}^H	$t_{\text{Э}}^H$
		λ_{Π}^B	$t_{\text{Э}}^B$

В результате для формализации процесса аналитического обратного прогнозирования времени предельного состояния можно предложить следующий алгоритм:

1. Вычисление предельных значений λ_{Π}^H и λ_{Π}^B по формуле (2.18).
2. Определение координат характеристических точек аппроксимирующих функций: $(t_H; \lambda_H^H)$, $(t_H; \lambda_H^B)$, $(t_\gamma; \lambda_\gamma^H)$, $(t_\gamma; \lambda_\gamma^B)$.
3. Вычисление времени предельного состояния по формулам, согласно табл. 2.1.
4. Оценивание и нормирование времени предельного состояния на основании допусков Δt_{Π}^H , Δt_{Π}^B , Δt_C^H , Δt_C^B , Δt_O^H , Δt_O^B , определенных согласно указанной табл. 2.2.

В заключение следует указать, что получены аналитические выражения для оценивания определяющих показателей РС; показан подход для аналитического обратного прогнозирования времени предельного состояния КВОИ; предложен алгоритм для нормирования времени предельного состояния КВОИ.

В ы в о д ы

1. К проблемным вопросам исследования ресурсоспособности КВОИ следует отнести:

– необходимость проверки однородности статистических данных в условиях недостаточности и неопределенности исходной информации при оценивании влияния на РС внешних и внутренних факторов КВОИ и сравнение показателей РС оборудования КВОИ, эксплуатирующегося в разных условиях;

– потребность уменьшения остаточной дефектности и выявление резервов РС за счет повышения качества оценивания и прогнозирования показателей РС, учитывая обеспечение их контроля на разных этапах жизненного цикла КВОИ;

– исследование, выбор и нормирование определяющих показателей РС.

2. Для количественной оценки ресурсоспособности КВОИ предложены шесть показателей, которыми целесообразно дополнить стандартные показатели долговечности. Показано, что определяющими показателями ресурсоспособности КВОИ являются диапазон допустимых изменений интенсивности отказов, соответствующий его предельному состоянию, и диапазон допустимых значений предельной наработки при пессимистическом и оптимистическом прогнозе для КВОИ.

3. Использование предложенной структуры взаимосвязанных характеристик ресурсоспособности КВОИ и совокупности специализированных матриц для анализа взаимовлияния определяющих РХ на его РС позволяет систематизировать показатели ресурсоспособности КВОИ и теоретически обосновать создание принципов их стандартизации.

4. Применение разработанной модели динамики состояний ресурсоспособности КВОИ, учитывающей влияние определяющих причин отказов КВОИ на его РС, позволяет получить аналитические зависимости для вычисления времени попадания КВОИ в предельное состояние и теоретического обоснования принципов стандартизации показателей ресурсоспособности КВОИ.

5. Формализация процесса аналитического обратного прогнозирования времени предельного состояния КВОИ позволяет получить аналитические выражения для оценивания определяющих показателей РС и предложить семейства кривых и алгоритм для их нормирования и определения допустимых изменений ВПС.

Глава 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЦЕНИВАНИЯ РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КВОИ

Под продлением срока эксплуатации оборудования понимают проведение комплекса организационно-технических работ, которые включают научное обоснование возможности продления эксплуатации оборудования КВОИ за пределами первоначально установленных в технических условиях либо других нормативных документах, значений срока службы; разработку и реализацию мероприятий, обеспечивающих надежную эксплуатацию этого оборудования в течение вновь назначаемого срока службы.

Рассмотренные в главе 2 условия недостаточности и неопределенности исходной информации о надежности и долговечности оборудования ОКП, которое является уникальным и высоконадежным, обосновывают необходимость применения как параметрических и непараметрических критериев, так и комплексного подхода с использованием теории нечетких множеств и экспертных методов принятия решений. Для разработки и применения экспертных методов [112] необходимо исследование и построение комплекса моделей предметной области. В данной главе рассматривается построение инфологической модели (ИЛМ) предметной области для оценивания РХ и показателей РС оборудования КВОИ. На основе полученной ИЛМ возможно выявить из множества факторов те, которые в большей степени влияют на РХ и РС оборудования КВОИ, и применить метод экспертной оценки РХ и показателей РС объектов ОКП с использованием нечетких множеств.

Достоверность результатов экспертного оценивания в значительной степени зависит от компетентности экспертов. Для разработки методов нормирования компетентности экспертов предлагается провести систематизацию экспертных знаний в области РС объектов ОКП с использованием подходов инженерии знаний. Степень адекватности ИЛМ предметной области (модель с необходимой полнотой и точностью всех свойств объекта, существенных для целей данного исследования) также зависит от компетентности ее разработчика, его способности выявить необходимые сущности предметной области и связи между ними. Математическая интерпретация уровней структурной модели знаний экспертов о РС оборудования АЭС в виде системы гомоморфизмов является обоснованием ИЛМ, что позволяет выделить уровни компетентности экспертов для их дальнейшего нормирования [93, 158].

3.1. Модели долговечности оборудования КВОИ

Разработкой моделей и методов решения практических задач долговечности занимались отечественные и зарубежные ученые М.А. Ястребецкий [2], Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев [36], В.А. Острейковский [45], А.В. Антонов [65], Ф. Байхельт [3] и др. [78].

В терминах функций интенсивности отказов в теории надежности построено большинство классических моделей. Функция

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{Q(t)} = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad t \geq 0$$

называется интенсивностью отказов, где $f(t)$ – плотность вероятности для наработки на отказ X ; X – случайная величина $X \in [0; \infty)$; $Q(t) = P\{X \leq t\}$ – функция распределения X ; $P(t)$ – вероятность безотказной работы.

Примерами параметрических моделей являются экспоненциальная модель, в которой отсутствуют процессы старения, износа и деградации, модели Гомперца и Макегама, модель Вейбулла, модель γ -распределения [36]. Приведенные модели распределений хорошо изучены. В теории надежности находят также применение и другие виды распределений – усеченное нормальное, логарифмическое нормальное, Рэлея и т.д.

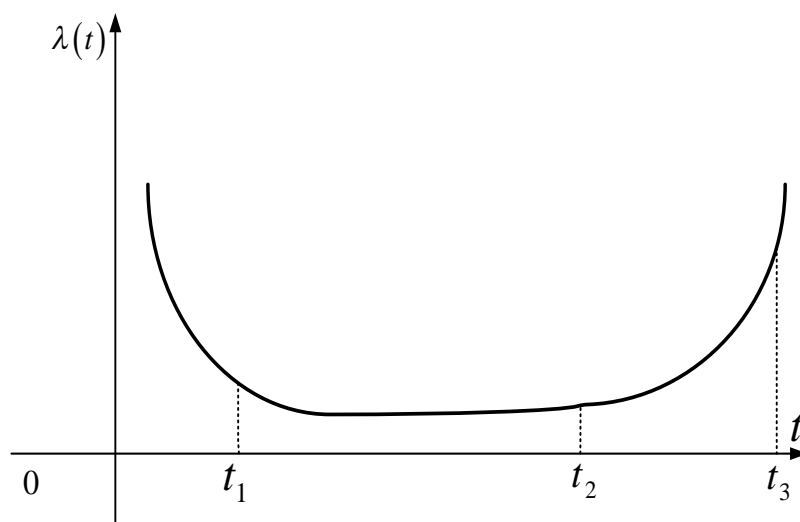


Рис. 3.1. Зависимость интенсивности отказов от продолжительности эксплуатации КВОИ, где $0-t_1$ – период приработки, t_1-t_2 – период нормальной эксплуатации, t_2-t_3 – период интенсивного износа и старения

Недостаток параметрических законов состоит в том, что они описывают либо убывающую ветвь интенсивности отказов (период приработки), либо возрастающую (период интенсивного износа и старения), либо постоянную часть отрезка (период нормальной эксплуатации) (рис. 3.1) [45, 65].

В теории надежности, как правило, используют информацию о моментах отказов, чтобы получить статистические выводы о надежности КВОИ. Однако вполне допустима информация об условиях эксплуатации КВОИ в период их контроля, наладки и запуска в различных условиях. Эта дополнительная информация о скорости износа, степени усталости и уровне деградации компонентов КВОИ и его самого в любой момент представляет собой реализацию некоторых процессов, зависящих от условий эксплуатации КВОИ и оказывающих влияние на интенсивность появления отказов [65, 113]. Деградационные модели позволяют связать данные о КВОИ с данными об их деградации, износе, усталости и старении во времени [114].

В табл. 3.1 приведены результаты анализа существующих нормативных документов по оценке показателей надежности оборудования АЭС, используемые в них модели и методы расчета. Материалы табл. 3.1 подтверждают применение только параметрических моделей применительно, например, к КВОИ, для исследования и оценивания РХ и показателей надежности. Поэтому представляется целесообразным использовать эксплуатационные данные АЭС для оценки РХ и показателей РС оборудования КВОИ.

Рассмотрим результаты анализа дефектов оборудования с точки зрения влияния их на безопасность энергоблоков АЭС, проводимого в соответствии с нормативными документами, регламентирующими порядок их учета и расследования [115]. В качестве источника информации можно использовать базу данных «Caesar» и обобщенные отчеты по надежности оборудования АЭС [40].

Анализ распределения дефектов оборудования Ровенской, Запорожской, Южно-Украинской, Хмельницкой АЭС показал (рис. 3.2), что по ряду оборудования практически отсутствуют зафиксированные дефекты и отказы [40]. При этом сравнительные статистические данные по дефектам аппаратуры на примере СВРК представлены в табл. 3.2.

Модели и методы расчета показателей надежности в нормативной документации

Типовая методика оценки технического состояния, показателей надежности и остаточного ресурса для различных групп электротехнического оборудования АЭС: МТ-Т.0.03.195-09						
Тип оборудования	Модели	Методы расчета				
Невосстанавливаемое	Вероятностно-физическая Вид распределения выбирается как случайный процесс с независимыми приращениями (ДСТУ 2862-94, раздел 6, табл. Г1)	Определение тренда параметра потока отказов – Методика МТ-Т 008.168-05				
		<i>Монотонное изменение параметров:</i>				
		средняя наработка до отказа $T_{cp} = \frac{(\Pi_o - \Pi)}{a} \left(1 + \frac{v^2}{2}\right)$	γ -процентная наработка до отказа $T_\gamma = \frac{(\Pi_o - \Pi)}{a} \left(1 + \frac{v^2 u_\gamma^2}{2} - v u_\gamma \sqrt{1 + \frac{v^2 u_\gamma^2}{4}}\right)$	вероятность безотказной работы $P(t) = \Phi \left[\frac{(\Pi_o - \Pi) - at}{v \sqrt{at(\Pi_o - \Pi)}} \right]$		
		<i>Немонотонное изменение параметров:</i>				
		$T_{cp} = \frac{(\Pi - \Pi_o)}{a} \quad T_\gamma = \frac{(\Pi - \Pi_o)}{a} \chi \left(1 - \frac{\gamma}{100} v\right)$				
		<i>Статистические параметрические методы:</i>				
		$P(t) = \Phi \left[\frac{(\Pi - \Pi_o) - at}{v \sqrt{at(\Pi - \Pi_o)}} \right] - \ell^{2/v^3} \Phi \left[\frac{(\Pi - \Pi_o) + at}{v \sqrt{at(\Pi - \Pi_o)}} \right]$				
Восстанавливаемое	Вероятностная Вид распределения: экспоненциальное.	ДСТУ 3004-95				
		вероятность безотказной работы за время t $P(t) = e^{-\lambda t}$	наработка на отказ; интенсивность отказов $T_{cp} = \frac{1}{\lambda}; \lambda = \frac{d}{Nt}$	γ -процентная наработка $T_\gamma = \frac{1}{\lambda} \left(-\ln \frac{\gamma}{100}\right)$	коэффициент готовности $K_\Gamma = \frac{T_o}{T_o - T_e}$	параметр потока отказов (тренд) $\omega(t) = \frac{d}{t}$

Методика статистического анализа данных оборудования информационных и управляющих систем, электрооборудования и электроприводов арматуры по выявлению тренда потока отказов во времени для определения возможности продления срока эксплуатации: МТ-Т.0.08. 168-05.			
Тип оборудо- вания	Модели	Методы расчета	
	Вероятностная Вид распределения: произвольное	Статистические методы (число отказов не менее 20), срок наблюдения от 3 месяцев. Проверка тренда параметра потока отказов проводится методом проверки статистической гипотезы о том, что $\omega(t) = const$ по критерию инверсий.	
Методика расчета показателей надежности приводов трубопроводной арматуры: МТ-Т.0.08.117-05			
Тип оборудо- вания	Модели	Методы расчета	
восстанавли- ваемое СВБ 2 и 3 класса	Вероятностная Вид распределения: диффузионно- монотонное, нор- мальное	Показатель надежности	
		Вероятность безотказной работы за наработку t	Средняя наработка до отказа (на отказ), средний ресурс (срок службы)
		где $\Phi(t)$ – функция нормального распределения; μ и ν – параметры DM-распределения; t – значение наработки между отказами.	

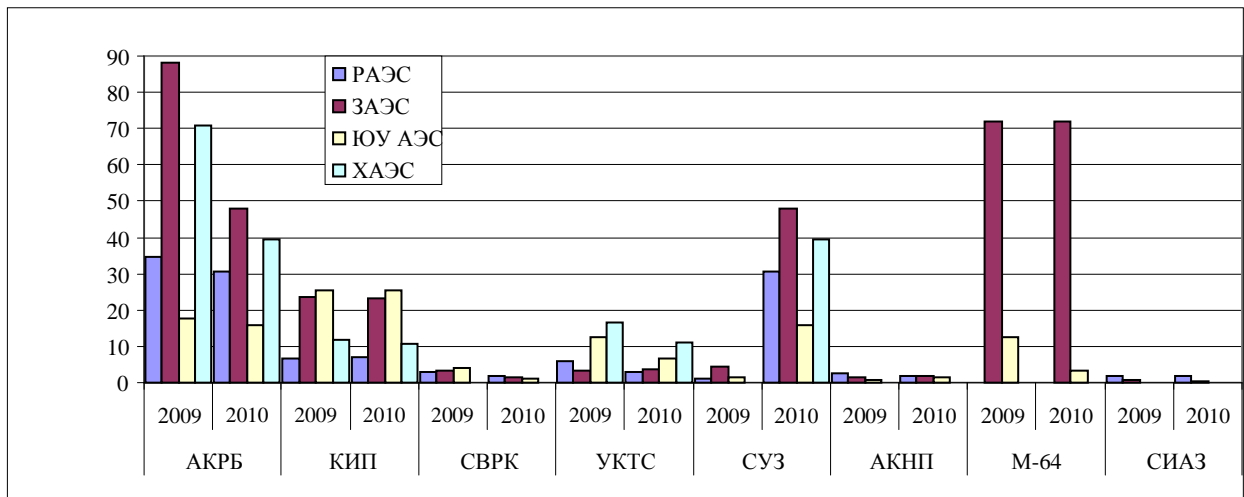


Рис. 3.2. Диаграмма распределения дефектов по видам оборудования АЭС

Необходимо отметить, что такие КВОИ, как оборудование энергоблоков АЭС, за весь период эксплуатации отказывают редко либо не отказывают вовсе, что затрудняет определение РХ с помощью вероятностных моделей и статистических методов. При прогнозировании РХ и показателей ресурсоспособности КВОИ необходимо учитывать наличие технического обслуживания и ремонтов, оптимальная схема которых позволяет свести к минимуму вероятность возникновения отказов.

Проблему формирования исходной информации для проведения расчетов перечисленными в табл. 3.1 методами усложняют такие факторы, как малая статистика данных об отказах, а также то, что в большинстве случаев исследователю не известны точные наработки до отказа элементов, а имеется лишь информация о количествах отказов на некотором интервале времени для совокупности КВОИ.

Механические элементы, такие как оборудование и трубопроводы АЭС, являются, как правило, мелкосерийными изделиями. Их разрушение при эксплуатации является редким событием, поэтому получить характеристики их надежности из эксплуатационных данных в большинстве случаев сложно [1]. Провести стендовые испытания с адекватным моделированием эксплуатационных условий (как для электронных систем, состоящих из большого числа элементов, надежность которых известна из стендовых испытаний) также невозможно. Поэтому для получения оценок РХ механического оборудования АЭС необходимо изучение процессов повреждения, старения, деградации и построение физических моделей [73, 97, 114, 116, 117], а также использование компьютерного моделирования и применение математического аппарата нечетких множеств [118, 119].

Т а б л и ц а 3.2

Распределение дефектов аппаратуры СВРК по внешним проявлениям дефектов

Ровенская АЭС									
№ блока	Невыполнение функций			Отклонение параметров			Всего		
Год	2007	2008	Изм., %	2007	2008	Изм., %	2007	2008	Изм., %
Бл.1	3	0	-100	0	2	100	3	2	-33,33
Бл.2	3	0	-100	2	5	150	5	5	0
Бл.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бл.4	0	0	0	4	0	-100	4	0	-100
Всего	6	0	-100	6	7	16,67	12	7	-41,67
Ср. на бл.	3	0	-100	0	2	16,67	3	2	41,67
Южно-Украинская АЭС									
№ блока	Невыполнение функций			Отклонение параметров			Всего		
Год	2007	2008	Изм., %	2007	2008	Изм., %	2007	2008	Изм., %
Бл.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бл.2	1	0	-100	15	5	-66,67	16	5	-68,75
Бл.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	1	0	-100	15	5	-66,67	16	5	-68,75
Ср. на бл.	0,33	0	-100	5	1,67	-66,67	5,33	1,67	-68,75
Запорожская АЭС									
№ блока	Невыполнение функций			Отклонение параметров			Всего		
Год	2007	2008	Изм., %	2007	2008	Изм., %	2007	2008	Изм., %
Бл.1	0	1	100	4	3	-25	4	5	25
Бл.2	1	1	0	16	3	-81,25	20	5	-75
Бл.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бл.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бл.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Бл.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	1	2	100	20	6	-70	24	10	-58,33
Ср. на бл.	0,14	0,29	100	2,86	0,86	-70	3,43	1,43	-58,33

3.2. Исследование процесса оценивания ресурсоспособности оборудования энергоблоков АЭС

Оценка РХ представляет первоочередную важность для ряда компонентов, систем и конструкций АЭС (далее называемых компонентами атомной станции) в силу их высокой стоимости или сложности замены. Разработка и верификация прогнозных моделей РХ этих основных компонентов АЭС является предметом настоящего этапа менеджмента старения.

Знание соответствующих механизмов и эффектов старения, интенсивности их изменения являются важной входной информацией для разработки прогнозных моделей РХ [113]. Модели должны устанавливать соответствия между количественными значениями индикаторов состояния компонентов и их функциональными параметрами, состоянием безопасности и ожидаемыми значениями РХ, одной из которых является ОР. Эти соответствия установлены недостаточно четко, и, следовательно, технология прогнозирования РХ разработана недостаточно полно.

Процесс оценивания РХ должен включать:

- компиляцию используемых в настоящее время методов и оценку их применимости;
- испытание и контроль естественно стареющих компонентов и сравнение их результатов с прогнозированием показателей ресурсоспособности на основании фактической истории эксплуатации (наследственности).

Дополнительно учитывается информация о конструкции, необходимых запасах безопасности, существенных механизмах деградации и фактическом состоянии компонента [1]. При определении ОР должно учитываться штатное техническое и ремонтное обслуживание, испытание и калибровка, равно как и эксплуатационные нагрузки, так как они являются частью нормальных эксплуатационных состояний.

Оценка ухудшения показателей РС оборудования ОКП в связи со старением и эффективное моделирование механизмов старения остаются одними из наиболее сложных вопросов аттестации оборудования и в связи со сложностью процессов старения предусматривают экспертную оценку [1]. Следовательно, ОР должен рассматриваться только как оценка с большой долей неопределенности. В этом смысле ОР должен быть предметом периодического анализа и переоценки, учитывающих фактические условия эксплуатации, физическое состояние, историю эксплуатации и технического обслуживания оборудования ОКП [1].

Применяемые в настоящее время аналитические модели и критерии не являются достаточными для оценки ОР основных компонентов и конструкций ОКП. Существуют процессы деградации в материалах и компонентах, которые, оставшись незамеченными (например, при некачественном техническом обслуживании компонентов и/или в случае их незамены), могут влиять на срок эксплуатации компонента [83]. В некоторых случаях сложно или невозможно определить действительное техническое состояние конкретного оборудования ОКП, например, для энергоблока АЭС (детали в бетоне, фундаменты зданий и сооружений, подземные коммуникации и др.). Поэтому необходима разработка дополнительных научно обоснованных критериев, доказательств и новых методов оценки РХ с применением нечетких математических моделей [119].

Процедура продления срока эксплуатации оборудования ОКП содержит работы по определению технического состояния оборудования, восстановлению его ресурса, оценке ресурсных характеристик [83]. Для назначения срока службы оборудованию КВОИ, показатели долговечности которого не определены в технической документации завода-изготовителя, могут быть применимы процедуры, предусмотренные, например, в нормативной документации для АЭС (табл. 3.3) [12, 13].

Продление срока эксплуатации:

– информационных и управляющих систем и электротехнического оборудования (ЭТО) АЭС, у которых истекает срок службы, осуществляется в соответствии с требованиями нормативной документации, действующей на АЭС [12];

– электротехнического оборудования, важного для безопасности, для которого на АЭС определена процедура технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), разрешается выполнять по результатам капитального ремонта [18];

– тепломеханического оборудования выполняется по результатам капитального ремонта [24];

– выемных частей разборной и неразборной арматуры выполняется по результатам технического обслуживания и капитального ремонта [25];

– электроприводов арматуры СВБ проводят на основании среднего или капитального ремонта, при этом ремонт электропривода и арматуры проводится совместно;

– устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации проводят по результатам профилактического восстановления [83].

**Нормативная документация по продлению ресурса оборудования
энергоблоков АЭС**

1	ДСТУ 2389-94	Техническое диагностирование и контроль технического состояния. Термины и определения
2	ДСТУ 2860-94	Надежность в технике. Термины и определения
3	ДСТУ 3004-95	Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным
4	ДСТУ 3433-96	Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения
5	ДСТУ 3942-2000	Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 2. Диффузионное распределение
6	ГОСТ 2.602-95	ЕСКД. Ремонтные документы
7	ГОСТ 18322-78	Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения
8	ГОСТ 28195-89	Оценка качества программных средств. Общие положения
9	НП 306.2.141-2008	Загальні положення безпеки атомних станцій
10	НП 306.2.145-2008	Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском
11	НП.306.5.02/2.068-2003	Вимоги до порядку та змісту робіт для продовження терміну експлуатації інформаційних та керуючих систем, важливих для безпеки атомних електростанцій
12	ПНАЭ Г-7-008-89	Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок
13	НПАОП 40.1-1.01-97	Правила безпечної експлуатації електроустановок. Друге видання – в редакції 2000 р.
14	НПАОП 0.00-1.01-07	Правила устройства безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов
15	ГКД 34.35.604-96	Техническое обслуживание устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110...750 кВ. Правила
16	СОУ-Н ЯЕК 1.010:2008	Правила організації технічного обслуговування і ремонту систем та обладнання атомних електростанцій. Основні положення
17	СТП 0.06.026-2003	Управление поставками продукции. Оценка поставщиков
18	ПМ-Д.0.08.222-06	Типовая программа по управлению старением элементов энергоблока АЭС

19	ПЛ-Д.0.06.001-04	Положение о работе с производственной документацией
20	МТ-Т.0.08.117-05	Методика расчета показателей надежности приводов трубопроводной арматуры
21.	МТ-Т.0.03.195-09	Типовая методика оценки технического состояния, показателей надежности и ОР для различных групп электротехнического оборудования АЭС
22.	МТ-Т.0.08.168-05	Методика статистического анализа данных оборудования информационных и управляющих систем, электрооборудования и электроприводов арматуры по выявлению тренда потока отказов во времени для определения возможности продления срока эксплуатации.

Однако в рассмотренных нормативных документах для АЭС применяются статистические методы и вероятностные модели, но отсутствуют методики определения РХ при отсутствии или ограниченной информации об отказах [40]. Согласно существующей нормативной документации, например, для АЭС Украины не производится первоначальная и последующая оценка показателей РС оборудования, а производится планирование процессов восстановления оборудования и калькуляция затрат на эти процессы. Для разработки нормативной документации по оценке показателей РС и РХ оборудования ОКП целесообразно разработать модель процесса оценивания и анализа показателей РС оборудования и подход к оцениванию РХ уникального высоконадежного оборудования ОКП по эксплуатационным данным с использованием математического аппарата нечетких множеств [119].

Показатели надежности оборудования ОКП являются критериями оценки при принятии решения о продлении срока эксплуатации оборудования. Процедура проведения работ по продлению срока эксплуатации оборудования ОКП предусматривает проведение анализа показателей надежности по эксплуатационным данным с использованием соответствующих статистических методов [65]. Анализ показателей надежности исследуемых КВОИ должен содержать [28, 115]:

- определение изменения надежности во времени (тренда параметра потока отказов) в целях выявления тенденции к снижению надежности;
- определение статических оценок показателей надежности оборудования, его составных частей и анализ их соответствия установленным в технической документации значениям;
- анализ причин отказов с учетом их группирования;
- анализ влияния отказов оборудования на нарушения в работе КВОИ;

- разработку рекомендаций в части мер, компенсирующих выявленное снижение надежности;
- оценку РХ и показателей РС оборудования КВОИ;
- оценку возможности, условий и срока продления эксплуатации КВОИ;
- применяемые методики проведения анализа, разработанные с учетом требований действующих стандартов и нормативных документов [120, 121];
- используемые источники получения исходных данных для проведения анализа показателей надежности [115, 122, 123].

Таким образом, оценка показателей РС является одним из этапов анализа надежности оборудования ОКП и обоснованием для принятия решения о продлении его срока эксплуатации.

3.3. Инфолингвистическое моделирование предметной области для оценивания ресурсоспособности технических средств физической защиты ядерных объектов

Очевидно, что комплексная ресурсная характеристика X является функцией характеристик-аргументов $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ – эксплуатационных данных (в т.ч. индикаторов состояния оборудования КВОИ):

$$X = \psi(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n). \quad (3.1)$$

Для различных видов оборудования набор характеристик-аргументов будет отличаться. Определить эту функциональную связь вряд ли является возможным, возможно лишь определить характер изменения комплексной ресурсной характеристики X в зависимости от изменения некоторого аргумента и степень ее влияния на X .

Поэтому предлагается представлять X в виде лингвистической переменной (ЛП), что позволяет разработать усовершенствованные экспертные методы оценки РХ оборудования КВОИ, основанные на нечетких математических моделях (см. рис. 3.3) [119, 124, 156].

Предлагаемый подход заключается в следующем [136]:

1. Задается лингвистическая переменная «РХ» (все ее термы и их функции принадлежности (ФП)).
2. Определяются с помощью инфолингвистического моделирования все характеристики-аргументы, оказывающие существенное влияние на «РХ».
3. Задаются в виде n -термов и их ФП характеристик-аргументов, $i = \overline{1, m}$.
4. Определяются коэффициенты приоритетности характеристик-аргументов $k_i, i = \overline{1, m}$.

5. Путем исследования оборудования КВОИ и учета статистических данных определяются значения всех характеристик-аргументов с учетом различной степени компетентности экспертов.

6. Производится определение значений ФП $\mu_{ij} \left(x_i \right)$, $j = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, m}$.

7. Рассчитывается с использованием формулы (3.1) и учетом различной степени компетентности экспертов значение X .

8. По найденному значению X и функциям принадлежности ЛП «РХ» делается оценка принадлежности «РХ» определенному терму и соответствующему значению ФП).

Пункты 1 – 4 данного метода выполняются предварительно и могут соответствовать различным временным интервалам, пункты 5 – 8 выполняются непосредственно при оценке эффективности реализации стратегии исследуемого оборудования в конкретные временные интервалы.

Ресурсная характеристика оборудования представляется в виде ЛП, в том смысле, как эта переменная определена в теории нечетких множеств [63, 119]. Для задания ФП может быть использована следующая процедура экспертного опроса. Если на вопрос о принадлежности X_i к нечеткому

множеству A L_1 экспертов из L отвечает положительно, то $\mu_A(x) = \frac{L_1}{L}$. При

прямых методах можно использовать и статистические данные наблюдения за объектом исследования. На основе статистических данных строится гистограмма той или иной точно не известной величины, которая и используется для задания ФП [63, 119]. Косвенные методы определения ФП используются в тех случаях, когда отсутствуют очевидные измерения свойств КВОИ. При этом значения ФП должны удовлетворять заранее сформулированным условиям, а экспертные оценки являются исходными для их дальнейшей обработки.

С точки зрения структурно-функционального анализа поле знаний экспертов об объектах предметной области можно стратифицировать, то есть рассматривать на различных уровнях абстракции понятий, учитывая, что страта – термин, который характеризует уровень описания или абстрагирования [127]. Иерархическая структура объекта исследования, соответствующая понятию страта, предполагает, что свойства реального ОКП описаны в форме некоторой совокупности, в которой отдельные описания приведены с различных точек зрения и упорядочены по уровню их значимости. То есть поле знаний U представляет собой стратифицированную иерархическую систему. В структурной модели знаний экспертов об объектах предметной области каждый следующий уровень служит для восхождения на новую ступень обобщения и углубления знаний в предметной области. Таким образом, возможно наличие нескольких уровней понятийной структуры S_k . Представляется целесообразным связать их с уровнем

конкурентных преимуществ экспертов [125, 126] – компетентностью, профессиональным опытом. Естественно, что и стратегии принятия решений о продлении срока эксплуатации оборудования ОКП экспертами, то есть функциональные структуры S_f на различных уровнях будут существенно отличаться.

Если рассмотреть математическую интерпретацию уровней U_i структурной модели знаний экспертов о РС оборудования КВОИ $U = (U_1, U_2, U_3, \dots, U_n)$, то наиболее прозрачным является понятие гомоморфизма – отображения некоторой системы E , сохраняющего основные операции и основные отношения этой системы [125].

Пусть

$$E = (E_1, (o_i : i \in I), (r_j : j \in J)) \quad (3.2)$$

- некоторая система с основными операциями $o_i, i \in I$ и основными отношениями $r_j, j \in J$. Гомоморфизмом системы E в однотипную ей систему E'

$$E' = (E'_1, (o'_i : i \in I), (r'_j : j \in J)) \quad (3.3)$$

называется отображение $\Phi: E \rightarrow E'$, удовлетворяющее следующим двум условиям:

$$\Phi(o_i, (e_1, \dots, e_m)) = o'_i(\Phi(e_1), \dots, \Phi(e_m)); \quad (3.4)$$

$$(e_1, \dots, e_m) \in r_j \rightarrow (\Phi(e_1), \dots, \Phi(e_m)) \in r'_j \quad (3.5)$$

для всех элементов e_1, \dots, e_m из E и всех $i \in I, j \in J$.

Согласно введенным обозначениям, уровни структурной модели знаний экспертов есть гомоморфизмы моделей предметной области

$$\Phi: M \Rightarrow M', \quad (3.6)$$

где $M = (A, R, S); M' = (A', R', S')$, A' – мета-понятия, или понятие более высокого уровня абстракции; R' – мета-отношения; S' – мета-стратегии принятия решений (о прогнозировании и РХ, и показателей РС оборудования энергоблоков АЭС). Так, для предметной области оценивания РС и РХ оборудования КВОИ понятиями являются сущности ИЛМ предметной области (рис. 3.3) – отказ, РС, экземпляр оборудования и др., отношениями – связи ИЛМ, стратегиями – методы экспертного оценивания РХ [125].

Восходя по ступеням структурной модели, получаем систему гомоморфизмов. Уровни структурной модели знаний экспертов о РС оборудования $U = (U_1, U_2, U_3, \dots, U_n)$ соответствуют уровням компетентности экспертов в данной предметной области. Гомоморфный образ есть неполное, приближенное отображение структуры оригинала. Чем выше уровень компетентности эксперта, тем более полное отображение поля знаний в виде адекватных моделей он может представить, например, при построении ИЛМ предметной области. Понятие гомоморфизма является фундаментальным теоретическим обоснованием моделирования, в том числе и инфологического. Сходство модели с оригиналом всегда неполное.

Как известно, при определении факторов, влияющих на качество продукции, услуг, при определении показателей качества, построении причинно-следственных диаграмм возникают трудности, связанные с необходимостью использования узко-специализированных знаний в предметной области, которыми недостаточно глубоко владеет специалист по качеству, а специалисты предметной области не в состоянии подобрать и применить необходимый инструментарий для решения проблем в области качества, стандартизации. Предлагается в качестве дополнительного инструментария использовать инфологическую модель (ИЛМ) предметной области и существующие на предприятии базы данных и знаний для решения задач по качеству и стандартизации.

Рассмотрим вопросы ресурсоспособности и продление срока эксплуатации на примере технических средств охраны (ТСО) КВОИ. СФЗ каждого объекта охраны является уникальной. Согласно [119] для получения зависимости для определения РХ ОР необходимо определить нечеткое множество всех характеристик-аргументов (в т.ч. индикаторов состояния объекта) $\{(Y_1, \mu_1), (Y_2, \mu_2), (Y_3, \mu_3) \dots (Y_n, \mu_n)\}$, влияющие на значение ОР.

Для этого необходимо провести тщательное изучение предметной области и построить ее инфологическую модель, включающую сущности предметной области, ее атрибуты и связи между ними. В этой работе критерием отбора элементов модели является участие элемента в процессе оценивания РХ ТСО, его влияние на значение РХ.

Таким образом, цель инфологического моделирования предметной области для оценки РХ ТСО КВОИ – выявить из большого числа факторов, действующих на оборудование те, что в большей степени влияют на РХ оборудования и продления срока его эксплуатации.

Предлагается использовать модель "сущность-связь" (ER – модель). Основное назначение модели "сущность-связь" – семантическое описание предметной области и представление информации для обоснования

видов моделей и структур данных, которые в дальнейшем будут использоваться для оценки РХ ТСО. Моделируются объекты предметной области и их взаимоотношения.

На рис. 3.3 представлена разработанная инфологическую модель (ИЛМ) предметной области для оценки показателей долговечности ТСО таких КВОИ как АЭС. Информационная достаточность является одним из основополагающих принципов моделирования.

Неполнота информации, используемой при принятии решения о продлении срока эксплуатации ТСО КВОИ, обусловлена невозможностью получения ее в силу различных причин, некоторые могут быть устранены, другие обусловлены самой природой функционирования объекта [63]. Построение адекватных моделей ПО для оценки показателей долговечности путем инфологического моделирования повысит качество информации, используемой при принятии решений о продлении срока эксплуатации ТСО и снизит риски принятия ошибочных решений.

Если факторы, которые определяют риск, не описываются характеристиками случайных событий, величин, процессов, то наиболее приемлемым математическим аппаратом для описания неполноты информации, что не имеет случайной природы, является аппарат теории нечетких множеств Л. Заде [63, 189].

Согласно [63, 189], в параметрических моделях изменение показателей надежности происходит непрерывно во времени. Однако определить функциональную зависимость не представляется возможным, предлагается вместо непрерывной зависимости перейти к дискретной оценке РХ с использованием нечетких множеств. Поэтому в дальнейшем необходимо проведение исследований, направленных на оценку РХ с использованием полученной инфологической модели и математического аппарата нечетких множеств.

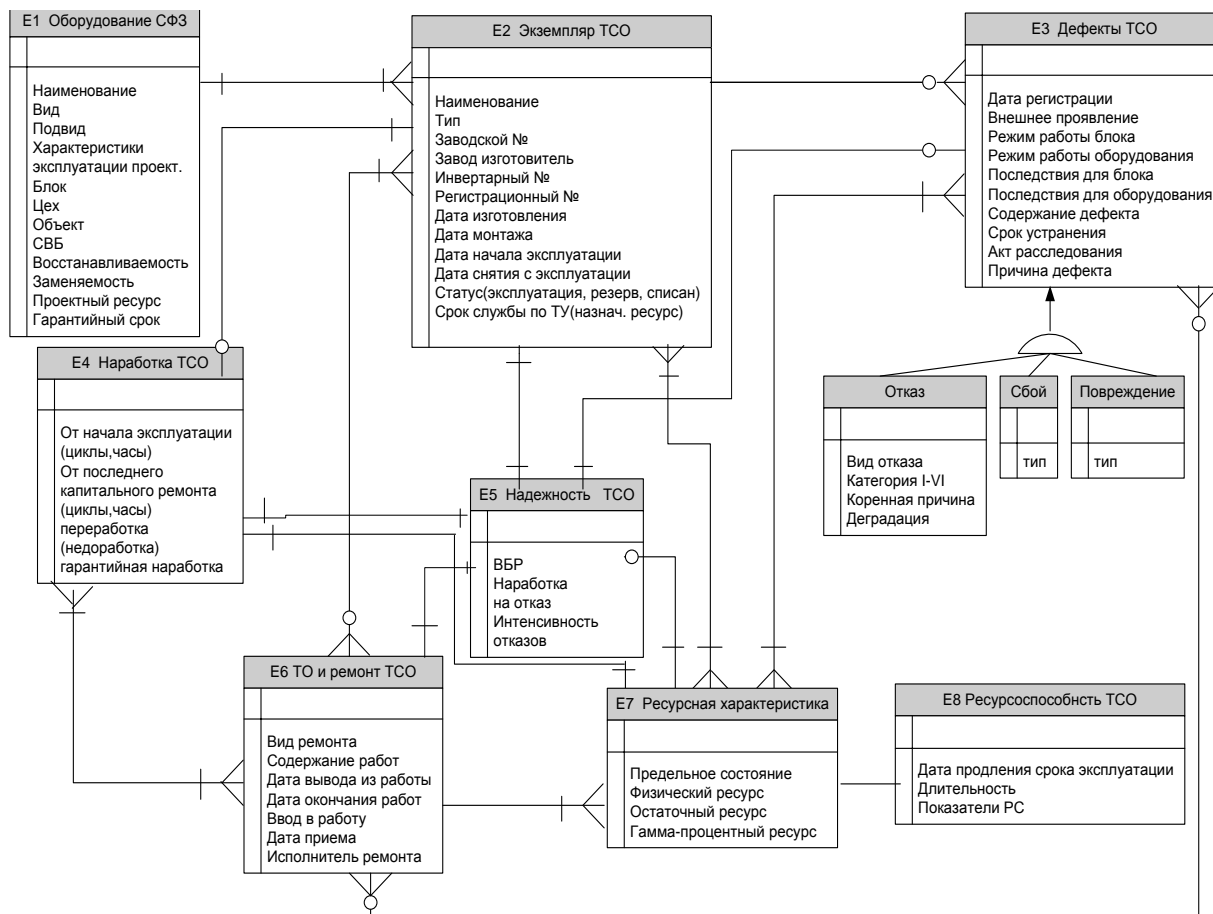


Рис. 3.3 – Инфологическая модель предметной области для учета и оценки показателей надежности ТСО

В процессе построения причинно-следственных диаграмм, выявлении факторов, влияющих на качество продукции и услуг необходимо проводить анализ предметной области, исследование процессов производства, предоставления услуг на предприятии. Целесообразно использовать имеющиеся на предприятии инфологические модели, которые положены в основу созданных на предприятии баз данных, информационных систем для получения знаний о показателях качества процессов, услуг, продукции, и факторов, которые их обуславливают. Предлагается использовать ИЛМ при выявлении факторов, влияющих на показатели качества продукции и услуг предприятия, построении причинно-следственных диаграмм, диаграмм Исикавы. Так, в [136] рассмотрено использование ИЛМ для выявления факторов, влияющих на ресурсоспособность и РХ. Рассмотрим применение разработанной ИЛМ для выявления факторов, влияющих на долговечность ТСО КВОИ. Для выявления факторов будем применять метод, предложенный в [119].

Определим факторы, влияющие на долговечность ТСО. Факторы долговечности – аспекты эксплуатации ТСО, влияние которых необходимо рассмотреть при проведении оценки показателей долговечности с учетом их степени значимости. Факторами, влияющими на долговечность ТСО КВОИ являются:

- техническое состояние элементов и систем (проектное и текущее),
- внутренние и внешние события в результате чрезвычайных ситуаций,
- режимы нормальной эксплуатации,
- переходные процессы,
- нарушение нормальной эксплуатации,
- проектные и запроектные аварии,
- тенденции изменения факторов производства,
- данные радиологического контроля,
- управленческие и организационные факторы,
- человеческие факторы,
- наличие и соответствие требованиям нормативных документов эксплуатационной документации и др.

На сегодняшний день в нормативной базе и научной литературе не определен диапазон значений ресурсоспособности объектов [17, 235]. Предлагается считать ресурсоспособность безразмерной величиной, которая принимает значения от 0 до 1. Будем считать, что в момент начала эксплуатации значение ресурсоспособности равным 1, в момент наступления предельного состояния значение ресурсоспособности равным 0. Неиспособное ТСО является ресурсоспособным, если существуют процессы восстановления, в результате которых ТСО может перейти в работоспособное состояние. На сегодняшний день процессы восстановления планируются без должной комплексной оценки ресурсоспособности оборудования. Предлагается рассчитывать стоимость процессов восстановления в качестве одного из показателей ресурсоспособности, а также экономический эффект от продления срока эксплуатации ТСО.

3.4. Определение факторов, существенно влияющих на ресурсные характеристики и ресурсоспособность оборудования

Формирование множества характеристик-аргументов, оказывающих влияние на РХ в формуле (3.1) с использованием ИЛМ предметной области, предлагается выполнять следующим образом. Поскольку ИЛМ предметной области представлена в виде сущностей, которые в качестве атрибутов могут иметь объекты, то характеристики-аргументы иерархически связаны между собой. Для формирования нечеткого множества всех частных характеристик

$$Y = \{(Y_1, \mu_1), (Y_2, \mu_2), (Y_3, \mu_3), \dots, (Y_n, \mu_n)\}, \quad (3.7)$$

влияющих на значение РХ (например, ОР), можно применить иерархическую экспертизу, в связи с чем введем процедуру экспертного оценивания \mathcal{E} [135]. Пусть Ω – множество допустимых характеристик-аргументов ИЛМ. N независимым экспертам предоставляется множество характеристик-аргументов ИЛМ Ω и коэффициенты приемлемости μ_i . Для задания коэффициентов приемлемости применим следующую процедуру экспертного опроса [136, 235]. Если на вопрос о принадлежности Y_i к множеству Ω L экспертов из N отвечает положительно, то $\mu_i(x) = \frac{L}{N}$. Формируем искомое множество характеристик-аргументов Ω^* , включив в него те характеристики-аргументы, для которых $\mu_i > \mu$, где μ – заранее заданная пороговая величина [136, 235].

Пусть дано: E_1, \dots, E_j – элементы-сущности ИЛМ; элемент E_r имеет атрибуты S_{r1}, \dots, S_{rn} , ($r = \overline{1, j}$).

Метод выбора характеристик-аргументов, оказывающих существенное влияние на РХ, реализуется следующей последовательностью шагов:

1. Найти множество характеристик-аргументов $\Omega_1^1, \dots, \Omega_j^1$ из элементов-сущностей E_1, \dots, E_j ИЛМ, пользуясь обычным алгоритмом формирования конечного множества [136, 235]. Алгоритм основывается на условии, что имеется N независимых экспертов, которым предоставлено множество Ω и заданное граничное значение коэффициента приемлемости μ , определяющее условие допустимости включения альтернативы в множество Ω^* . От каждого эксперта требуется получить некоторое число альтернатив Y_i , ($i = \overline{1, n}$), которые, по его мнению, следует включить в исходное множество альтернатив.

2. Считать, что $\Omega_g = \Omega_1^1 \times \dots \times \Omega_j^1$.

3. Найти множество характеристик-аргументов для Ω_g ИЛМ, используя экспертизу \mathcal{E} , в которой Ω_g – множество возможных характеристик-аргументов (атрибутов каждой сущности E_1, \dots, E_j ИЛМ), Ω^* – искомое множество характеристик-аргументов.

4. Включить в искомое множество характеристик-аргументов Ω^* те характеристики, для которых $\mu_j > \mu$, где μ – заданное пороговое значение коэффициента приемлемости.

Таким образом, можно получить множество характеристик-аргументов, наиболее существенно влияющих на РХ [136].

Достоверность экспертной оценки РХ и показателей РС (а как следствие – безопасность ОКП) зависит от компетентности экспертов в данной предметной области. В работе [126] рассмотрена оценка компетентности экспертов на основе нечеткого отношения преимущества. Существуют современные методы оценки конкурентоспособности персонала [138], учета компетентности экспертов при оценке объектов интеллектуальной собственности [139]. Однако на практике, например в атомной энергетике, отсутствуют и не применяются методики, учитывающие компетентность экспертов, принимающих решение о продлении срока эксплуатации оборудования энергоблоков АЭС, что влияет на достоверность их оценки. Поэтому необходимы системный анализ и классификация знаний экспертов в области РС оборудования, разработка моделей, критериев оценки компетентности экспертов, привлекаемых к принятию решений о продлении сроков эксплуатации оборудования ОКП.

Процессу разработки методик оценки РХ оборудования ОКП предшествует, как правило, системный анализ экспертных знаний в конкретной предметной области. В связи с этим целесообразно применение теории инженерии знаний к оценке ресурсоспособности ОКП [70], и, прежде всего, тех аспектов экспертных знаний [127], учет которых оказывает существенное влияние на разработку моделей и методов оценки РХ оборудования КВОИ и определяет степень компетентности эксперта именно в области оценки РС оборудования КВОИ.

Критериями классификации, применяемыми в инженерии знаний согласно [70, 127], являются концептуальный тип, функциональное назначение и экспрессивность. По функциональному назначению экспертные знания можно разделить на три вида (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Схемы классификации экспертных знаний о ресурсоспособности оборудования ОКП

Первый вид знаний – это декларативные знания. Например, знания о проектных характеристиках, дефектах, отказах оборудования, а также ограничения на параметры и характеристики (область определения, многозначность, временная зависимость, типичное значение для некоторого дефекта). Источником декларативных знаний являются статистические эксплуатационные данные, справочники, стандарты и т.п. Причем информация должна быть актуальной, релевантной, достоверной, полной.

Второй вид знаний – процедурные знания, позволяющие порождать новые знания на основе имеющихся. Большинство этих знаний выражается в виде причинно-следственных знаний типа «Если – то» либо в виде функциональных зависимостей, обеспечивающих нахождение значения параметра в результате использования некоторой формулы. Однако в области оценки РХ оборудования КВОИ для комплексных РХ (например, ОР оборудования) функциональные зависимости (3.1) не установлены. В работах по созданию интеллектуальных систем предлагался подход извлечения процедурных знаний в виде экспертных правил типа «Если – то» путем интервьюирования экспертов [127]. Производительность такого процесса довольно низкая, поэтому функция приобретения процедурных экспертных знаний является одним из главных «узких мест» при разработке методов оценивания РХ оборудования АЭС и отсутствие на сегодняшний день методик оценки РХ, в частности, для уникального высоконадежного оборудования, для которого неприменимы вероятностные и статистические методы в связи с отсутствием отказов и дефектов.

Третий вид знаний эксперта связан с его умением выбирать наиболее перспективные пути поиска решений. Эти знания позволяют эксперту отбрасывать маловероятные, с его точки зрения, гипотезы и подключать к решению задачи наиболее релевантные знания. Они, в отличие от знаний

первого и второго видов, являются метазнаниями и обеспечивают наиболее эффективное использование знаний первого и второго видов. Квалификация эксперта определяется наличием таких знаний.

По экспрессивности знания, на основе которых производится оценка РХ оборудования АЭС, можно классифицировать как поверхностные и глубинные.

Поверхностные знания имеют форму простых эмпирических ассоциаций, иногда приближенного заключения (например, без применения сложных диагностических методов для определения состояния материала оборудования), чтобы идентифицировать состояние экземпляра оборудования и определить необходимый ремонт. Такой подход обоснован для хорошо изученных аспектов предметной области.

Глубинные (каузальные) знания – это знания, существующие в виде различных моделей, категорий и абстракций, которые позволяют отразить взаимосвязь между исходными параметрами (например, между эксплуатационными данными и ОР оборудования КВОИ). Например, ИЛМ предметной области (см. рис. 3.3), графовая модель состояний и переходов полумарковских процессов восстановления оборудования АЭС (см. рис. 2.8).

Таким образом, уровень квалификации и компетентности экспертов определяется наличием не только адекватных, релевантных, актуальных, достоверных декларативных знаний в данной предметной области, но и наличием процедурных, управляющих и каузальных знаний.

Анализ используемых на сегодняшний день методик [17, 70, 125] показал, что для решения задачи оценивания и прогнозирования ОР оборудования КВОИ используются большей частью только декларативные знания, поэтому необходимо получение процедурных и каузальных знаний в виде адекватных моделей, категорий и абстракций, формализация процедурных знаний на основе декларативных знаний и разработка на их основе нормативных документов для оценивания РС и РХ оборудования КВОИ.

Результат проведенного экспертного оценивания РС и РХ оборудования КВОИ зависит от квалификации и компетентности эксперта, что, в конце концов, влияет на степень достоверности данного прогноза. Поэтому значение РХ, предлагаемое экспертом O_e , нужно корректировать обобщенным показателем компетентности эксперта [139 – 141], который можно определить из показателей творческой активности и научной квалификации (табл. 3.5).

Т а б л и ц а 3.5

Значение показателей творческой активности и научной квалификации эксперта

№ п/п	Показатели	Удельный вес показателей
Творческая активность		
1	Публикации	0,15
2	Участие в симпозиумах, конференциях, семинарах (международных, республиканских, отраслевых) институтских)	0,15
3	Наличие изобретений (внедренных, авторских свидетельств, заявок)	0,1
Научная квалификация		
4	Ученая степень	0,08
5	Должность	0,07
6	Стаж работы	0,05
7	<i>Показатели компетентности (высокая, средняя, низкая)</i>	<i>0,25</i>
8	<i>Оценка компетентности эксперта руководством.</i>	<i>0,15</i>

Значение экспертной оценки РХ, скорректированное обобщенным показателем компетентности эксперта, можно представить в виде (3.8):

$$O_e = O_{ec} \cdot a, \quad (3.8)$$

где O_{ec} – значение экспертной оценки РХ; a – обобщенный показатель компетентности эксперта: $a = \sum_{i=1}^8 a_i$, где a_i – значение показателей творческой активности и научной квалификации (см. табл. 3.5).

Разработанная в п. 3.3 структурная модель знаний экспертов о РС оборудования в виде системы гомоморфизмов обосновывает наличие уровней компетентности экспертов. В дальнейшем необходимо провести нормирование уровней компетентности экспертов как наиболее весомого показателя (п. 7, 8 в табл. 3.5).

Следует отметить, что рассмотренные вопросы моделирования для экспертного оценивания РХ оборудования ОКП показывают, что необходимы организация, подготовка и проведение соответствующего обучения экспертов. Такая необходимость отмечалась также в работе [158], где рассматривались предложения по инфологическому моделированию предметной области для оценивания и прогнозирования ресурсоспособности КВОИ, а также квалиметрическому оцениванию экспертных знаний. Поэтому для реализации предложенных моделей необходимы образовательные услуги по специаль-

ностям и специализациям в области оценивания и прогнозирования РХ оборудования КВОИ на всех этапах жизненных циклов КВОИ [142, 143].

В ы в о д ы

1. Разработанная ИЛМ предметной области для оценивания РХ ТСО КВОИ и метод выбора характеристик-аргументов, применяемый при экспертном оценивании РХ с использованием математического аппарата нечеткой логики, позволяют:

- выявить из большого числа характеристик-аргументов те, которые в большей степени влияют на РХ и показатели РС ТСО КВОИ;
- повысить достоверность оценки РХ оборудования КВОИ и эффективность решений по продлению срока эксплуатации ТСО КВОИ.

2. Системный анализ и классификация экспертных знаний о РС оборудования энергоблоков АЭС показали, что для решения задачи оценивания и прогнозирования РХ оборудования энергоблоков АЭС используются большей частью только декларативные знания. Поэтому необходимы применение глубинных знаний в виде адекватных моделей, категорий и абстракций, формализация процедурных знаний и разработка на их основе нормативных документов для оценивания РХ и показателей РС оборудования ОКП.

3. Предложена математическая интерпретация уровней структурной модели знаний экспертов о РС оборудования АЭС в виде системы гомоморфизмов для нормирования компетентности экспертов РХ. Экспертную оценку РХ предложено корректировать показателем компетентности эксперта, который определяется показателями творческой активности и научной квалификации, а также наличием не только декларативных, но и процедурных, управляющих и каузальных знаний.

**ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ
ОБОРУДОВАНИЯ КВОИ**

**4.1 Особенности индивидуального прогнозирования
ресурсоспособности оборудования КВОИ**

Проблема оценки и прогнозирования РС оборудования КВОИ представляет собой чрезвычайно актуальную задачу по обеспечению их высокой надежности и безопасности, которая концептуально должна базироваться на принципе индивидуального ресурса [45].

Для индивидуализации ресурсоспособности оборудования КВОИ можно рассмотреть, учитывая обозначения, принятые на рис. 2.3, динамику временных характеристик $\lambda(t)$, показанную на рис. 4.1 [82].

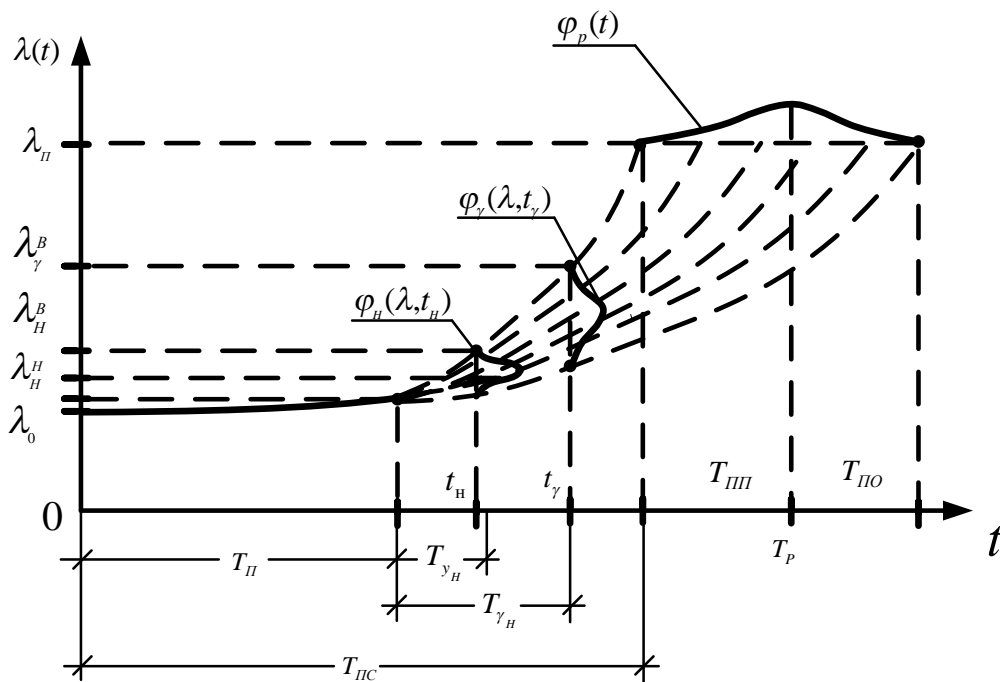


Рис. 4.1. Динамика временных характеристик $\lambda(t)$ при индивидуальном прогнозировании ресурсоспособности КВОИ

На рисунке обозначено:

T_n – интервал предыстории, определяющий минимальный промежуток времени, на котором проявляются закономерности прогнозируемого процесса, что обеспечивает возможность экстраполяции на заданном интервале упреждений T_y ;

T_y – интервал упреждения – это промежуток времени, на который разрабатывается прогноз (в рассматриваемой задаче T_{y_H} и $T_{y_{\gamma_H}}$ для назначенного и гамма-процентного ресурса соответственно);

$T_{ПС}$ – продолжительность безотказного состояния оборудования;

T_P – время «жизни» оборудования, то есть полного ресурса или межремонтного ресурса;

$\varphi_H(\lambda, t_H)$, $\varphi_\gamma(\lambda, t_\gamma)$, $\varphi_P(t)$ – плотности вероятности исследуемого параметра при t_H , t_γ и отказа изделия соответственно.

Сложность проблемы индивидуального прогноза состоит не только в том, чтобы построить модель для конкретной реализации $\lambda(t)$, адекватную прогнозируемому процессу на интервале $T_{П}$, но и в том, чтобы эта адекватность обеспечивалась и на интервале T_y . Известно [83], что любой математический аппарат бессмыслен, если не учитывается физическая сущность прогнозируемого процесса.

Поскольку прогноз всегда осуществляется на основе некоторой предыстории $T_{П}$, то возможность прогнозирования на заданный интервал T_y определяется продолжительностью развития предотказного состояния $T_{ПС}$, которая должна быть не меньше требуемой продолжительности $T_{П}$, то есть $T_{ПС} \geq T_{П}$. Как правило [45], $T_{П} > T_y$, а следовательно, $T_{ПС} > T_y$. Поэтому минимальное время $T_{ПС}$ должно превышать периодичность выдачи результатов прогноза, а максимальное время $T_{ПС}$ должно быть меньше времени «жизни» КВОИ: $T_{ПС} < T_P$.

Поэтому для индивидуального прогнозирования ресурсоспособности оборудования КВОИ необходимо учитывать следующие особенности:

- наличие конструктивных характеристик, определяемых параметрической и функциональной избыточностью, которые индивидуальны для каждого конкретного узла блока, устройства оборудования КВОИ;

- процессы, происходящие в изделии имеют случайный, индивидуальный характер и определяются, прежде всего, параметрическими, деградиционными и ресурсными отказами, имеющими конкретные параметры и динамику предотказных состояний;

- структурное построение оборудования содержит критические функциональные элементы, оказывающие влияние на безопасность КВОИ, а также элементы, в которых процессы расхода параметрической избыточности обладают сильной взаимообусловленностью [79].

Однако на стадии проектирования ОКП прогнозированию подлежит ресурс генеральной совокупности его оборудования, в то время как при эксплуатации прогнозирование ресурса выполняется для конкретного оборудования. При этом определению подлежит ОР, который характеризует

возможную продолжительность эксплуатации данного оборудования от момента контроля до предельного состояния либо до значения, полученного при вероятностном анализе безопасности. Внедрение методов индивидуального прогнозирования показателей РС относится к конкретному, находящемуся в эксплуатации ОКП, и основывается на следующей информации [1, 45, 51]:

- данные текущего (оперативного) поиска, выявление причин дефектов и отказов и их устранения и упреждения;

- данные о внешних воздействиях и других условиях взаимодействия ОКП с окружающей средой, включая диагностическую информацию, которая ограничена по объему и носит косвенный характер (прогнозирование показателей ресурсоспособности ОКП всегда осуществляется в условиях ограниченной информации);

- весь объем априорных данных, который лежит в основе прогнозирования показателей РС на стадии проектирования, относится к генеральной совокупности ОКП, в то время как предметом индивидуального прогнозирования служит вполне определенный представитель из этой совокупности.

Индивидуальное прогнозирование показателей ресурсоспособности основано на решении комплекса задач [51, 83]:

- оценка текущего состояния оборудования ОКП;
- прогнозирование развития этого состояния на ближайшее будущее;
- уточнение оценки индивидуального показателя РС;
- оценивание риска по отношению к опасным изменениям безопасности ОКП.

Поскольку прогнозирование показателей РС относится к конкретному, индивидуальному оборудованию ОКП, а прогноз неизбежно содержит элементы вероятностного характера, то возникает вопрос об использовании вероятностных выводов применительно к индивидуальному оборудованию ОКП и индивидуальным ситуациям. Поэтому понятие индивидуальных показателей РС в конечном счете должно основываться на формализации интуитивных представлений разработчика [83].

Центральный момент индивидуального прогнозирования РХ – это выбор прогнозирующей функции (ПФ), классификация которых показана на рис. 4.2 [79].

Общего математически строгого метода выбора прогнозируемых параметров в настоящее время не существует. Окончательно выяснить возможность прогнозирования РХ оборудования КВОИ можно только после того, как будут определены характер и свойства процессов их изменения по мере обработки и накопления информации при эксплуатации объекта прогнозирования [47, 83].

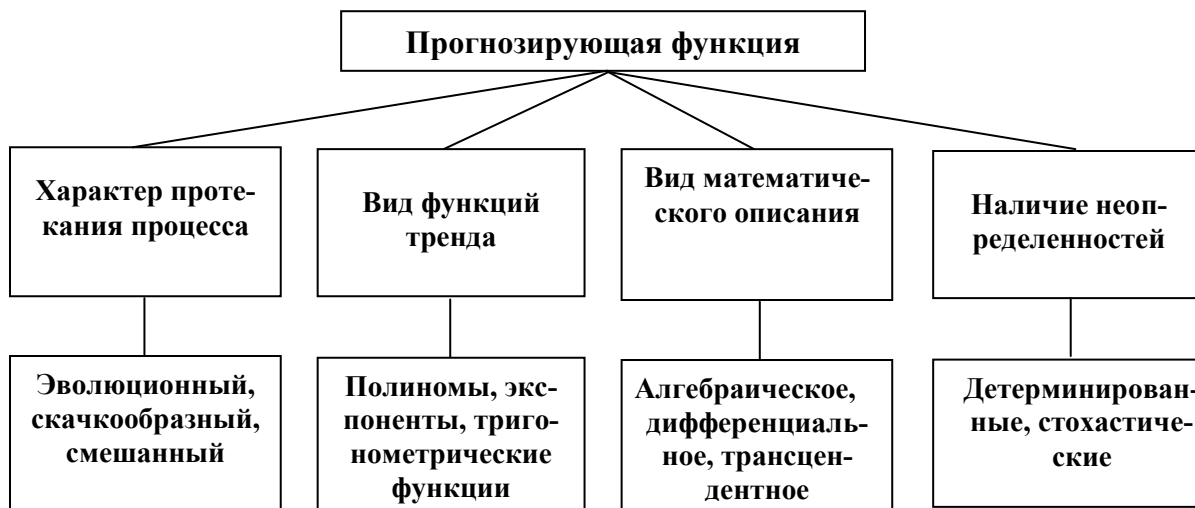


Рис. 4.2. Классификация прогнозирующих функций процессов

При использовании математических методов для индивидуального прогнозирования ресурсоспособности оборудования КВОИ можно работать с динамическими рядами [144]. Для описания динамических зависимостей применяют математические методы, которые различаются глубиной использования априорной информации.

Методы параметрического индивидуального прогнозирования РХ оборудования КВОИ можно классифицировать, выделяя три больших класса: экстраполяцию, моделирование и экспертное оценивание. Для решения задач индивидуального прогнозирования РХ оборудования КВОИ представляют наибольший интерес методы, показанные в табл. 4.1 [79].

Т а б л и ц а 4.1

Классификация распространенных методов индивидуального прогнозирования РС оборудования КВОИ

	Признак классификации	Метод прогнозирования
1	Форма представления количественных результатов	Прогноз: – аналитический; – вероятностный; – альтернативный; – прямой; – обратный
2	Вид информации о прогнозируемых процессах	Прогноз: – индивидуальный; – групповой; – одномерный; – многомерный
3	Применяемый аппарат	– экстраполяция и интерполяция; – регрессия и корреляция; – факторные модели; – опрос и анализ; – генерация идей; – игровые модели.

В теории прогнозирования РХ оборудования КВОИ наименее изучены вопросы индивидуализации оценивания, что при ограниченной исходной информации всегда происходит на фоне преодоления ряда неопределенностей, связанных [79]:

- с малым объемом эксплуатационных данных об оборудовании КВОИ;

- недостаточным знанием аналитических моделей, описывающих механизмы деградации конструкционных материалов элементов ОКП;

- ограниченностью экспериментальных данных типа «процесс деградации – время – фактор»;

- отсутствием адекватных моделей связи «интервал наблюдения – время упреждения – точность прогноза» и др.

С учетом изложенного для ОКП, содержащих элементы, которые при аварии могут стать источниками повышенной опасности, совершенно недопустима ориентация на оценку надежности, долговечности и РС по генеральной совокупности однотипных элементов оборудования. Поэтому главным требованием для ресурсоспособности ОКП является обеспечение его индивидуальной надежности.

В связи с вышесказанным для исследования вопросов индивидуально-го прогнозирования РХ применяются инфологическое моделирование и теория нечетких множеств, которые иллюстрируются примерами для различного оборудования, такого как:

- система внутриреакторного контроля АЭС;
- элементы оборудования систем контроля и управления;
- технические средства охраны КВОИ;
- турбогенераторы большой мощности.

4.2 Экспертная оценка ресурсных характеристик технических средств охраны КВОИ

Актуальность задач оценивания и прогнозирования показателей РС определяется необходимостью обеспечения требований безопасности АЭС и других КВОИ [2], которые характеризуются:

- существенными изменениями в связи с гармонизацией международных и национальных нормативных документов для АЭС;

- значительной долей нарушений в работе АЭС;

- принципиальной невозможностью контролировать КВОИ при всех видах входных воздействий.

В то же время известно [1, 46, 97], что наиболее сложными для исследования и наименее изученными являются показатели долговечности и РС, которые можно описывать РХ [46].

Применяемые традиционно параметрические методы анализа эксплуатационной статистической информации в последнее время подвергаются критике специалистами по математической статистике, а совершенствование непараметрических методов существенно не повышает достоверность измерений или оценивания РХ [47]. Проблемы принятия решений применительно к эксплуатации и продлению ее срока для АЭС и ОКП в настоящее время занимают особое место, так как количественная оценка РХ является сложной задачей в связи с [63]:

- необходимостью учета большого числа факторов, влияющих на РХ, и сложности определения как взаимозависимости между ними, так и зависимости с обобщенным показателем;

- трудностью получения исходных оценок некоторых факторов, влияющих на РХ;

- необходимостью использования для отдельных факторов, влияющих на РХ, экспертных оценок.

Для постоянного наблюдения и оценивания технического состояния КВОИ требуется определенная концепция мониторинга РХ, включающая в себя применение прогнозных оценок РХ. Внедрение системы мониторинга в практику эксплуатации ОКП в целях получения соответствующих прогнозов, позволит принимать решение о возможности их дальнейшей эксплуатации без замены или капитального ремонта. Степень риска этих решений определяется качеством прогнозной оценки РХ.

Так как ОКП, для которых требуется оценить показатели РС и РХ, уникальны, неидентичны, и их количество не обеспечивает массовость исследуемой совокупности, то условия сбора статистических данных не обеспечивают требований статистического ансамбля. Поэтому для оценки РС приходится отказываться от вероятностной природы обрабатываемых данных. При этом достоверность экспертных оценок РХ зависит также от компетентности экспертов, в качестве которых необходимо обязательно использовать персонал, эксплуатирующий оборудование.

Недостаточность (неполнота) эксплуатационной (исходной) информации имеет две стороны: неопределенность и неточность, между которыми существует противоречие, выражающееся в том, что с повышением точности информации возрастает ее неопределенность [47]. Для принятия решений в условиях неопределенности и неточности целесообразно применять теорию нечетких множеств, многочисленные примеры применения которой в различных сферах науки и техники уже доказали свою эффективность [145, 189].

Теория нечетких множеств (fuzzy sets), основоположником которой является Лотфи Заде (Lotfi Zadeh), позволяет описывать нечеткую и неопределенную информацию, а также оперировать этими множествами [63, 189].

Нечеткое моделирование более естественно описывает характер человеческого мышления, чем традиционное формально-логическое, что позволяет получить лучшие результаты в системах принятия решений с неполной информацией и обладает такими важными преимуществами, как:

- большая гибкость и адекватность реальному миру;
- более быстрое получение окончательных результатов благодаря специфическому построению и простоте используемых нечетких операторов [146, 189].

Поэтому целесообразна разработка метода оценки индивидуальных показателей РС уникального высоконадежного оборудования КВОИ с использованием теории нечетких множеств.

Необходимо различать стохастическую неопределенность, выражаемую и оцениваемую вероятностью, и лингвистическую неопределенность, выражаемую словом «достоверность» и оцениваемую значением ФП [63, 189].

Лингвистическая неопределенность связана с неточностью оценки объекта исследования. Например, если определено, что остаточный ресурс КВОИ равен 18 месяцев с ФП=0,8, то это означает, что эксперт не полностью уверен в своей оценке, но эта неуверенность апеллирует не к частотной интерпретации вероятности (хотя эксперт может использовать в своей оценке и статистические данные). Поэтому понятие нечеткого множества (НМ) более адекватно для неточной оценки РХ.

В случае непрерывного или дискретного НМ функция принадлежности $\mu_A(x)$ задается либо аналитическим выражением, либо графически (рис. 4.3).

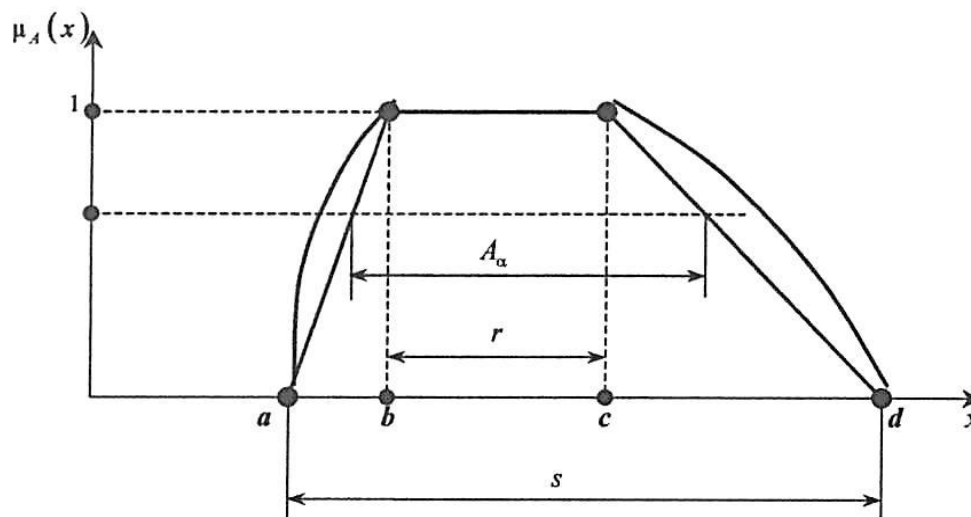


Рис. 4.3. Функция принадлежности непрерывного НМ, где S – носитель, r – ядро, A_α – α -разрез непрерывного НМ A

Формально определение НМ не накладывает жестких ограничений на выбор вида ФП (ее боковые ветви могут быть экспоненциальными, гауссо-

выми, синусоидальными, линейными и др.). Однако на практике наиболее широко используется трапецевидный вид ФП, что значительно упрощает математические операции с НМ, и практически не снижает общности полученных результатов [63, 146, 189]. В случае трапецевидной ФП нечеткое множество полностью определяется только четырьмя элементами (a, b, c, d) . При этом левая ветвь ФП имеет аналитический вид

$$\mu_A(x) = \frac{x-a}{b-a}, \quad x \in [a, b], \quad (4.1)$$

а правая ветвь

$$\mu_A(x) = \frac{d-x}{d-c}, \quad x \in [c, d]. \quad (4.2)$$

Для дальнейшего исследования индивидуального показателя ресурсоспособности оборудования КВОИ, характеризующий влияние совокупности факторов, которые определяют его способность удовлетворять установленным или предусматриваемым требованиям, наиболее удобно представлять в виде ЛП, в том смысле, как эта переменная определена в теории нечетких множеств [63].

ЛП называется кортеж $\langle P, T, O, X, G, M \rangle$,

где P – идентификатор ЛП;

T – базовое терм-множество ЛП (множество ее значений – термов, каждое из которых представляет нечеткую переменную, осмысленную в рассматриваемом контексте значений для данной ЛП);

X – область определения (универсум) нечетких переменных, которые входят в определение ЛП;

G – некоторая синтаксическая процедура, описывающая процесс образования из множества T новых, осмысленных в рассматриваемом контексте, значений для данной ЛП;

M – семантическая процедура, позволяющая преобразовать каждое новое значение ЛП, образуемое процедурой G , в новую нечеткую переменную [119].

ЛП, которая оценивает ОР, может быть задана, например, для ОР следующим кортежем: $\langle \text{Остаточный ресурс}; T_j; j = \overline{1,3}; X \in [0;1]; G; M \rangle$, где термы $T = \{T_1 - \text{низкий ОР}; T_2 - \text{средний ОР}; T_3 - \text{высокий ОР}\}$. Обобщенный показатель ОР X принимает значение из интервала $[0;1]$. G – может включать в себя новое значение «Невысокий ОР» [119].

ФП термов $T_j, j = \overline{1,3}$ показаны на рис. 4.4, где x – величина, взятая относительно назначенного ресурса. Хотя ФП $\mu_A(x)$ и характеризует возможность (но не вероятность) того, что значение x принадлежит нечеткому множеству A , на нее накладывается лишь то ограничение, что она мо-

жет принимать значение от нуля до единицы, а $\sum_{j=1}^n \mu(x_j) \neq 1$, в отличие от вероятностей p_j дискретной или непрерывной случайной величины.

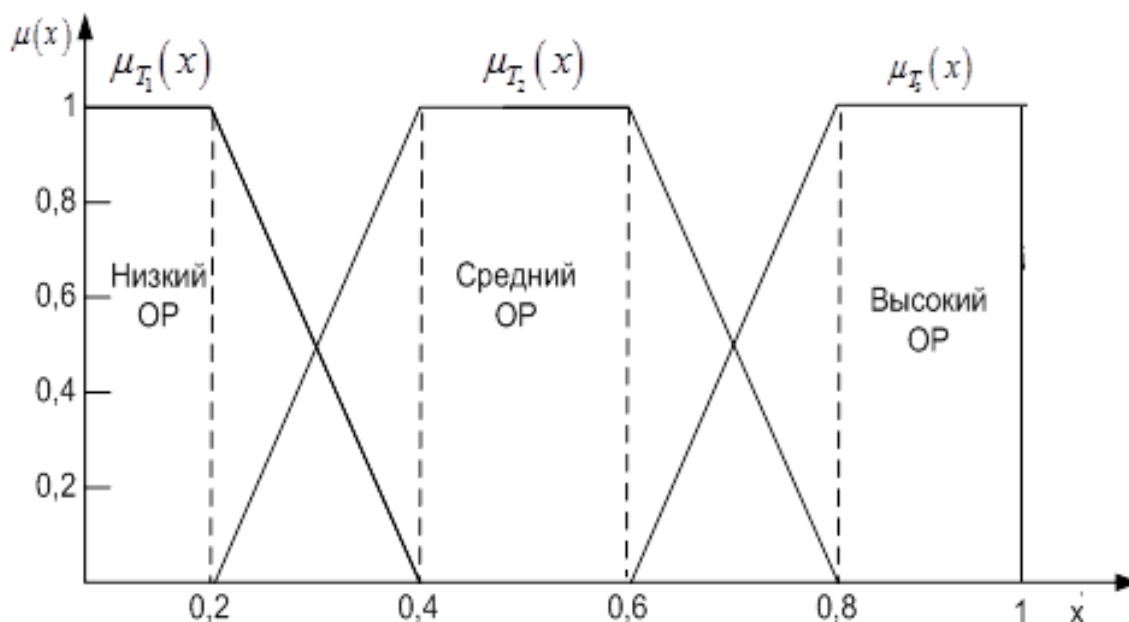


Рис. 4.4. Функция принадлежности ЛП «Остаточный ресурс», состоящая из трех термов

Для задания ФП может быть использована следующая процедура экспертного опроса. Если на вопрос о принадлежности $x_i \in A$ L_1 экспертов из L отвечает положительно, то полагаем $\mu_A(x) = \frac{L_1}{L}$ [119].

При прямых методах нахождения ФП можно использовать и статистические данные наблюдения за объектом исследования. На основе статистических данных строится гистограмма той или иной не известной точно величины, которая и используется для задания ФП.

Для дальнейшего исследования целесообразно сформулировать принципы, на которых основывается экспертное оценивание РХ [147 – 150].

1. Принцип осознанной необходимости и принятия риска решения. Поскольку РХ можно прогнозировать с той или иной достоверностью, то всегда существует риск, что прогноз не реализуется. Поэтому необходимо осознанно принимать определенную величину риска исследования и оценивания, которая является одной из основных задач при контроле РХ и показателей РС.

2. Принцип оптимальности оценки РХ. В наиболее общем виде принцип оптимальности можно сформулировать следующим образом: «Оптимальной является та оценка РХ, которая обеспечивает максимальный результат при доступном уровне затрат». При этом результат решения зависит не только от выбранных для оценки критериев, но и от метода ре-

шения многокритериальной задачи оптимизации. Этот принцип реализуется лишь при соответствии величины затрат на получение оценки и имеющимся ресурсам.

3. Принцип научности оценки РХ и показателей РС. Этот принцип заключается в необходимости использования таких научных подходов, как теория оценки параметров случайных величин; теория прогнозирования; теория рисков; теория экстремальных значений, теория нечетких множеств, имитационное и инфологическое моделирование и др. Принцип научности требует непрерывного повышения квалификации соответствующих специалистов.

4. Принцип системности оценки РХ и показателей ресурсоспособности. При следовании принципу системности объект оценки, лица, обслуживающие технику, средства измерения или оценивания рассматриваются как целостная система, состоящая из взаимосвязанных элементов. При этом необходимо учитывать большое число влияющих факторов. Этот принцип требует выявлять эмерджентные проявления рассматриваемой системы (т.е. несводимость свойств системы к сумме свойств ее компонентов).

5. Принцип синергетичности. Этот принцип является развитием принципа системности и заключается в необходимости рассматривать объект оценки как саморазвивающуюся систему, выявлять ее нелинейность, неустойчивость (бифуркации), незамкнутость, наличие обратных связей, наличие механизмов отбора, динамизма развития.

6. Принцип проектирования технологии получения результирующего экспертного заключения, в результате которого оно приобретает системоопределяющие свойства [151]. При этом должны быть выполнены следующие требования:

– необходимая свобода действий, включая подбор методов, видов экспертных оценок и способов отбора, а также показателей точности и достоверности;

– гласность экспертизы;

– системность экспертизы и ее технологии;

– необходимость обратной связи в экспертизе;

– регулярность экспертизы и преемственность в ее проведении;

– правовая сбалансированность;

– объективность или снятие «конфликтных интересов» субъектов экспертологии.

Следует отметить, что сформировать группу экспертов одинаковой компетентности практически невозможно. Поэтому возникает необходимость определения степени компетентности экспертов и ее учета при получении обобщенной оценки. При решении этой задачи возникает вопрос об оценке меры компетентности эксперта, которую можно получить путем [152]:

- непосредственных систематических наблюдений за качеством прогнозов;
- косвенным образом на основе сведений о его профессиональной деятельности.

В результате можно получить зависимость точности оценки технического состояния изделия от числа экспертов, их компетентности и степени независимости суждений [153, 154].

Для совершенствования указанных подходов к оцениванию компетентности экспертов предложена методика [126] на основе нечеткого отношения преимущества, где дано определение компетентности экспертов как нечеткой дискретной величины, значениями которой выступают необходимые компетенции экспертов, а сравнение оценок компетентности разных экспертов производится на основе коэффициента подобия нечетких величин при заданной ЛП «компетентность экспертов».

Методические основы экспертной оценки РХ и показателей РС с использованием теории НМ могут включать следующие составляющие [63]:

- определение ЛП;
- определение факторов, влияющих на комплексную оценку конкретной РХ или показателя РС;
- определение коэффициентов приоритетности факторов, влияющих на конкретную РХ или показатель РС;
- нахождение комплексной обобщенной оценки.

Рассмотрим каждую из этих составляющих применительно к показателю РС одной из определяющих РХ – остаточному ресурсу.

Разработанный в [119] метод экспертной оценки РХ и показателей ресурсоспособности ОКП заключается в исполнении алгоритма, представленного на рис. 4.5, применительно к ОР объекта исследования.

Пункты 1 – 4 данного алгоритма выполняются предварительно и могут соответствовать различным временным интервалам, пункты 5 – 8 выполняются непосредственно в конкретные временные интервалы.

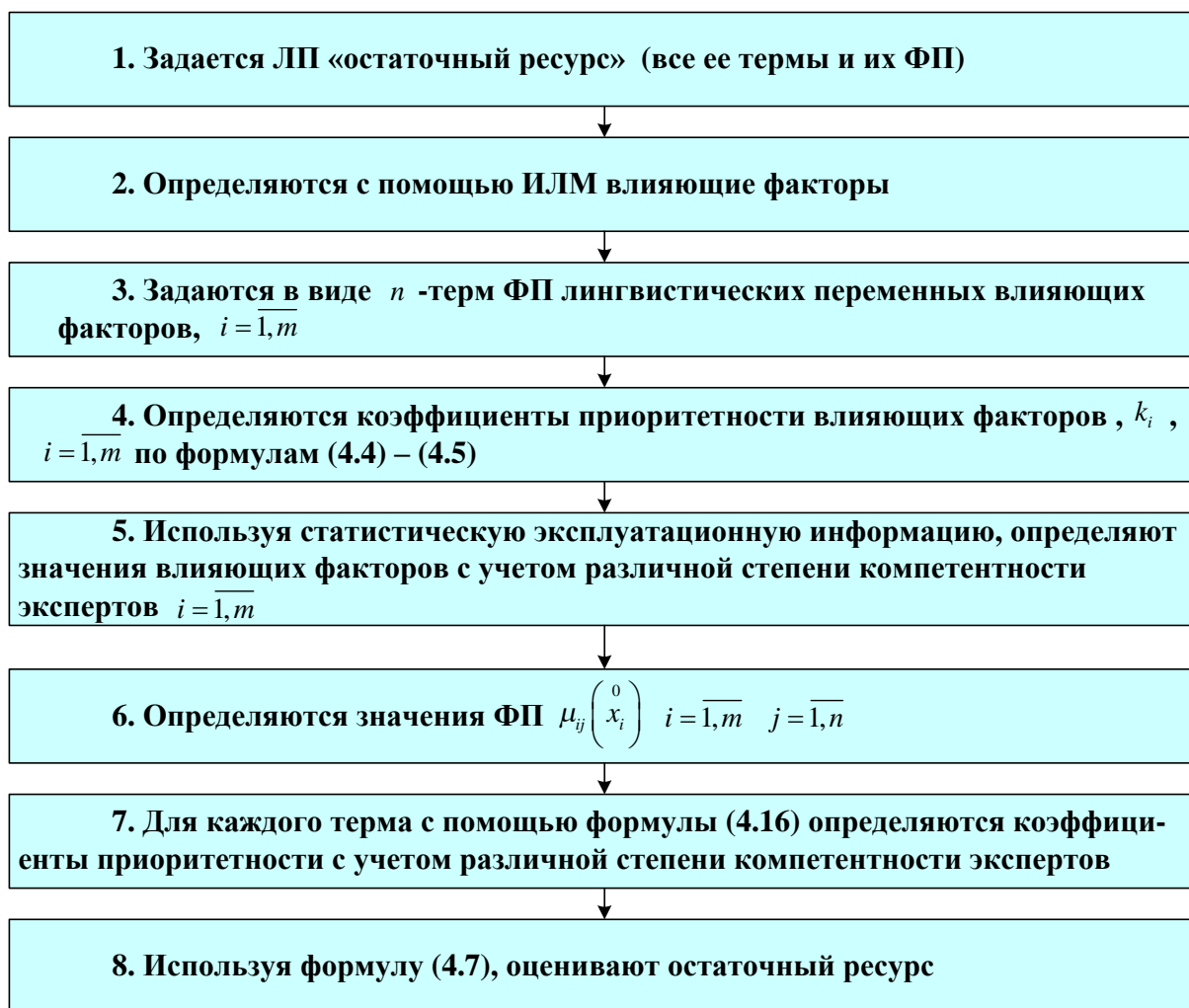


Рис. 4.5 Алгоритм экспертной оценки остаточного ресурса

Рассмотренный метод экспертной оценки РХ имеет следующие достоинства [63, 119]:

- более адекватно воспроизводятся мыслительные процессы человека, основанные на суждениях, знаниях;
- используются нечеткие модели, наиболее адекватные не только исследуемому объекту, но и специфическим особенностям ЛПР;
- используется не просто аддитивный обобщенный показатель при нахождении комплексного показателя остаточного ресурса ОКП, а осуществляется свертка ФП к тем или иным термам ЛП, что обеспечивает корректность используемой нечеткой модели;
- учитывается неопределенность на основе ЛП без использования вероятностных распределений оценок показателей, что особенно важно для случаев, когда соответствующие процессы не являются стохастическими или когда их вероятностные оценки не могут быть получены из-за нерепрезентативности соответствующих выборок;

– обеспечивается наиболее высокое качество оценивания ОР за счет определения коэффициентов приоритетности влияющих факторов с помощью метода ранговых оценок, а также применения принципа обобщения при выборе термина лингвистической переменной.

Рассмотрим применение метода экспертной оценки РХ и показателей РС с использованием теории нечетких множеств, учитывающий возможность применения инфологического моделирования на примере ТСО КВОИ. Для обеспечения эффективности его применения целесообразно использование инфологической модели при определении влияющих факторов на изменения РХ и показателей ресурсоспособности ОКП.

Количество ТСО КВОИ, для которых нужно оценить ресурсные характеристики, не обеспечивает массовость исследуемой совокупности для одного объекта охраны, условия сбора статистических данных не укладываются в рамки статистического ансамбля и для оценки ресурсных характеристик придется отказываться от вероятностной природы обрабатываемых данных [1, 155 – 157]. Оценки экспертов всегда субъективны, потому предлагается использовать для оценки ресурсных характеристик методы, основанные не на математической статистике, а на теории нечетких множеств.

Нечеткое моделирование более естественно описывает характер человеческого мышления, чем традиционное формально-логическое моделирование, позволяет получить лучшие результаты в системах принятия решений с неполной информацией и владеет такими важными преимуществами как:

- большая гибкость и адекватность реальному миру;
- более быстрое получение окончательных результатов, благодаря специфике построения и простоте используемых нечетких операторов.

При оценке ОР необходимо исходить из того, что лицо принимающее решение, или группа экспертов, хорошо представляют себе природу и характер влияния на ОР всех существенных факторов (например, времени эксплуатации ТС, интервала времени после последнего возобновления, количество отказов и дефектов, условия работы ТС и др.).

Рассмотрим определение лингвистической переменной «остаточный ресурс». Пусть X - параметр "ОР объекта исследования". Очевидно, что комплексный показатель X является функцией отдельных показателей Y, Z, W , и др.:

$$X = \psi(Y, Z, \dots W). \quad (4.3)$$

Для разных видов ТСО набор отдельных показателей будет отличаться. Определить эту функциональную зависимость вряд ли возможно. Единственное, что можно сделать – это:

- определить характер изменения комплексного показателя X в зависимости от изменения некоторого отдельного показателя;
- определить его степень влияния на X .

Поэтому ОР наиболее удобно представлять в виде лингвистической переменной. Определим лингвистическую переменную ОР кортежем $\langle E; E_j, j = \overline{1, n}; X; \mu_{E_j}(x) \in [0, 1]; j = \overline{1, n} \rangle$, где E – наименование лингвистической переменной (в рассмотренном случае E – это ОР); $E_j, j = \overline{1, n}$, – множества термов лингвистической переменной, которые представляют собой наименование нечетких переменных, область определения каждой из которых есть множество X ; $\mu_{E_j}(x)$ – функция принадлежности термина E_j .

Термами ЛП ОР могут быть:

E_1 – очень низкий остаточный ресурс;

E_2 – низкий остаточный ресурс;

E_3 – средний остаточный ресурс;

E_4 – высокий остаточный ресурс;

E_5 – очень высокий остаточный ресурс.

Эксперт всегда явно или даже подсознательно понимает под каждым термом какие-то пределы искомой величины.

При необходимости число n термов лингвистической переменной ОР можно уменьшить или увеличить. Каждый терм лингвистической переменной задается трапециеподобной функцией принадлежности, хотя боковые ветки могут описываться и нелинейными функциями.

При трапециеподобной функции принадлежности, она полностью задается четырьмя числами – a, b, c, d . Зададим числа для каждого термина ТСО «Радиан» следующим образом: $E_1 = (0; 0; 0; 0, 1)$; $E_2 = (0; 0, 1; 0, 2; 0, 3)$; $E_3 = (0, 2; 0, 3; 0, 4; 0, 5)$; $E_4 = (0, 4; 0, 5; 0, 6; 0, 7)$; $E_5 = (0, 6; 0, 7; 0, 9; 1)$.

Тогда лингвистическая переменная ОР может быть представлена, как это показано на рис. 4.6. Для каждого объекта исследования числа (a_i, b_i, c_i, d_i) могут отличаться и уточняться с ЛПР о продлении срока эксплуатации ТС. Нечеткое множество полностью определяется четырьмя элементами (a, b, c, d) . Левая ветка функции принадлежности описывается формулой (4.1), правая ветка функции принадлежности описывается формулой (4.2).

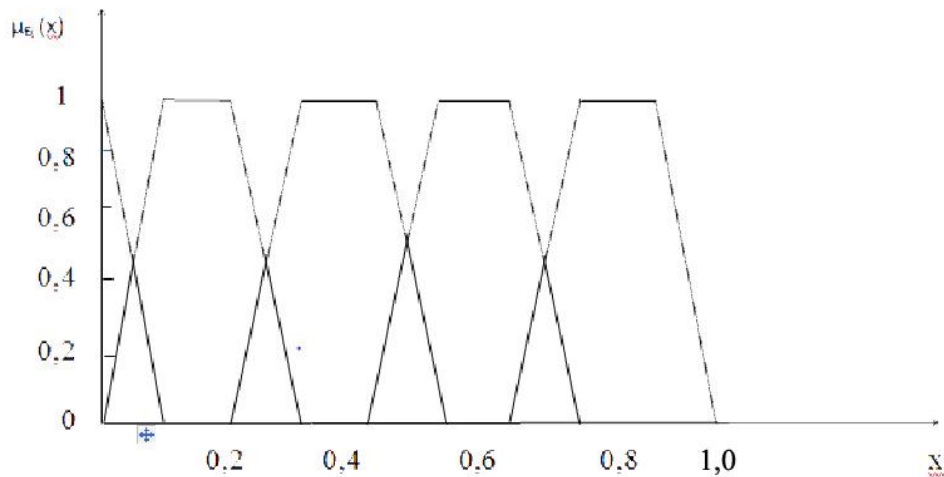


Рис.4.6. Лингвистическая переменная "остаточный ресурс"

Зная X , по формулам (4.1, 4.2) рассчитываются значения $\mu(x)$. Определив понятие лингвистической переменной "ОР", необходимо найти значение комплексного (обобщающего) показателя для анализируемого объекта. Этот показатель, в свою очередь, зависит от значений отдельных аргументов.

Отдельные показатели-аргументы лингвистической переменной ОР в зависимости от объекта исследования могут быть разными. Эти показатели определяются экспертами. Для оценки ОР на примере ТСО «Радиян» возьмем три отдельных показателя: Y = "Относительное время эксплуатации ТСО «Радиян»", Z = "Относительное время после последнего ремонта", W = "Количество отказов с момента начала эксплуатации". Прибор специальный "Радиян – А" предназначен для охраны периметров объектов с выдачей сигналов на стационарный антенный аппарат при изменении емкости антенных систем. Каждый отдельный показатель – аргумент так же определяется лингвистической переменной, обязательно с тем же количеством термов, что и лингвистическая переменная (пятью в нашем примере: очень плохое значение показателя, плохое значение, среднее значение, хорошее значение, очень хорошее значение отдельного показателя), но сами параметры могут принимать разные значения и иметь разные размерности. Термы всех отдельных показателей задаются экспертами. Зададим их следующим образом:

Y = "Относительное время эксплуатации ТСО": $Y_5 = (0;0;0;0,1)$ – очень хороший результат; $Y_4 = (0;0,1;0,2;0,3)$ – хороший результат; $Y_3 = (0,2;0,3;0,4;0,5)$ - средний результат; $Y_2 = (0,4;0,5;0,6;0,7)$ – плохой результат; $Y_1 = (0,6;0,7;0,9;1)$ - очень плохой результат, где время всей эксплуатации ТС берется относительно гарантийного времени t_T .

Z = "Относительное время эксплуатации после последнего ремонта": $Z_5 = (0;0;0;0,1)$ – "очень хороший результат"; $Z_4 = (0;0,1;0,2;0,3)$ - "хороший ре-

зультат"; $Z_3 = (0,2;0,3;0,4;0,5)$ – "средний результат"; $Z_2 = (0,4;0,5;0,6;0,7)$ - "плохой результат"; $Z_1 = (0,6;0,7;0,9;1)$ – "очень плохой результат".

$W =$ "Количество отказов с момента начала эксплуатации": $W_5 = (0;0;0;0,1)$ – "очень хороший результат"; $W_4 = (0;0,1;0,2;0,3)$ - "хороший результат"; $W_3 = (0,2;0,3;0,4;0,5)$ – "средний результат"; $W_2 = (0,4;0,5;0,6;0,7)$ – "плохой результат"; $W_1 = (0,6;0,7;0,9;1)$ – "очень плохой результат".

В качестве одного из путей определения факторов, которые влияют на показатели долговечности ТСО, может рассматриваться инфологическое моделирование, которое обеспечивает наиболее естественный для человека способ сбора и предоставления необходимых данных. Инфологическое моделирование, связанное с попыткой предоставления семантики предметной области, в настоящее время осуществляется на базе модели "сущность – связь" (Entity – Relationship). Это дает возможность более глубоко использовать результаты исследования причин отказов и их классификацию, для более точного определения отдельных показателей-аргументов лингвистической переменной "ОР ТСО".

Для определения коэффициентов приоритетности факторов x_i , будем использовать метод Фишберна [119].

Допустим, что факторы проранжированы в порядке их важности:

$$x_1 \geq x_2 \geq \dots x_m. \quad (4.4)$$

Тогда коэффициенты приоритетности k_i вычисляются по формуле Фишберна (4.5):

$$k_i = \frac{2(m+1-p_i)}{m*(m+1)}, \quad (4.5)$$

где p_i - номер критерия в порядке его важности.

При этом сумма всех коэффициентов приоритетности k_i равняется единице. Число отдельных факторов $m=3$ и они проранжированы в следующем порядке: $x_1 \geq x_2 \geq x_3$, тогда коэффициенты приоритетности равняются:

$$k_1 = \frac{2(3+1-1)}{3*4} = \frac{1}{2}; k_2 = \frac{2(3+1-2)}{3*4} = \frac{1}{3}; k_3 = \frac{2(3+1-3)}{3*4} = \frac{1}{6}.$$

Если какие-то r критериев из m равноценные, то коэффициенты приоритетности для всех этих критериев равны и определяются как среднее арифметическое коэффициентов для равноценных критериев, которые вычислены по формуле Фишберна для случая, когда они якобы проранжированы один за другим.

Для определения значения комплексного показателя X (остаточного ресурса ТСО «Радиян»), вначале делают оценку ОР по всем отдельным показателям. Объект нашего исследования (ТСО «Радиян») имеет такие по-

казатели как $y_1 = x_1 = 0,72; z_1 = x_2 = 0,55; w_1 = x_3 = 0,91$, где дальше через x_i будем обозначать оценку объекта исследования по i -му показателю. Потом по формулам (4.1) и (4.2) определяются значения функций принадлежности, определенных по каждому терму для каждой лингвистической переменной $\mu_{ij}(x_i), i = \overline{1,3}; j = \overline{1,5}$.

Полученные данные показаны в таблице 4.2. Для каждого одинакового по содержанию терма (очень плохой результат; плохой; средний; хороший и очень хороший) получим взвешенные (с коэффициентами приоритетности) оценки:

$$X_j = \sum_{i=1}^m k_i \mu_{ij}(x_i) \quad (4.6)$$

Для рассмотренного примера, используя коэффициенты приоритетности, полученные по методу Фишберна (считая, что второй показатель важнейший, дальше – первый, потом третий), получаем:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{1}{2} * 0 + \frac{1}{3} * 0 + \frac{1}{6} * 0 = 0; & X_2 &= \frac{1}{2} * 0 + \frac{1}{3} * 0 + \frac{1}{6} * 0 = 0; \\ X_3 &= \frac{1}{2} * 0 + \frac{1}{3} * 0 + \frac{1}{6} * 0 = 0; & X_4 &= \frac{1}{2} * 0 + \frac{1}{3} * 1 + \frac{1}{6} * 0 = \frac{1}{3}; \\ X_5 &= \frac{1}{2} * 1 + \frac{1}{3} * 0 + \frac{1}{6} * 1 = \frac{2}{3}. \end{aligned}$$

Эти данные заносим в табл. 4.2

Оценку обобщенного показателя "ОР" находим по формуле (4.7):

$$x = \sum_{j=1}^n X_j E_{\alpha j} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m k_i \mu_{ij}(x_i) E_{\alpha j}, \quad (4.7)$$

где $E_{\alpha j} = \frac{E_{\alpha j+} + E_{\alpha j-}}{2}$ - средняя α -среза нечеткого терма E_j лингвистической переменной "ОР ТС «Радиан»";

$E_{\alpha j+}, E_{\alpha j-}$ – левая и правая границы множества α -уровня (α -среза нечеткого терма E_j).

Т а б л и ц а 4.2

Оценки ОР для каждого терма

I	Факторы	Термы (j)				
		Очень низкий (1)	Низкий (2)	Средний (3)	Высокий (4)	Очень высокий (5)
1	Y	$\mu_{11}(y_1) = 0$	$\mu_{12}(y_1) = 0$	$\mu_{13}(y_1) = 0$	$\mu_{14}(y_1) = 0$	$\mu_{15}(y_1) = 1$
2	Z	$\mu_{21}(z_1) = 0$	$\mu_{22}(z_1) = 0$	$\mu_{23}(z_1) = 0$	$\mu_{24}(z_1) = 1$	$\mu_{25}(z_1) = 0$
3	W	$\mu_{31}(w_1) = 0$	$\mu_{32}(w_1) = 0$	$\mu_{33}(w_1) = 0$	$\mu_{34}(w_1) = 0$	$\mu_{35}(w_1) = 1$
$X_j = \sum_{i=1}^3 k_i \mu_{ij}$		0	0	0	0.333	0.666

При симметричных боковых ветках функций принадлежности $E_{\alpha j}$ середина α -среза нечеткого термина E_j равняется координате середины ядра E_j , возьмем $\alpha = 1$, при этом получаем:

$$E_{\alpha 1} = \frac{0,1}{2} = 0,05; E_{\alpha 2} = 0,15; E_{\alpha 3} = 0,35; E_{\alpha 4} = 0,55; E_{\alpha 5} = 0,75.$$

Тогда обобщенный показатель будет равняться:

$$x = \sum_{j=1}^n X_j E_{\alpha j} = 0 * 0,05 + 0 * 0,15 + 0 * 0,35 + 0,333 * 0,55 + 0,666 * 0,75 = 0,683.$$

Следовательно, при $x = 0,683$, остаточный ресурс ТСО «Радиян» отвечает терму E_5 – "очень высокий" с функцией принадлежности (степенью уверенности) $\mu_5(0,683) = 0,75$, терму E_4 – "высокий" с функцией принадлежности (степенью достоверности) $\mu_4(0,683) = 0,25$.

Абсолютная величина ресурса :

$$t = x t_r \mu(0,683) = (0,683 * 0,75 + 0,683 * 0,25) t_r = 0,683 t_r.$$

Таким образом, остаточный ресурс ТСО «Радиян» отвечает терму "очень высокий" согласно рисунку 4.6.

4.3 Усовершенствование процесса анализа показателей надежности технических средств охраны КВОИ

Эффективность СФЗ КВОИ (например, ядерного объекта) значительным образом определяется составом и качеством процессов эксплуатации ТСО. Проблема повышения эффективности эксплуатации ТСО КВОИ характеризуется многовариантностью как возможных направлений повышения качества, так и альтернативностью производственно-технических и организационно-экономических мероприятий, которые обеспечивают достижение планируемого уровня качества [155-157, 228-232]. Поэтому рассмотрим вопросы надежности и долговечности ТСО. Ресурсоспособность является характеристикой только оборудования, ресурс зависит от ресурсоспособности и условий эксплуатации. На сегодняшний день отсутствуют методики расчета ресурсоспособности ТСО, не установлен диапазон значений ресурсоспособности. Поэтому необходима апробация и усовершенствование существующих методов оценки остаточного ресурса, разработка методик оценивания ОР для ТСО. Необходимо усовершенствование программного обеспечения для учета и анализа показателей надежности ТСО.

К техническим средствам (ТС) ФЗАЭС относятся функциональные средства и системы:

- а) охранной сигнализации: средства обнаружения, система сбора и обработки информации;
- б) тревожно-вызывной сигнализации;

- в) контроля и управления доступом;
- г) оптико-электронного наблюдения и оценки обстановки;
- д) оперативной связи и оповещения (в том числе средства проводной связи и радиосвязи);
- е) защиты информации;
- ж) обеспечения электропитания и электроосвещения: система обеспечения электропитания, система охранного освещения;
- и) системы обеспечения физической защиты ядерных материалов при транспортировании:
 - центр транспортного контроля (диспетчерский пункт),
 - ТСО транспортных средств.

Согласно «Требованиям к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» техническая эксплуатация инженерных и технических средств физической защиты должна включать:

- профессиональный отбор, подготовку и допуск персонала к эксплуатации;
- планирование технической эксплуатации;
- техническое обслуживание и ремонт;
- материально-техническое и метрологическое обеспечение;
- ведение эксплуатационной и учетной документации;
- учет, хранение и списание;
- сбор, учет и анализ данных по основным эксплуатационно-техническим характеристикам инженерных и технических средств физической защиты;
- контроль и оценку технического состояния и организации эксплуатации;
- организацию работ по обеспечению и соблюдению правил и мер безопасности при эксплуатации;
- продление срока эксплуатации.

Надежность в использовании и применении ТС – это долговечность, ремонтпригодность, сохранность, безотказность [155-157].

Основными понятиями и характеристиками эксплуатационной надежности ТС являются:

- отказ – событие, после которого изделие (элемент, устройство, прибор, система) прекращает выполнять полностью или частично свои функции, одним из видов отказа есть пропуск сигнала;
- пропуск сигнала – отсутствие сигнала срабатывания от средств обнаружения при наличии в его зоне обнаружения нарушителя;
- наработка – продолжительность работы изделия;
- наработка до отказа – наработка изделия от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа.

При эксплуатации ТС основными факторами, которые влияют на их надежность, являются:

- условия эксплуатации (климатические и производственные);
- уровень организации эксплуатации ТС;
- квалификация специалистов.

Одним из основных направлений повышения эксплуатационной надежности технических средств является сбор, обобщение и анализ статистических данных об отказах, неисправностях и причины ложных сигналов средств обнаружения (СО).

Основными причинами пропуска сигналов от средств обнаружения являются:

- заниженная чувствительность;
- наличие уязвимых мест на рубежах охраны;
- изменение расположения предметов и конструкций в зоне обнаружения;
- прохождения зоны обнаружения с помощью хитрости;
- нарушение технических условий по оборудованию чувствительных элементов;
- использование изделия вне его тактико-технических характеристик;
- отказ или неисправность самого средства обнаружения, его чувствительного элемента, а также соединительных линий или специальной аппаратуры;
- несвоевременное или не в полном объеме проведение регламентных работ.

Средства обнаружения работают в условиях комплексного воздействия дестабилизирующих факторов. Для каждого вида средств обнаружения тот или иной вид помех становится преобладающим и может вызвать их срабатывание [161]. Примеры влияния дестабилизирующих факторов на работу СО приведены в таблицах 4.3 и 4.4.

Основным показателем надежности является наработка на ложные сигналы.

Ложный сигнал – это выдача средством обнаружения на систему сбора и обработки информации или стационарный аппарат сигнала тревоги при отсутствии в зоне его обнаружения нарушителя.

Нарботка на ложный сигнал $T_{o.c.}$ каждого средства обнаружения согласно [155, 157] подсчитывается по формуле (4.8):

$$T_{o.c.} = \frac{T}{N_{o.c.}} (\text{час.}), \quad (4.8)$$

где T – время работы СО за определенный период, как правило, за год (час);

$N_{o.c.}$ – количество ложных сигналов за время его работы.

Среднегодовая наработка на ложный сигнал СО рассчитывается на конец года и отражается в годовых обзорах состояния ТСО.

Основой предотвращения отказов, пропусков сигналов от средств обнаружения и ложных сигналов технических средств в целом является их прогнозирование, суть которого заключается в получении информации о состоянии отдельных узлов, блоков, элементов или аппаратуры в целом, обработки этой информации и определения возможного момента обнаружения возникновения отказа или ложного сигнала.

Источником информации о причинах отказов и ложных сигналов средств обнаружения является журнал учета работы технических средств охраны. Контроль за правильностью ведения данного журнала возлагается на специалистов ТС и офицеров штаба воинской части.

С целью повышения устойчивости ТСО к различным дестабилизирующим факторам и совершенствования качества технической эксплуатации была проведена работа по сбору, учету, обработке и анализу ложных сигналов на ядерном объекте с условным обозначением ОП «№3» в течение последних пяти лет.

Статистические данные по количеству ложных сигналов от средств обнаружения, установленных в запрещенной зоне ОП «№3» за период 2009-2013 гг., приведены в табл. 4.5.

Т а б л и ц а 4.3

Влияние дестабилизирующих факторов на работу средств обнаружения, установленных в запрещенной зоне

Вид дестабилизирующего фактора	Физический принцип действия СО				
	Емкостные	Индуктивные	Радиолучевые	Сейсмические	Инфракрасные
Электрические наводки	+	+	+		
Вибрация мест установления СО			+	+	+
Птицы, грызуны, мелкие животные	+		+	+	+
Гололед, иней	+	+	+		+
Колебания травы, кустов, деревьев	+		+	+	+
Изменение влажности воздуха	+				
Листопад, снегопад, пыль			+		+
Сильный ветер с дождем, мокрым снегом	+	+	+		+
Туман, густой дым, запотевание					+
Движение автомобильного и железнодорожного транспорта, работа промышленного оборудования	+		+	+	
Примечание: + – препятствие, которое может вызвать срабатывание данного типа СО.					

Т а б л и ц а 4.4

**Влияние дестабилизирующих факторов на средства обнаружения
в режимных помещениях**

Вид дестабилизирующего фактора	Физический принцип действия СО				
	Емкостные	Акустические	Радиолучевые	Инфракрасные	Сейсмические
Перемещение людей, транспорта за пределами зоны охраны	+		+		
Перемещение воздуха в результате работы вентиляции, отопления, кондиционирования		+			
Вибрация здания		+	+	+	+
Наводки от радиостанций и других источников электромагнитных колебаний	+		+		
Влияние акустических шумов		+			
Опыление и задымленность воздушной среды				+	
Изменение проводимости пыли, влажности воздуха	+				
Коммутация люминесцентного освещения			+		
Попадание прямых солнечных лучей				+	
Примечание: + – препятствие, которое может вызвать срабатывание данного типа средств обнаружения.					

Т а б л и ц а 4.5

Количество ложных сигналов за период 2009-2013 г.г.

Принцип действия СО	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009 год												
Емкостные	20	19	43	58	52	34	30	27	56	61	47	24
Радиолучевые	24	31	38	24	17	9	13	17	30	39	15	12
Инфракрасные	3	2	4	7	0	2	2	1	6	10	12	1
Всего за 2009 год	47	52	85	89	69	45	45	45	92	110	74	37
2010 год												
Емкостные	17	22	55	47	53	21	19	23	42	47	51	36
Радиолучевые	15	36	40	37	22	11	8	15	32	27	19	14
Инфракрасные	2	1	2	3	2	1	0	1	5	8	5	3
Всего за 2010 год	34	59	97	87	77	33	27	39	79	82	75	53
2011 год												
Емкостные	28	25	49	43	48	31	25	34	48	45	31	25

Принцип действия СО	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Радиолучевые	30	28	46	36	27	19	11	13	25	34	21	17
Инфракрасные	4	2	2	3	4	0	2	0	4	5	3	4
Всего за 2011 год	62	55	97	82	79	50	38	47	77	84	55	46
2012 год												
Емкостные	22	17	44	42	43	25	28	20	38	47	51	33
Радиолучевые	25	33	39	41	19	15	15	12	22	26	20	10
Инфракрасные	3	4	3	3	1	2	0	2	5	6	8	7
Всего за 2012 год	50	54	86	86	63	42	43	34	65	79	79	50
2013 год												
Емкостные	24	15	56	49	39	35	65	54	28	47	81	24
Радиолучевые	29	17	32	24	18	12	20	16	30	37	16	18
Инфракрасные	5	3	2	3	1	2	1	0	8	10	9	8
Всего за 2013 год	58	35	90	76	58	49	86	70	66	94	106	50
Всего за 2009-2013 года	251	255	455	420	346	219	239	235	379	449	389	236

На основании данных, приведенных в табл. 4.5, построим графики зависимости количества ложных сигналов от времени года (рис. 4.11 – 4.15).

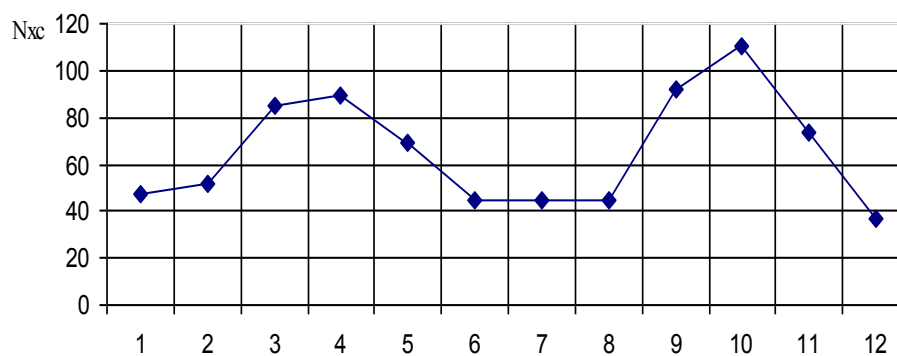


Рис. 4.11. Количество ложных сигналов за 2009 год

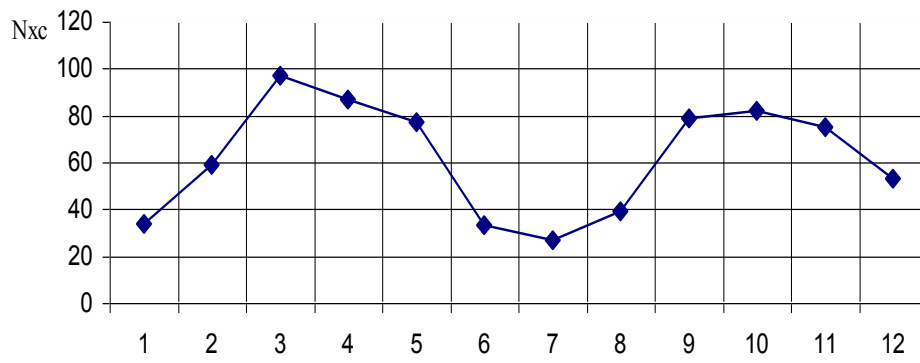


Рис. 4.12. Количество ложных сигналов за 2010 год

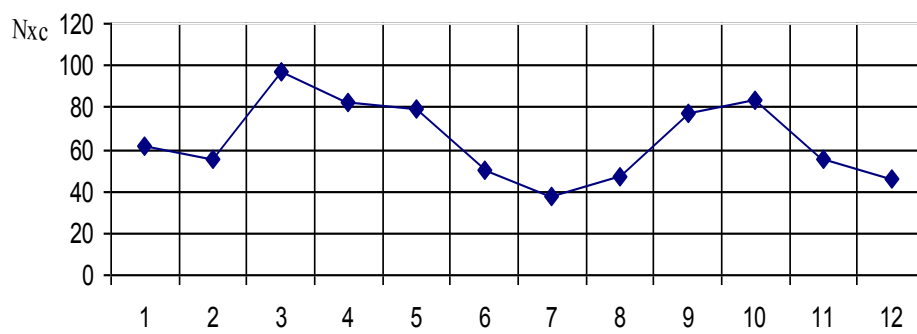


Рис. 4.13. Количество ложных сигналов за 2011 год

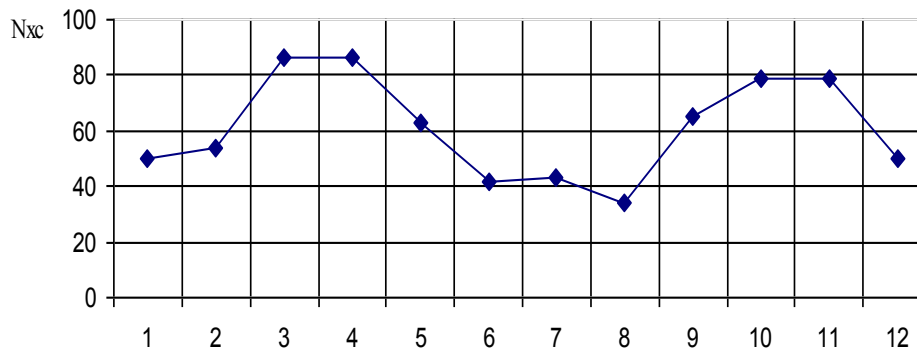


Рис. 4.14. Количество ложных сигналов за 2012 год

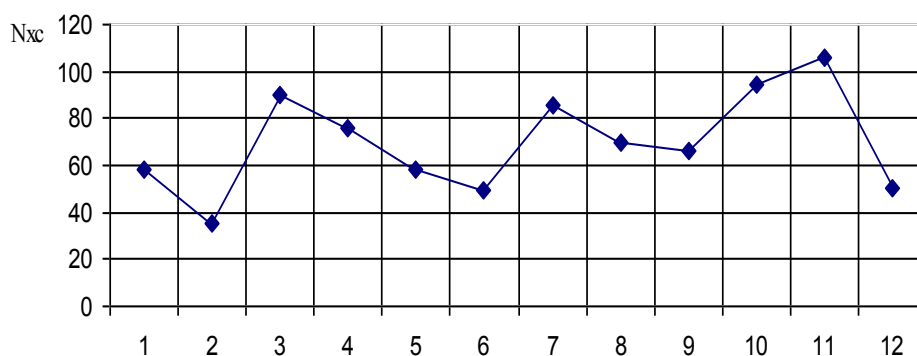


Рис. 4.14. Количество ложных сигналов за 2013 год

Анализируя график зависимости количества ложных сигналов от времени года за весь период исследования, мы видим, что наибольшее количество их приходится на весенний и осенний периоды.

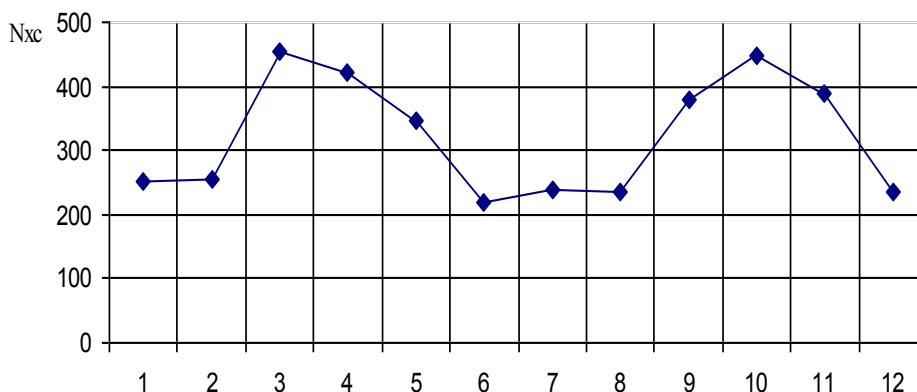


Рис. 4.15. Количество ложных сигналов за 2009 – 2013 г.г.

На основе полученных результатов предлагается разработать предложения по повышению надежности технических средств физической защиты и практические рекомендации по эксплуатации ТСО, усовершенствовать регламенты работ по техническому обслуживанию СО.

Анализ законодательной и нормативной базы оценивания РХ систем контроля и управления энергоблоков АЭС, в соответствии с которой обеспечивается безопасность АЭС, выявил недостатки в сфере оценки РХ высоконадежных уникальных систем, связанные с невозможностью применения статистических и вероятностных методов оценки РХ на основе эксплуатационных данных.

Предложен метод экспертной оценки ОР ТСО КВОИ с использованием теории нечетких множеств, позволяющий получить обобщенную экспертную оценку ОР на основе эксплуатационных данных.

Рассмотрим прогнозирование остаточного ресурса технических средств физической защиты АЭС. ТСО КВОИ, которые пришли в негод-

ность, морально устарели, изношены, отработали установленные сроки эксплуатации, когда обновление или ремонт невозможен или экономично нецелесообразен, подлежат списанию с учета воинской части независимо от их стоимости в установленном порядке. Отработка установленных сроков эксплуатации ТСО не может служить основанием для их списания, если они по своему техническому состоянию пригодны для дальнейшего использования по назначению согласно [155]. В таблице 4.6 приведен пример оценки состояния ТСО воинской части на основании расчета коэффициента K_c согласно [155, 157].

Т а б л и ц а 4.6

Оценка состояния ТСО воинской части

Наименование ТСО	Количество (шт)	Значение весовых коэффициентов	Количество испорченных образцов ТСО	Сумма произведенных порченных ТСО	Сумма произведенных проверенных образцов
Ромб	1	0,4	-	-	0,4
Призма	4	0,4	-	-	1,6
Дон	6	0,3	-	-	1,8
Радан	52	1,0	3	3	52
Инфракрасные СО	20	0,5	3	1,5	10
Пион (Барьер)	40	1,0	2	2	40
АС на изоляторах больше чем 15 ниток	8	2,6	-	-	20,8
АС типа “кольцо”, “цилиндр”	13	0,15	4	0,6	1,95
АС козырькового типа	19	1,8	-	-	34,2
Средства видеонаблюдения:					
телекамеры	47	0,5	6	3	23,5
поворотные устройства	3	0,2	1	0,2	0,6
Распределительные шкафы	10	0,004	-	-	0,04
Выпрямитель ВСА	4	0,1	1	0,1	0,4
Аккумуляторы	40	0,02	40	0,8	0,8
Прожектора	70	0,3	8	2,4	21
Точки освещения	98	0,01	60	0,6	0,98
Электропривод	6	0,25	-	-	1,5
Электростанция с двигателем внутреннего сгорания	1	6,0	-	-	6,0
Кабина АК-ЗБ	16	2,5	-	-	40
АКПП типа “Сектор”	1	10,0	-	-	10,0
Датчик СМК	68	0,01	18	0,18	0,68
Всего:				14,38	268,25

$$K_c = 1 - \frac{14,38}{268,25} = 0,946$$

Оценка состояния ТСО воинской части: $K_c=0,95$ – оценка «удовлетворительно».

В результате проверки и изучения формуляров (паспортов) и других документов ТСО устанавливаются технико-эксплуатационные показатели:

- 1) год изготовления (дата);
- 2) заводской номер;
- 3) введено в эксплуатацию (дата);
- 4) находится в эксплуатации (лет, месяцев);
- 5) имеет наработку с начала эксплуатации (часов);
- 6) установленные:
 - ресурс (часов);
 - срок эксплуатации (лет, месяцев);
 - гарантийная наработка (часов);
 - гарантийный срок (лет, месяцев);
- 7) выполнено ремонтов (каких, дата);
- 8) находится в эксплуатации после последнего ремонта (лет, месяцев);
- 9) наработка после последнего ремонта (часов);
- 10) имеет недоработку (переработку):
 - по назначенному ресурсу (часов);
 - по сроку эксплуатации (лет, месяцев);
 - по гарантийной наработке (часов);
 - по сроку пригодности (лет, месяцев).

Отсутствуют данные о T_γ – γ -процентному ресурсу, T_r – техническому ресурсу. При проведении реконструкции (модернизации) СФЗ ЯО необходимо обосновать замену или продление ресурса имеющихся ТС на основе прогнозирования их остаточного ресурса. В нормативных документах отсутствует методика расчета остаточного ресурса для ТСО, поэтому разработка таких методик актуальна.

Рассмотрим существующие методы оценки ОР оборудования.

Известны ресурсные характеристики, определяющие наступление предельных состояний сложных изделий при исследовании их долговечности [17]. ТСО КВОИ являются, как правило, высоконадежными и поэтому при их эксплуатации наибольший интерес представляет прогнозирование их индивидуального остаточного ресурса [17]. Анализ ресурсных характеристик сложных изделий при неоднородном потоке их отказов показан в работе [235]. В тоже время известные причины несоответствия ожидаемых и фактических ресурсных характеристик определяют целесообразность совершенствования и дальнейшего развития методов как прямого, так и обратного прогнозирования ресурсоспособности сложных изделий. В [160] авторами предложено определение остаточного ресурса T_{op} оборудования АЭС по известным

ресурсным характеристикам: T_n – гарантированному ресурсу, T_γ – γ -процентному ресурсу, T_r – техническому ресурсу с использованием корреляционно-регрессионного анализа для принятия решений о продлении срока эксплуатации.

В процессе эксплуатации ТСО КВОИ длительное воздействие различных факторов может приводить к накоплению повреждений, развитию дефектов и другим нежелательным эффектам деградации, а, следовательно, изменению показателей долговечности. В настоящее время отсутствуют статистические и эксплуатационные данные по показателям долговечности многих сложных изделий, а опытные данные требуют аппроксимации их аналитическими выражениями. Такие выражения необходимы как для задач прогнозирования долговечности, так и для проведения различных аналитических исследований. При отсутствии опытных данных по долговечности особое значение приобретают применение имитационного моделирования и создание специализированных инструментальных средств, что особенно важно на этапе разработки проекта реконструкции СФЗ.

Вопросы анализа ресурсных характеристик сложных объектов рассматриваются в работах [17, 235]. Одновременно следует отметить, что кроме указанной литературы следует анализировать данные нормативно-технической и математической базы по вопросам надежности и безопасности сложных изделий, например [6-29].

Однако в рассмотренных нормативных документах для АЭС применяются статистические методы и вероятностные модели, отсутствуют методики определения РХ на основе эксплуатационных данных для уникального высоконадежного оборудования при отсутствии или ограниченной информации об отказах [23]. Согласно существующей отраслевой нормативной документации для АЭС [20, 23] не производится оценка показателей ресурсоспособности оборудования, а производится планирование процессов восстановления оборудования и калькуляция затрат на эти процессы [40, 64]. Необходимо первоначально осуществлять оценку ОР оборудования с учетом возможных процессов восстановления и их экономических показателей. Для разработки документации по реконструкции (модернизации) СФЗ АЭС необходима оценка ОР ТСО для принятия решения об его замене или восстановлению и дальнейшей эксплуатации.

Известен способ оценки остаточного ресурса для различных групп электротехнического оборудования АЭС по доминирующему параметру [43, 44]. Недостатками существующего способа являются то, что функция изменения во времени доминирующего параметра является неизвестной, поэтому точное определение остаточного ресурса выполнить невозможно. Приблизительную оценку значения остаточного ресурса для

продления срока эксплуатации оборудования проводят при следующих значительных допущениях, влияющих на точность и достоверность оценки:

- расчетный проектный срок службы при выполнении требуемых условий эксплуатации составляет 25 лет, при этом техническое состояние в конце этого срока эксплуатации приближается к предельному (коэффициент технического состояния K_t изменяется от 1 до 0);

- скорость изменения доминирующего параметра приблизительно равна средней скорости за последние 5 лет до момента испытаний;

- значение остаточного ресурса принимается с учетом ограничения: минимально допустимое значение коэффициента оценки технического состояния $K_{min} = 0,2$.

Тогда, учитывая материалы главы 2, для исследования ОР сложных изделий ТСО КВОИ предложено использовать ресурсные характеристики, которые как случайные величины характеризуются средними значениями и дисперсиями, качественные оценки которых показаны на рисунке 2.4.

Разработан метод прямого прогнозирования остаточного ресурса сложных изделий на основе корреляционно-регрессионного анализа их ресурсных характеристик, описанный в [160].

Для решения задачи прогнозирования остаточного ресурса необходимо найти зависимость оценки T_t как результирующей переменной от T_n , T_γ , T_r , которые в данном случае являются факторными переменными, выявить и обосновать выбор ресурсных характеристик.

Сбор, обработка и анализ данных эксплуатационной надежности технических средств охраны проводятся с целью:

- обнаружения наименее надежных блоков и узлов ТСО и доведение этой информации до заинтересованных организаций для решения задач по повышению их качества и надежности;

- выявления причин возникновения отказов и неисправностей аппаратуры и пропусков сигналов средств обнаружения и выполнение мероприятий по их устранению;

- определения качественных показателей надежности, а также обоснование перспективных требований к аппаратуре, которая разрабатывается или модернизируется, и ее комплектующих изделий;

- разработка рекомендаций по усовершенствованию технической эксплуатации, обслуживания и хранения ТСО, уточнение номенклатуры комплектов ЗИП и норм их расхода;

- определения полноты эксплуатационной и ремонтной документации;

– уточнения норм выделения численности личного состава для технического обслуживания ТСО КВОИ.

Для оценки эксплуатационной надежности технических средств охраны и определение мероприятий для ее повышения проводится исследовательская эксплуатация, в ходе которой собираются и анализируются сведения об отказах и неисправностях ТСО, пропусках сигналов от средств обнаружения и готовятся рекомендации по повышению работоспособности ТСО.

Сбор, обобщение и анализ данных об отказах и неисправностях, пропусках сигналов средств обнаружения проводится и во время обычной эксплуатации ТСО .

Исследовательская эксплуатация технических средств охраны организуется на основании совместного решения командира воинской части и администрации объекта, который охраняется, по специальной программе, которая регламентирует условия и режим работы аппаратуры, порядок контроля за состоянием эксплуатационных параметров ТСО. Также определяются лица, которые отвечают за проведение исследовательской эксплуатации ТСО, сроки и порядок ее проведения, выделение для нее инженерно-технических средств охраны, а также формы и сроки отчетности.

Обобщенные данные об позитивных качествах аппаратуры, отказах и неисправностях ТСО с их анализом и предложениями по их устранению по установленной форме подаются администрации объекта и подрядной организации. На основании полученных результатов разрабатываются предложения по повышению надежности аппаратуры и практические рекомендации по эксплуатации ТСО .

Резервирование технических средств охраны – это метод повышения их надежности путем замены аппаратуры (изделия), которая отказала или отдельных ее блоков, узлов и элементов резервным комплектом.

Для замены ТСО , которые вышли из строя, создается резерв от общей численности имеющихся изделий, но не менее 1-го комплекта каждого образца, который хранится, как правило, на складе воинской части. Допускается образование резерва аппаратуры в отдельно дислоцированных подразделениях.

Основными причинами пропуска сигналов от средств обнаружения являются:

- заниженная чувствительность;
- наличие уязвимых мест на рубежах охраны;
- смена размещения предметов и конструкций в зоне обнаружения;
- прохождения зоны обнаружения при помощи хитростей;
- нарушение технических условий по установке чувствительных элементов;

- использование аппаратуры (изделия) за пределами его ТТХ;
- отказ или неисправность самого средства обнаружения, его чувствительного элемента, а также соединительных линий;
- несвоевременное или не в полном объеме проведение технического обслуживания.

Каждый случай пропуска сигналов от средств обнаружения расследуется и мгновенно осуществляются мероприятия по их недопущению в последствии как на объекте, где произошел пропуск сигналов, так и на других объектах с аналогичными средствами обнаружения и докладывается лицу, которое отвечает за состояние ТСО в подразделении.

По результатам расследования фактов пропуска сигналов от средств обнаружения, в случае необходимости, командиром воинской части выдаются приказы и к виновникам принимаются меры дисциплинарного воздействия.

Аналогичная работа проводится для исключения проникновений нарушителей на объекты (с объектов), которые охраняются, через коммуникации, инженерные заграждения на уязвимых участках запрещенных зон, которые по каким – либо причинам не были оборудованы средствами обнаружения.

Таким образом, при проведении реконструкции (модернизации) СФЗ необходимо обосновать замену или продление ресурса имеющихся ТСО КВОИ. Рассмотрим применение описанного метода на примере ТС «Пион», «Радиян-М». На работу приборов «Радиян-М», «Пион-В», а также их технические характеристики и параметры влияют следующие факторы:

- погодные условия (снег, дождь, ветер, перепады температур, налипание снега);
- несвоевременная уборка зоны обнаружения приборов от растительности и посторонних предметов;
- небрежное проведение ТО личным составом (измерение параметров, смазки механической части, чистка разъемов от окиси, настройки, целостность линейно кабельной части);
- скопление птиц или животных в зоне обнаружения.

Прибор Радиян-М считается исправным и готовым к использованию, если его технические характеристики имеют следующие параметры:

- напряжение питания 24В, (+ 30% – 15%) и пульсации не больше 5%;
- ток потребления не более 75 мА;
- частота электрического сигнала антенной системы 43,44 или 45 кГц;
- сопротивление антенного кабеля между центральной жилой и экраном не менее 0,5 МОм;

- напряжение на выходе стабилизатора напряжения (гнездо «-16») равна 15,5 – 16,5 В;
- напряжение баланса антенной системы не превышает 8 В (гнездо «Б»);
- напряжение на выходе порогового устройства (в состоянии покоя) 13-17 В (гнездо «Т»);
- время восстановления прибора после срабатывания не должен превышать 8-12 сек.;
- срабатывание прибора должно происходить при подъеме руки к антенной системе на расстояние 2-3 см.

Прибор Пион-В считается исправным и готовым к использованию если его технические характеристики имеют следующие параметры:

- напряжение питания 24 В, (+ 13 -3 В);
- ток потребления не более 10 Вт,
- наличие смазки на неокрашенных частях прибора (гайки, болты);
- отсутствие наличия нарушения окраски, коррозии, вмятин, пробоя на корпусе;
- отсутствие пыли грязи и снега на передатчики и приемники, а также на средствах крепления;
- надежно закрепленные опорные стойки;
- целостность изоляции кабельной части;
- приемник и передатчик должны быть от юстированы согласно технического описания;
- параметры должны быть измерены и настроены с помощью приставки ПП-9Т, на приемнике должны соответствовать следующим показателям:
 - входное напряжение питания $U_{пит} = 21 - 37В$;
 - выход стабилизатора напряжения «-20» = 18-21В;
 - напряжение на входе усилителя $U_{ус} = 4,5 В$;
 - напряжение усилителя без АРУ 5 – 8 В;
 - общий уровень приема сигнала «-10дБ» = 7 – 9 В.

На передатчике параметры должны соответствовать следующим показателям:

- входное напряжение питания $U_{пит} = 21 - 37В$;
- выход стабилизатора напряжения «-20» = 18-21В;
- напряжение питания ГЛПД излучателя $U_{гпд}$ – не менее 25В;
- ток стабилизатора ГЛПД излучателя $I_{стаб} = 3,2 - 10 мА$;
- ток генератора излучателя $I_{ген} = 4-10 мА$.

После настройки прибор проверяют на срабатывание проходом от передатчика на расстоянии 15-20 м в полный рост и согнувшись до высоты не более 50 см. Прибор должен выдать сигнал срабатывания. Если эти параметры соответствуют измеренным, то прибор считается исправным и на-

строенным. Измерение параметров производится во время технического обслуживания (ТО-2) и сезонного обслуживания, результаты контроля экземпляров приборов Пион-В и Радиан за 2014 год приведены в приложении А.

Исследуемые ТСО условно обозначим как «Устройство-1». «Устройство-1» предназначено для фиксации нарушения охраняемого рубежа и выдачи на включение средств звуковой и световой сигнализации. Аппаратура работает бесперебойно, стационарно, при температуре окружающей среды от минус 50° до плюс 50° С и относительной влажности 98% при температуре 30° С. Аппаратура устанавливается на столбах (цементных, деревянных и т.п.) или при помощи кронштейнов прикрепляется на заборах и стенах домов.

Срок эксплуатации «Устройства-1» – 72 месяца, фактически они используются в в/ч, начиная с 1982 года, уже отработали по 2-4 срока эксплуатации. Но благодаря всем мероприятиям и правильному обслуживанию, их можно еще использовать несколько сроков, при этом не понижая коэффициента работоспособности и степени защищенности в целом и безопасности охраняемого объекта. При продлении срока эксплуатации экономятся финансовые средства.

Рассмотрим применение рассмотренного выше метода прогнозирования ОР и программного обеспечения на его основе для экземпляров устройств, эксплуатирующихся в/ч по охране АЭС. Для «Устройства-1» (40 шт, 38 исправных, таблица 4.6), $\bar{T}_n = 53500$ часов, режимы наблюдений I, II, III.

На рис. 4.16. представлено определение наиболее значимой РХ для «Устройства-1» в $T_0 = 63$ условных единиц времени (18900 часов), режим наблюдений $T_0^1 < T_n$. Определена наиболее значимая РХ – T_n .

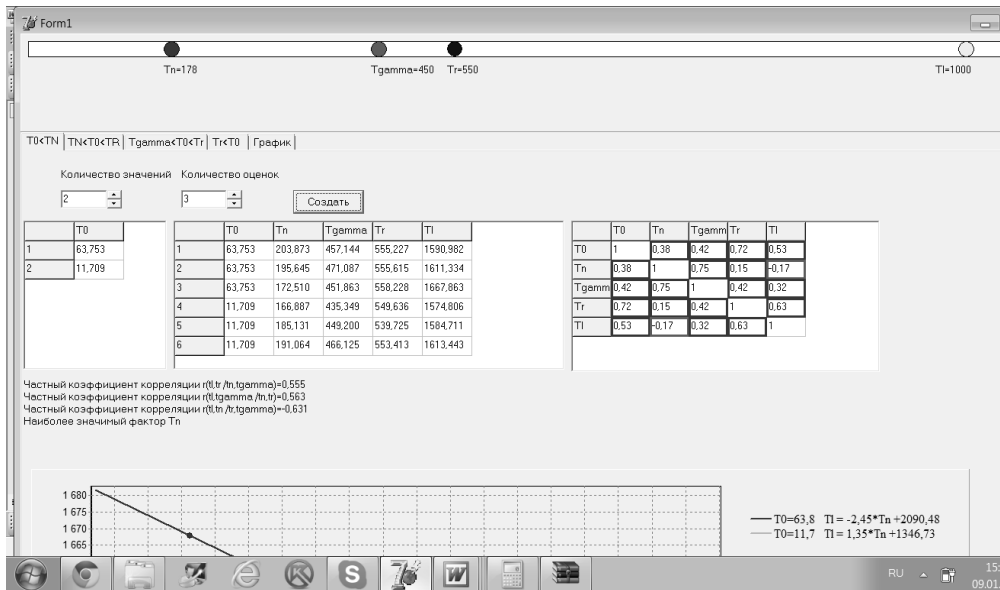


Рис.4.16. Режим наблюдений I

На рис. 4.17 представлено определение наиболее значимой РХ для «Устройства-1» в $T_0=207$ условных единиц времени (62100 часов), режим наблюдений $T_n < T_0 \leq T_\gamma$. Значение $T_\ell=300000$ часов. Определена наиболее значимая РХ – T_n , построено регрессионное уравнение для T_ℓ , которое показано в нижней правой части экранной формы на рис.4.17.

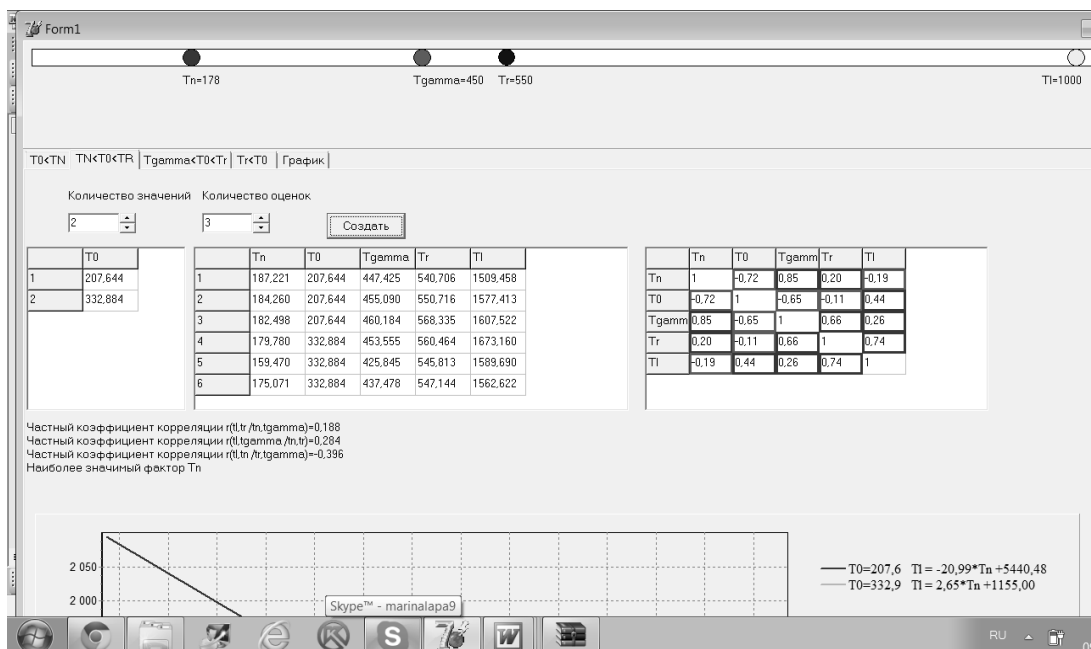


Рис.4.17. Режим наблюдений II

На рис.4.18 показаны результаты анализа для $T_0=538$ условных единиц времени (161400 часов), режим наблюдений III. Наиболее значимой оказалась $PX \bar{T}_r$, построено регрессионное уравнение для T_ℓ , которое показано в нижней правой части экранной формы на рис.4.22

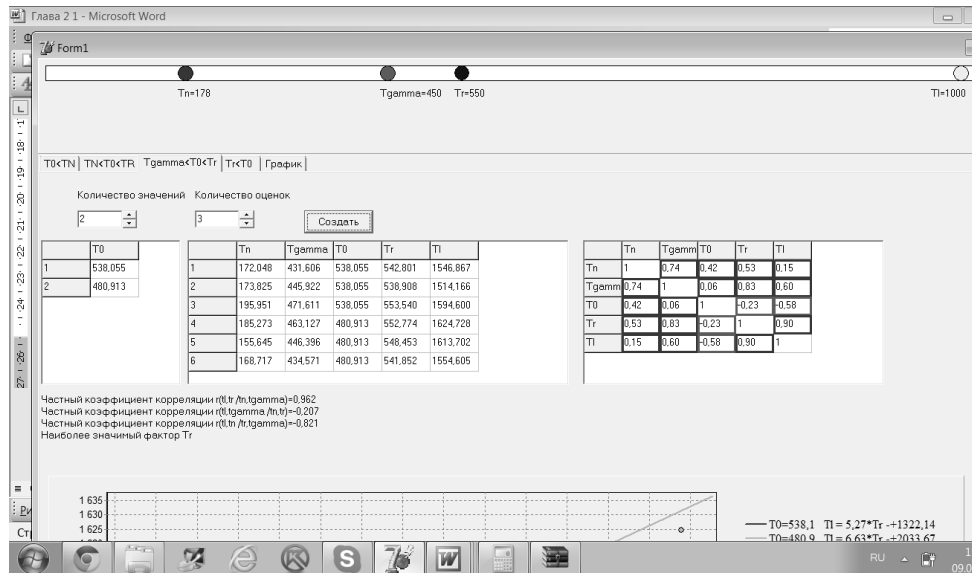


Рис.4.18. Режим наблюдений III

По результатам апробации метода и программного модуля усовершенствован метод прямого прогнозирования остаточного ресурса сложных изделий на основе корреляционно-регрессионного анализа их PX и доработано программное обеспечение. На рис.4.19 показаны результаты работы усовершенствованного ПО.

Остаточный ресурс, рассчитанный после доработки метода и ПО для рассматриваемого средства обнаружения в точке оценки $T_0=110000$ часов равен:

$$T_\ell = 1,57 * 53500 + 140571,43 = 224566,43 \text{ (ч)};$$

$$T_{op} = T_\ell - T_0 = 114566,43 \text{ (ч)}.$$

Таким образом, рассмотренный метод может использоваться для ТСО КВОИ.

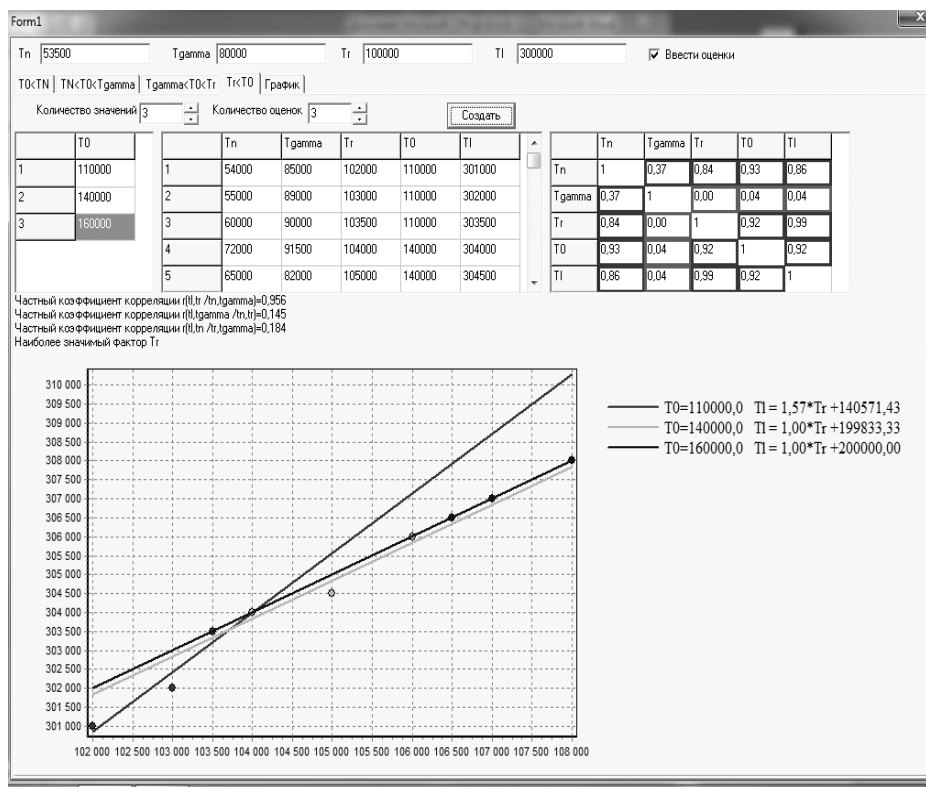


Рис. 4.19. Режим наблюдений IV

Работы по продлению срока эксплуатации ТСО проводятся на плановой основе. Процедура проведения работ предусматривает проведение анализа надежности по эксплуатационным данным с использованием методов статистической оценки показателей надежности для оборудования, у которого в ТУ определены показатели надежности. Анализ эксплуатационной надежности оборудования в этом случае выполняется по действующим государственным стандартам или по утвержденным методикам. Анализ показателей надежности должен содержать:

- основные задачи анализа надежности для продления срока эксплуатации оборудования: определение изменения надежности во времени (тренда параметра потока отказов) ;
- анализ изменения надежности во времени с целью выявления тенденции к снижению надежности;
- определение статических оценок показателей надежности оборудования, его составных частей и анализ их соответствия показателям надежности в технической документации;
- анализ причин отказов;
- анализ влияния отказов оборудования на нарушения в работе КВОИ (например, АЭС);
- разработка рекомендаций в части мер, компенсирующих снижение надежности, при выявлении такого снижения;

- оценку возможности, условий и срока продления эксплуатации по данным эксплуатационной надежности;
- применяемые методики проведения анализа, разработанные с учётом требований действующих стандартов и нормативных документов;
- используемые источники получения исходных данных для проведения анализа надежности.

На рис. 4.20 представлена модель процесса анализа надежности ТСО «Объекта охраны-1».

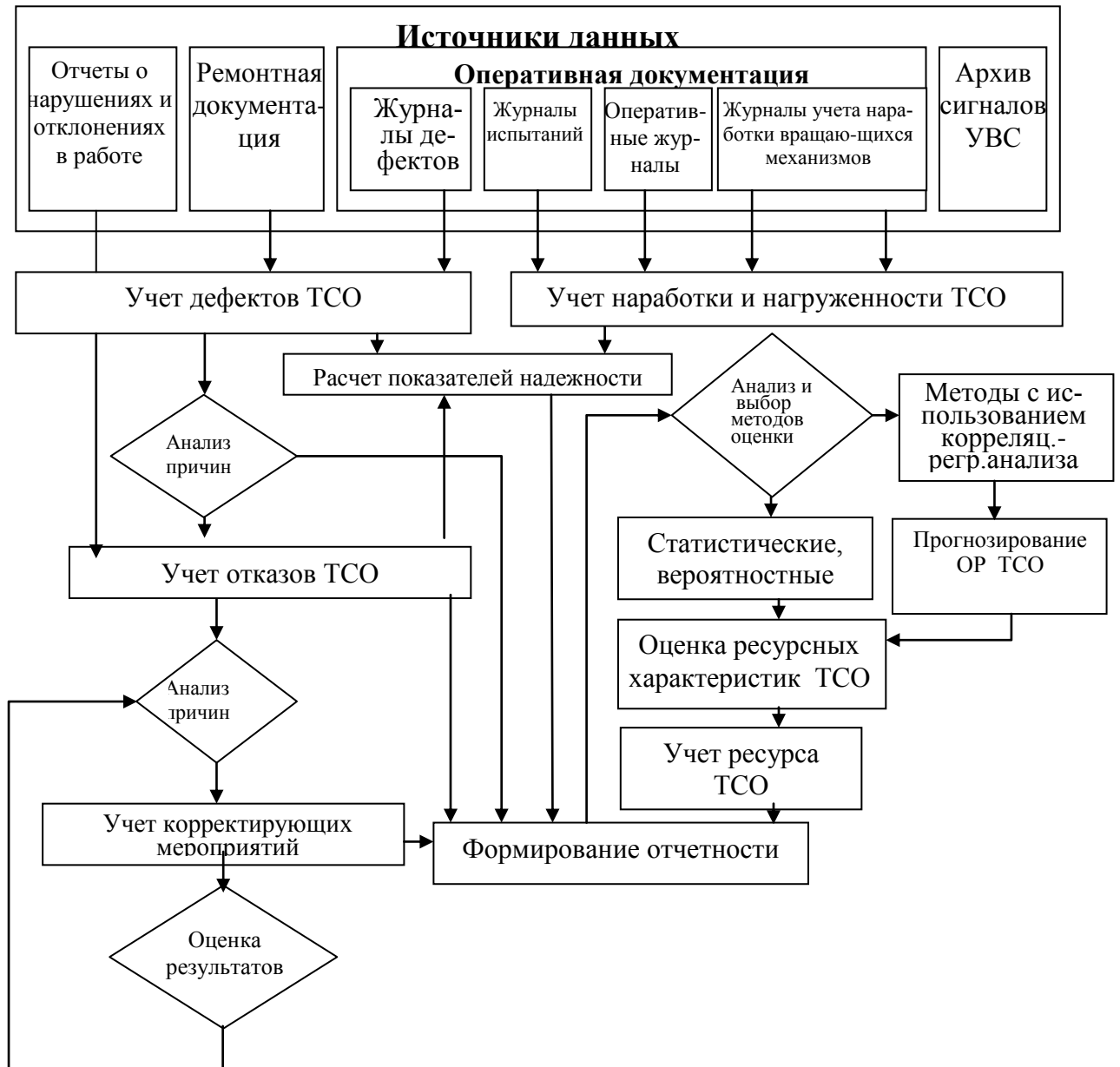


Рис.4.20. Модель процесса анализа надежности ТСО

Обоснованное продление ресурса ТСО КВОИ на основе прогнозных оценок с использованием корреляционно регрессионного анализа позволит получить экономический эффект.

4.4 Прогнозирование времени предельного состояния оборудования

Вопросы прогнозирования технического состояния оборудования КВОИ концептуально базируются, прежде всего, на следующих принципах [51]:

- реальный прогноз РС конкретного оборудования является случайной величиной (принцип стохастичности);
- научно обоснованный вывод о прогнозировании РС конкретного оборудования возможен на базе сочетания детерминированных и вероятностных подходов;
- при эксплуатации конкретного оборудования требуется прогнозирование индивидуального ресурса и определение возможности продолжительности его эксплуатации от момента контроля до предельного состояния (принцип прогнозирования индивидуального ресурса).

РС, как комплекс технических характеристик оборудования ОКП, определяется, прежде всего, его предельным состоянием, время попадания в которое является его определяющей РХ [162].

Таким образом, целью данного пункта является сравнительный анализ известных методов определения времени предельного состояния (ВПС) [96, 109, 163], обоснование, выбор наиболее эффективной аналитической модели для определения ВПС и получения соответствующих формул для оценивания ВПС конкретного оборудования ОКП, то есть индивидуального прогнозирования его показателя РС.

При анализе ВПС особый интерес представляет оценивание момента перехода оборудования в предельное состояние, который наступает по прохождении определенного интервала времени для каждого конкретного оборудования только один раз [79, 162]. При этом целесообразно выявление факторов, влияющих на изменение ВПС и определение возможности уменьшения их влияния в будущем в целях увеличения ВПС конкретного оборудования ОКП.

Для определения ВПС должны выполняться следующие условия:

- четкое установление момента начала отсчета ВПС;
- выбор масштаба измерения отсчета ВПС;
- точное определение условий наступления состояния отказа.

Наиболее часто применяемым для анализа ВПС в настоящее время является метод, предложенный Коксом [96], суть которого заключается в

исследовании функции правдоподобия, в анализе и сравнении нескольких выборок ВПС и определении наличия или отсутствия возмущающего внешнего воздействия на ВПС. Очевидно, что в вопросе анализа ВПС оборудования КВОИ следует учитывать еще и возможность увеличения данной характеристики.

Одновременно с методом Кокса для прогнозирования характеристик предельного состояния оборудования КВОИ широко распространена теория экстремальных величин, основы которой разработаны Э. Гумбелем [163]. Данная теория заключается в анализе вероятностей экстремальных значений параметров природного и техногенного характера и предсказании тех экстремумов, которые могут иметь место при дальнейшем наблюдении. Эволюция развития методов теории вероятностей экстремальных значений показана в работе [67], которая с учетом современных достижений позволила получить графические методы оценки и прогнозирования чрезвычайных ситуаций [109]. Главным преимуществом предлагаемого метода квантиль-диаграмм является то, что графические методы вероятностного анализа весьма эффективны и важны для исследования экстремальных значений в выборках. Данные графические методы оценки и прогнозирования наступления чрезвычайных ситуаций позволяют исследовать динамические изменения в распределениях случайной величины. В данном случае случайной величиной является какая-либо характеристика оборудования, подверженная изменению в процессе старения КВОИ. Неоспоримое преимущество данного метода заключается в простоте реализации, а его недостатками являются необходимость значительных статистических данных для анализа и сложность процесса прогнозирования изменения состояния оборудования КВОИ на основе истории измерений.

Общими недостатками описанных методов Кокса и квантиль-диаграмм являются:

- достаточно высокая погрешность статистических вычислений;
- сложность реализации процессов поддержки принятия решений;
- невозможность учета многоэтапного процесса восстановления оборудования КВОИ при решении задач управления его старением.

В целях решения проблемы прогнозирования ВПС оборудования КВОИ предлагается использовать теорию полумарковских процессов в условиях, когда возможно пополнение ресурса (частичного или полного восстановления) за счет проведения соответствующих работ технического обслуживания [162]. К достоинствам применения этого математического аппарата можно отнести:

- этапность учета пополнения ресурса оборудования КВОИ;
- отсутствие необходимости знания функции распределения в общем виде (достаточно знание функции только в определенных точках);

- оценивание не только вероятности переходов по состояниям, но и времени пребывания в состояниях, переходов между состояниями;
- отсутствие требований к однородности, что особенно важно при структурном разнообразии оборудования КВОИ;
- определение момента предельно допустимого времени окончания работ по восстановлению ресурса в целях дальнейшей максимизации ВПС оборудования КВОИ.

При дальнейшем исследовании оценки ВПС сложных изделий приняты следующие обозначения:

N – число этапов процесса уменьшения и восстановления ресурса оборудования КВОИ;

$F_i(x)$ – функция распределения случайных времен на i -м этапе уменьшения ресурса оборудования КВОИ;

i, k, l, m – индексы номеров этапов уменьшения ресурса оборудования КВОИ,

η_i – время, в течение которого сложное изделие может не обслуживаться;

θ_k – время пребывания сложного изделия в состоянии k в процессе уменьшения ресурса;

M – время перехода с этапа на этап уменьшения ресурса оборудования КВОИ;

h_i – время предельно допустимого момента окончания работ по восстановлению ресурса;

$t_{1,N}$ – время перехода в предельное состояние.

Предполагая, что сложное изделие КВОИ с конечным временем жизни описывается процессом естественного старения, можно представить его в виде ряда последовательных этапов. Границы этапов на временной оси образуют N точек, при этом число этапов равно $N-1$.

Таким образом, можно определить фазовое пространство $E = \{1, 2, \dots, N-1, N\}$. В каждом состоянии КВОИ обладает различными показателями надежности, долговечности и РС. Очевидно, что в процессе старения эти показатели (характеристики) ухудшаются, то есть:

- увеличивается вероятность отказа для компонентов оборудования КВОИ;

- уменьшается ресурс металлоконструкций из-за действия коррозионных процессов и т.д.

Наиболее важной системной характеристикой для этих условий является ВПС, которое определяет остаточное время жизни, а также общее время жизненного цикла оборудования КВОИ. Это время можно значительно продлить, если в процессе эксплуатации оборудования КВОИ вы-

полнять комплекс работ, направленных на частичное восстановление ресурса, что ведет к определенным затратам.

Существенный интерес представляет математическая модель, позволяющая принимать обоснованные решения по восстановлению ресурса и продлению остаточного времени жизни.

Описанным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют полумарковские случайные процессы, которые в последнее время, несмотря на некоторую громоздкость аппарата, становятся надежным инструментальным средством исследования [111].

В соответствии с этими соображениями можно построить модель оценки ВПС при частичном восстановлении ресурса на основе теории полумарковских процессов.

При этом предлагается следующая формализация.

1. Переход в следующее $(i+1)$ состояние (старение) происходит в случае, если время η_i , которое сложное изделие может функционировать без технического обслуживания, превысило h_i – момент окончания технического обслуживания. В случае, если система попадает в состояние с номером N , происходит отказ.

2. Время η_i , которое система может не обслуживаться, является случайной величиной, распределенной согласно закону распределения $F_i(x)$.

На рис. 4.21 для рассматриваемого полумарковского процесса с дискретным множеством состояний S_i при $i=1, \dots, N$ и непрерывным временем представлена вложенная цепь Маркова с указанием вероятностей соответствующих переходов $\zeta_{k,k}$.

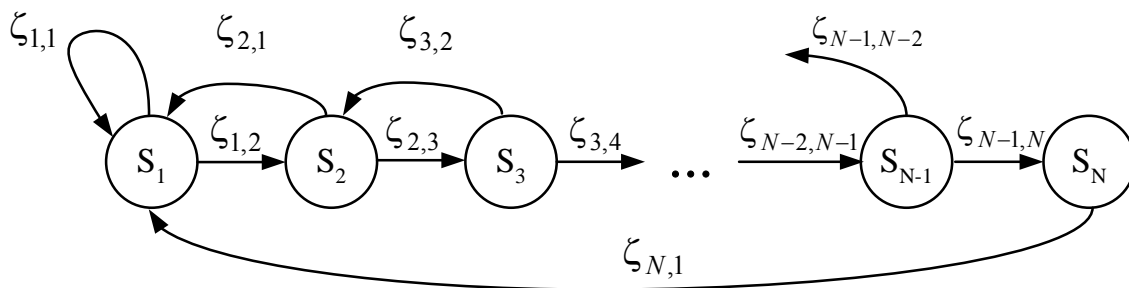


Рис. 4.21. Вложенная цепь Маркова для процесса старения оборудования КВОИ с частичным восстановлением

Для достижения поставленной цели необходимо оценить ВПС при частичном восстановлении ресурса для оборудования КВОИ. Полагая, что справедлива предложенная формализация, можно представить следующую последовательность оценки ВПС.

1. Процесс старения может быть задан двумя последовательностями: $\{\eta_k\}$ и $\{\zeta_{k,k}\}$. Вероятности переходов для вложенной цепи Маркова могут быть определены следующим образом:

$$\begin{cases} P\{\zeta_{n+1} = k+1 | \zeta_n = k\} = P\{\eta_k \leq h_k\} = F_k(h_k) \\ P\{\zeta_{n+1} = k-1 | \zeta_n = k\} = P\{\eta_k > h_k\} = 1 - F_k(h_k) = \bar{F}_k(h_k) \\ P\{\zeta_{n+1} = 1 | \zeta_n = 1\} = P\{\eta_1 > h_1\} = F_1(h_1) \\ P\{\zeta_{n+1} = 1 | \zeta_n = N\} = 1 \end{cases}$$

Остальные вероятности переходов равны нулю.

2. Определение времен θ_k пребывания ОКП в состоянии с номером k может быть выполнено на основе следующих оценок:

$$\begin{cases} \theta_k = \min\{\eta_k, h_k\} = \eta_k \wedge h_k, & k = \overline{1, N-1} \\ \theta_N = 0 \end{cases}$$

а времена пребывания в состоянии k при условии перехода в состояние l равны

$$\begin{aligned} \theta_{k,k+1} &= \eta_k \\ \theta_{k,k-1} &= h_k \\ \theta_{1,1} &= h_1 \\ \theta_{N,1} &= 0 \end{aligned}$$

Остальные времена переходов по состояниям равны нулю.

3. Времена $M_{k,l}$ переходов между этапами старения можно записать в виде следующей системы:

$$\begin{cases} M_{k,l} = h_k, & \text{если } l = k-1; \quad k = \overline{1, N-1} \\ M_{k,l} = M\{\eta_k\}, & \text{если } l = k+1; \quad k = \overline{2, N-1} \\ M_{1,1} &= h_1 \\ M_{N,1} &= 0 \end{cases}$$

Как известно [111], время пребывания в выделенном подмножестве состояний может быть определено аналитически в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{1,N} - (P_{1,1}t_{1,N} + P_{1,2}t_{2,N}) = P_{1,1}M_{1,1} + P_{1,2}M_{1,2} + P_{1,N}M_{1,N} \\ t_{2,N} - (P_{2,1}t_{1,N} + P_{2,3}t_{3,N}) = P_{2,1}M_{2,1} + P_{2,3}M_{2,3} + P_{2,N}M_{2,N} \\ \dots\dots\dots \\ t_{1,N} - (P_{i,i-1}t_{i-1,N} + P_{i,i+1}t_{i+1,N}) = P_{i,i-1}M_{i,i-1} + P_{i,i+1}M_{i,i+1} + P_{i,N}M_{i,N} \\ \dots\dots\dots \\ t_{N-1,N} - P_{N-1,N-2}t_{N-2,N} = P_{N-1,N-2}M_{N-1,N-2} + P_{N-1,N}M_{N-1,N} \end{array} \right. \quad (4.9)$$

С учетом приведенных выше равенств можно записать аналитическую модель в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{1,N} (1 - \bar{F}_1(h_1)) - t_{2,N} F_1(h_1) = \bar{F}_1(h_1) h_1 + F_1(h_1) M \{\eta_1\} \\ t_{2,N} - (t_{1,N} \bar{F}_2(h_2) + t_{3,N} F_2(h_2)) = \bar{F}_2(h_2) h_2 + F_2(h_2) M \{\eta_2\} \\ \dots\dots\dots \\ t_{i,N} - (t_{i-1,N} \bar{F}_i(h_i) + t_{i+1,N} F_i(h_i)) = \bar{F}_i(h_i) h_i + F_i(h_i) M \{\eta_i\} \\ \dots\dots\dots \\ t_{N-1,N} - t_{N-2,N} = \bar{F}_{N-1}(h_{N-1}) = \bar{F}_{N-1}(h_{N-1}) h_{N-1} + F_{N-1}(h_{N-1}) M \{\eta_{N-1}\} \end{array} \right.$$

Далее (для сокращения выкладок) обозначим:

$$\begin{aligned} h_i - F_i(h_i)(h_i - M \{\eta_i\}) &= b_i \\ F_i(h_i) &= F_i \end{aligned}$$

Тогда аналитическая модель примет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{1,N} F_1 - t_{2,N} F_1 = b_1 \\ -t_{1,N} \bar{F}_2 + t_{2,N} - t_{3,N} F_2 = b_2 \\ \dots\dots\dots \\ -t_{1-N} \bar{F}_i + t_{i,N} - t_{i+1,N} F_i = b_i \\ \dots\dots\dots \\ -t_{N-2,N} \bar{F}_{N-1} + t_{N-1,N} = b_{N-1} \end{array} \right.$$

Решение данной системы можно найти на основе метода полной математической индукции.

Во-первых, главный определитель приведенной выше системы $\Delta_N = \prod_{k=1}^{N-1} F_k$.

Во-вторых, нам необходимо найти дополнительный определитель $\Delta_{1,N+1}$ вида

$$\Delta_{1,N+1} = \begin{vmatrix} b_1 & -F_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_2 & 1 & -F_2 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{N-2} & 0 & 0 & \cdots & \overline{-F_{N-2}} & 1 & -F_{N-2} & 0 \\ b_{N-1} & 0 & 0 & \cdots & 0 & \overline{-F_{N-1}} & 1 & -F_{N-1} \\ b_N & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \overline{-F_N} & 1 \end{vmatrix}, \quad (4.10)$$

для которого справедлива рекуррентная формула

$$H_{N+1} = H_N - F_{N-1} \overline{F_N} H_{N-1} + b_N \prod_{k=1}^{N-1} F_k.$$

Простыми подстановками убеждаемся, что

$$\begin{aligned} H_2 &= b_1 \\ H_3 &= b_1 + b_2 F_1 = \sum_{i=1}^2 b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \\ H_4 &= b_1 + b_2 F_1 + b_3 F_1 F_2 \overline{F_3} = \sum_{i=1}^3 b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k - \sum_{i=1}^1 b_i \sum_{l=2}^2 F_l \overline{F_{l+1}} \end{aligned} \quad (4.11)$$

В соответствии с методом полной математической индукции предположим, что

$$\begin{aligned} H_{N-1} &= \sum_{i=1}^{N-2} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k - \sum_{i=1}^{N-4} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-3} F_l \overline{F_{l+1}} + \sum_{i=1}^{N-6} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-5} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-3} F_m \overline{F_{m+1}} - \dots \\ H_N &= \sum_{i=1}^{N-1} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k - \sum_{i=1}^{N-3} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-2} F_l \overline{F_{l+1}} + \sum_{i=1}^{N-5} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-4} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-2} F_m \overline{F_{m+1}} - \dots \end{aligned}$$

И на этом основании докажем справедливость следующего выражения:

$$\begin{aligned} H_N &= \sum_{i=1}^{N-1} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k - \sum_{i=1}^{N-3} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-2} F_l \overline{F_{l+1}} + \sum_{i=1}^{N-5} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-4} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-2} F_m \overline{F_{m+1}} - \dots \\ &\dots - F_{N-1} \overline{F_N} \sum_{i=1}^{N-2} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k + F_{N-1} \overline{F_N} \sum_{i=1}^{N-4} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-3} F_l \overline{F_{l+1}} - \\ &- F_{N-1} \overline{F_N} \sum_{i=1}^{N-6} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-5} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-3} F_m \overline{F_{m+1}} + \dots + b_N \prod_{k=1}^{N-1} F_k \end{aligned}$$

Сгруппируем выражения с одинаковым числом сомножителей:

$$H_{N+1} = \sum_{i=1}^N b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k - \left(\sum_{i=1}^{N-3} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-2} F_l \overline{F_{l+1}} + F_{N-1} \overline{F_N} \sum_{i=1}^{N-2} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \right) +$$

$$+ \left(\sum_{i=1}^{N-6} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-4} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-2} F_m \overline{F_{m+1}} + F_{N-1} \overline{F_N} \sum_{i=1}^{N-4} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-3} F_l \overline{F_{l+1}} \right)$$

Выражение в первых скобках преобразуем следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{N-3} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-2} F_l \overline{F_{l+1}} + \sum_{i=1}^{N-3} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k F_{N-1} \overline{F_N} + b_{N-2} \prod_{k=1}^{N-3} F_k F_{N-1} \overline{F_N} =$$

$$= \sum_{i=1}^{N-3} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \left(\sum_{l=i+1}^{N-2} F_l \overline{F_{l+1}} + F_{N-1} \overline{F_N} \right) + b_{N-2} \prod_{k=1}^{N-3} F_k F_{N-1} \overline{F_N} = \sum_{i=1}^{N-2} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-1} F_l \overline{F_{l+1}}$$

Аналогичным образом сгруппируем выражение во вторых скобках. В результате получим следующую формулу:

$$H_{N+1} = \sum_{i=1}^N b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k - \sum_{i=1}^{N-2} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-1} F_l \overline{F_{l+1}} + \sum_{i=1}^{N-4} b_i \prod_{k=1}^{i-1} F_k \sum_{l=i+1}^{N-3} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-1} F_m \overline{F_{m+1}} - \dots$$

Выведем закон для вычисления математического ожидания ВПС из предыдущего выражения:

$$t_{1,N} = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k} - \sum_{i=1}^{N-2} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k} \sum_{l=i+1}^{N-1} F_l \overline{F_{l+1}} + \sum_{i=1}^{N-4} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k} \sum_{l=i+1}^{N-3} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-1} F_m \overline{F_{m+1}} -$$

$$- \sum_{i=1}^{N-6} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k} \sum_{l=i+1}^{N-5} F_l \overline{F_{l+1}} \sum_{m=l+2}^{N-3} F_m \overline{F_{m+1}} \sum_{j=m+2}^{N-1} F_j \overline{F_{j+1}} + \dots \quad (4.12)$$

Таким образом, предложенный подход позволил получить формулу для оценки ВПС при частичном восстановлении ресурса оборудования КВОИ.

Рассмотрим модель оценки времени попадания в предельное состояние при полном восстановлении ресурса оборудования КВОИ. Для этого рассмотрим вложенную цепь Маркова для оборудования КВОИ с полным восстановлением (рис. 4.22).

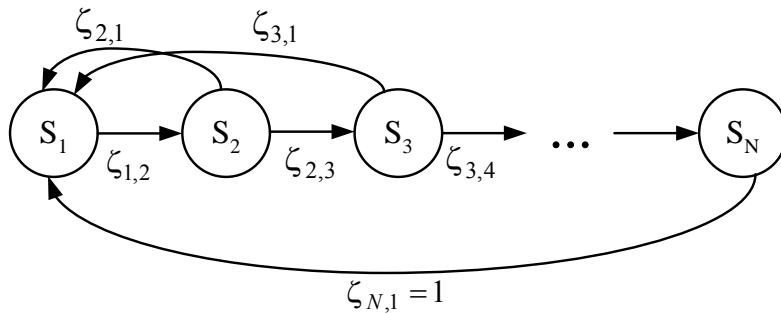


Рис. 4.22. Вложенная цепь Маркова для оборудования с полным восстановлением

Для оценки ВПС при полном восстановлении ресурса оборудования КВОИ используем подход, аналогичный вышеупомянутому.

1. Математическую модель процесса старения сложных изделий можно представить в виде

$$\begin{cases} P\{\zeta_{n+1} = k+1 | \zeta_n = k\} = P\{\eta_k \leq h_k\} = F_k(h_k) \\ P\{\zeta_{n+1} = 1 | \zeta_n = k\} = P\{\eta_k > h_k\} = 1 - F_k(h_k) = \overline{F}_k(h_k). \\ P\{\zeta_{n+1} = 1 | \zeta_n = N\} = 1 \end{cases}$$

Остальные вероятности переходов между состояниями вложенной цепи Маркова равны нулю.

2. Определение времен θ_k пребывания сложного изделия в состоянии с номером k может быть выполнено на основе следующих оценок:

$$\begin{cases} \theta_k = \min\{\eta_k, h_k\} = \eta_k \wedge h_k, & k = \overline{1, N-1} \\ \theta_N = 0 \end{cases}$$

3. Время $M_{k,l}$ переходов между этапами старения можно записать в виде следующей системы:

$$\begin{cases} \theta_{k,k+1} = \eta_k \\ \theta_k = h_k \\ \theta_{N,1} = 0 \end{cases}$$

Как известно [111], время пребывания в выделенном подмножестве состояний может быть определено аналитически в следующем виде:

$$\begin{cases} t_{1,N} - (P_{1,1}t_{1,N} + P_{1,2}t_{2,N}) = P_{1,1}M_{1,1} + P_{1,2}M_{1,2} + P_{1,N}M_{1,N} \\ t_{2,N} - (P_{2,1}t_{1,N} + P_{2,3}t_{3,N}) = P_{2,1}M_{2,1} + P_{2,3}M_{2,3} + P_{2,N}M_{2,3} + P_{2,N}M_{2,N} \\ \dots \\ t_{i,N} - (P_{i,1}t_{1,N} + P_{i,(i+1)}t_{i+1,N}) = P_{i,1}M_{i,1} + P_{i,(i+1)}M_{i,i+1} + P_{(i+1),N}M_{(i+1),N} \\ \dots \\ t_{N-1,N} - P_{N-1,1}t_{1,N} = P_{N-1,1}M_{N-1,1} + P_{(N-1),N}M_{N-1,N} \end{cases}$$

Подставляя ранее записанные значения вероятностей переходов и времен переходов между состояниями, получим следующую систему:

$$\begin{cases} t_{1,N} - t_{1,N} \bar{F}_2(h_2) - t_{3,N} F_2(h_2) = \bar{F}_2(h_2) + F_2(h_2) M \{ \eta_2 \} \\ \dots \\ t_{i,N} - t_{1,N} \bar{F}_i(h_i) - t_{i+1,N} F_i(h_i) = \bar{F}_i(h_i) h_i + F_i(h_i) M \{ \eta_i \} \\ \dots \\ t_{N-1,N} - t_{1,N} \bar{F}_{N-1}(h_{N-1}) = \bar{F}_{N-1}(h_{N-1}) h_{N-1} + F_{N-1}(h_{N-1}) M \{ \eta_{N-1} \} \end{cases}$$

В результате математических преобразований, аналогичных преобразованиям (4.11) – (4.12), можно получить следующую формулу для вычисления $t_{1,N}$:

$$t_{1,N} = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{h_i - F_i(h_i) [h_i - M \{ \eta_i \}]}{\prod_{m=1}^{N-1} F_m(h_m)}. \quad (4.13)$$

Полученные аналитические выражения для вычисления точечных оценок математического ожидания ВПС не позволяют судить о допустимых изменениях ВПС. При принятии решения о продлении назначенного ресурса, для большего его обоснования, необходимо учитывать также и степень вариации данной величины, более полное представление о которой могут дать интервальные оценки. Они могут быть построены на основе пессимистических и оптимистических оценок, значений соответствующих функций распределения на этапах.

Оценка степени вариации ВПС должна выполняться на основе получения интервальных оценок $t_{1,N}$, путем внесения оптимистической F^o и пессимистической F^p оценок функций распределения случайных величин на этапах уменьшения ресурса оборудования КВОИ и вычисления $t_{1,N}$ для этих величин. На рис. 4.23 приведен пример номинальной, оптимистической и пессимистической оценок функции распределения.

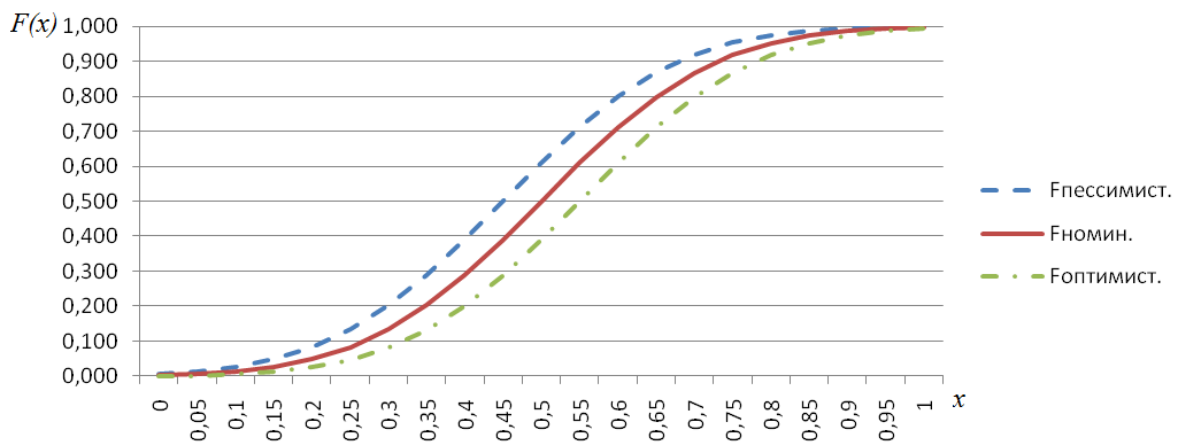


Рис. 4.23. Пример пессимистической, оптимистической, номинальной оценок функции распределения случайных величин на этапах уменьшения ресурса объекта

В общем случае интервальная оценка ВПС может быть определена как разность между пессимистической и оптимистической оценками $t_{1,N}$. Вычитая из пессимистической оптимистическую оценку ВПС, получаем интервальную оценку оборудования КВОИ систем с частичным восстановлением ресурса ΔT :

$$\Delta T = \left(\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{N-1} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k^p} - \sum_{i=1}^{N-2} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k^p} \sum_{l=i+1}^{N-1} F_l^p F_{l+1}^p + \sum_{i=1}^{N-4} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k^p} \sum_{l=i+1}^{N-3} F_l^p F_{l+1}^p \sum_{m=l+2}^{N-1} F_m^p F_{m+1}^p - \\ & \sum_{i=1}^{N-6} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k^p} \sum_{l=i+1}^{N-5} F_l^p F_{l+1}^p \sum_{m=l+2}^{N-3} F_m^p F_{m+1}^p \sum_{j=m+2}^{N-1} F_j^p F_{j+1}^p + \dots \end{aligned} \right) -$$

$$\left(\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{N-1} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k^o} - \sum_{i=1}^{N-2} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k^o} \sum_{l=i+1}^{N-1} F_l^o F_{l+1}^o + \sum_{i=1}^{N-4} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k^o} \sum_{l=i+1}^{N-3} F_l^o F_{l+1}^o \sum_{m=l+2}^{N-1} F_m^o F_{m+1}^o - \\ & \sum_{i=1}^{N-6} \frac{b_i}{\prod_{k=i}^{N-1} F_k^o} \sum_{l=i+1}^{N-5} F_l^o F_{l+1}^o \sum_{m=l+2}^{N-3} F_m^o F_{m+1}^o \sum_{j=m+2}^{N-1} F_j^o F_{j+1}^o + \dots \end{aligned} \right)$$

Аналогичным образом для КВОИ с полным восстановлением ресурса можно получить следующую формулу для нахождения интервальной оценки ВПС:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{h_i - F_i^p(h_i) [h_i - M\{\eta_i\}]}{\prod_{m=1}^{N-1} F_m^p(h_m)} - \sum_{i=1}^{N-1} \frac{h_i - F_i^o(h_i) [h_i - M\{\eta_i\}]}{\prod_{m=1}^{N-1} F_m^o(h_m)}.$$

Предложенные аналитические модели на базе теории полумарковских процессов обладают высокой точностью и наибольшей функциональной полнотой, однако использование их затруднено из-за высокой сложности результирующих формул для процессов с большим числом состояний.

Решение данной проблемы может быть найдено с использованием имитационных моделей процессов старения, обеспечивающих более детальный учет всех особенностей данного конкретного случая [164] и методов статистической обработки результатов. Построение имитационной модели не вызывает особенных затруднений даже для процессов с большим числом этапов. Неизбежно возникающая погрешность при имитационном моделировании может быть учтена в результате статистической обработки результатов.

Тогда в результате полученных данных можно привести типовой алгоритм вычисления ВПС для оборудования КВОИ, представленный ниже.

1. Определение числа этапов на основе экспертной оценки, с учетом функциональных или структурных особенностей рассматриваемого ОКП. К примеру, для оборудования КВОИ обычно выделяют три следующих этапа [1, 45, 51, 83]:

- период приработки;

- период нормальной эксплуатации;
- период интенсивного износа и старения (попадание в предельное состояние).

2. Выполнение на основе статистического анализа идентификации функции распределения времени потери ресурса для этапов, выделенных в пункте 1. Для идентификации функции распределения необходимо выполнить следующие шаги:

- 2.1. Составление статистических рядов распределения.
- 2.2. Построение гистограмм распределения.
- 2.3. Оценка математического ожидания и среднеквадратического отклонения полученного распределения.
- 2.4. Выравнивание статистических рядов одним из выбранных методов (способ Чебышева, методы гармонического анализа, метод скользящих средних и т.д.).
- 2.5. Составление пополняемой библиотеки возможных функций распределения, например: экспоненциальная; равномерная; нормальная; Вейбулла и др.
- 2.6. На основе статистических критериев Пирсона, законов Смирнова, Вилкоксона; критерия знаков и др. проверка гипотезы о возможности описания экспериментальных данных тем или иным законом распределения [51, 68].

2.7. Принятие решения о выборе закона распределения и оценки его параметров.

3. Нахождение значения функций распределения в критических точках уменьшения ресурса одним из известных способов (итерационные формулы, с помощью существующих интегрированных сред MathCad, Matlab и др.). Оценивание отклонения полученных значений от нуля.

4. Вычисление дополнительного определителя с использованием формулы (4.9).

5. Вычисление всех определителей, с использованием формул (4.10).

6. На основе полученных формул (4.12), (4.13) оценить время $t_{1,N}$.

7. Повторить пункты 2 – 6 для пессимистической и оптимистической оценок функций распределения времен потери ресурса.

Пункт 2 данного алгоритма должен повторяться каждый раз при получении новых данных об эксплуатации ОКП. Библиотеки возможных функций распределения и критериев проверки статистических гипотез должны постоянно расширяться.

В заключение можно сформулировать, что:

- получены оценки времени предельного состояния при частичном и полном восстановлении ресурса КВОИ;
- предложена интервальная оценка ВПС оборудования КВОИ;
- приведен типичный алгоритм вычисления времени попадания в предельное состояние оборудования КВОИ;
- показано, что для оценивания ВПС сложных объектов наибольшей функциональной полнотой обладают модели, основанные на теории полумарковских процессов.

В заключение можно привести сравнительный анализ рассмотренных в данной работе методов оценки времени жизни КВОИ (табл. 4.7).

Т а б л и ц а 4.7

Сравнительный анализ методов оценки времени предельного состояния

Исходные данные	Модель Кокса	Графические методы на базе теории Гумбеля	Модель на основе теории полумарковских процессов
Используемая в модели постановка задачи	Анализ наличия внешнего воздействия, повлиявшего на ВПС объектов. Одноэтапные процессы старения.	Анализ наличия внешнего воздействия на объекты, приведшего к увеличению вероятности отказа. Одноэтапные процессы старения.	Оценка и прогнозирование ВПС для систем с частичным или полным восстановлением. Многоэтапные процессы старения.
Структура анализируемых объектов	Совокупность однокомпонентных однородных объектов.	Система линейной и последовательной структуры, состоящая из разнородных компонентов.	Любая сложная структура, процесс старения которой может быть описан несколькими этапами.
Требования к априорной информации	Выборки случайных величин X и Y .	Выборки случайных величин X и Y .	Законы распределения случайных величин F_i на этапах старения системы. Моменты осуществления $TO(h_i)$.
Область применения	Определение наличия и мощности воздействия внешних факторов.	Определение наличия и мощности воздействия внешних факторов.	<ul style="list-style-type: none"> • Прогнозирование ВПС ОКП; • Описание процесса старения оборудования КВОИ; • Применение моделей в СППР.
Адаптивные свойства	Слабые адаптивные свойства.	Средние адаптивные свойства.	Высокие, в силу использования законов распределения в качестве априорной информации.
Необходимость использования информационных технологий	Нет	Нет	Да, в силу сложных математических вычислений. Возможно построение имитационных моделей.

В ы в о д ы

1. Усовершенствован подход для анализа ресурсных характеристик сложных изделий на основе корреляционно-регрессионного анализа, что позволяет с помощью предлагаемой методики решать задачу индивидуального прогнозирования остаточного ресурса конкретного оборудования КВОИ. Усовершенствован процесс анализа показателей долговечности ТСО АЭС. Полученные результаты исследований позволят разработать нормативную документацию для оценки показателей долговечности уникального высоконадежного оборудования СФЗ. Показано применение корреляционно-регрессионного анализа для выбора значимых ресурсных характеристик ТСО КВОИ и оценке окончательного ресурса ТСО при реконструкции СФЗ.

2. Разработан новый метод для индивидуального прогнозирования времени предельного состояния сложного объекта, что позволяет выполнять его интервальную оценку и представить типовой алгоритм вычисления времени предельного состояния сложных объектов, основанный на теории полумарковских процессов, модели которого обладают наибольшей функциональной полнотой.

Глава 5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ

5.1 Принципы создания системы прогнозирования показателей ресурсоспособности

При рассмотрении актуальных задач прогнозирования РХ КВОИ в [1] предлагается для значительного снижения трудностей при выборе рациональной периодичности средних и капитальных ремонтов, а также согласования случайных значений межремонтного ресурса с детерминистически заданной периодичностью профилактических мероприятий, применение системы индивидуального прогнозирования, при которой каждый исследуемый объект имеет свой график технического обслуживания. В качестве основных требований, которые предъявляются к прогнозирующей системе, можно выделить следующие:

- обеспечение достаточно точного прогноза, качество которого можно оценить по определенному критерию;
- гибкое реагирование на изменение оценок РХ;
- удовлетворение требований, учитывающих специфику организации сбора, наблюдения, накопления и обработки информационных данных в условиях ограниченной исходной информации;
- обеспечение доминантного критерия повышения качества на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации исследуемого объекта для удовлетворения его показателей долговечности, включая как показатели РС, так и РХ.

Прогнозирование РХ КВОИ – ключевой момент при принятии решения об их физической, экономической и проектной долговечности, эффективность которого зависит в том числе и от последовательности событий, возникающих уже после его принятия. Риск и экономические потери от необоснованно принимаемых решений о прекращении эксплуатации конкретного ОКП или о необоснованном продлении назначенного ресурса его оборудования велики [45]. Поэтому одним из путей решения проблемы долговечности ОКП может быть повышение качества обоснованных выводов о показателях РС оборудования с помощью специальной системы прогнозирования как упорядоченной совокупности методик, реализованных на основе технических средств и технологий, функционирующих в соответствии с основными принципами теории прогнозирования.

Рассмотрим применительно к проблеме оценивания и прогнозирования показателей РС и РХ сложных объектов методологические принципы прогнозирования. В данной постановке проблемы следует учитывать социально-экономические аспекты прогнозирования, а также то, что предлагаемая далее система прогнозирования представляет собой часть общей системы менеджмента КВОИ. Одновременно необходимо более четко и детально определить данную проблему прогнозирования.

Результаты прогнозирования используются для принятия решений, природа которых должна обосновать большинство требуемых характеристик прогнозируемой системы. Следует отметить, что дальнейшее рассмотрение вопросов создания системы прогнозирования показателей РС КВОИ основано, прежде всего, на материалах предыдущих глав данной монографии. Изучение решаемой проблемы прогнозирования предлагается выполнять в следующей последовательности.

1. При определении того, что нужно прогнозировать, необходимо выявить переменные и характеристики-аргументы, которые предварительно анализируются и предсказываются. Здесь очень важен требуемый уровень детализации, который в данном случае определяется предложенным во второй главе монографии перечнем показателей РС и оговоренными технической документацией РХ оборудования КВОИ. Следует отметить, что на данном этапе необходим как тщательный анализ эффективности применяемых критериев и глубокое исследование свойств и динамики состояний РС КВОИ, с учетом влияющих внешних и внутренних воздействующих факторов, определяющих коренные причины отказов оборудования КВОИ, так и анализ характеристик-аргументов при инфологическом моделировании предметной области для оценивания РХ КВОИ. На используемый уровень детализации влияет множество факторов, основными из которых являются доступность и точность исходных данных, наличие нормативно-технической документации, включая разработанные или усовершенствованные методы, способы и технологии оценивания и прогнозирования исследуемых показателей и характеристик, подбор и формирование групп высококвалифицированных экспертов равнозначной компетенции и т.д.

2. При построении системы прогнозирования очень важно определение трех параметров: периода прогнозирования, горизонта прогнозирования и интервала прогнозирования. Период прогнозирования – это основная единица времени, на которую делается прогноз, горизонт – число периодов в будущем, которые покрывает прогноз, а интервал определяет частоту, с которой делается новый прогноз.

Выбор периода и горизонта прогнозирования обычно диктуется условиями принятия решения в области, для которой производится прогноз. При этом горизонт прогнозирования должен быть не меньше, чем время, необходимое для реализации решения, принятого на основе прогноза. По-

сколькx с увеличением горизонта прогнозирования точность прогноза снижается, можно, уменьшив время, необходимое на реализацию решения, то есть ограничив горизонт, уменьшить ошибку прогнозирования.

Интервал прогнозирования определяется системой организации наблюдений, накопления и обработки исходных данных, которая обеспечивает информацию о прогнозируемой переменной. Следует отметить, что такая информация для оборудования КВОИ, как правило, ограничена по объективным и субъективным причинам [47]. Поэтому назначение указанных параметров и порядок работы с ними оговариваются как в нормативно-технической документации, так и руководящими указаниями, в зависимости от оценки технического состояния оборудования КВОИ. Для показателей РС объектов, которые рассмотрены во второй главе данной монографии, целесообразно определение указанных трех параметров создаваемой системы прогнозирования осуществлять для определяющих показателей РС или РХ.

3. Форма прогноза, требуемая для создаваемой системы, определяется оценкой вариации ожидаемого значения выбранной переменной, а также оценкой вариации ошибки прогнозирования или промежутка, на котором сохраняется вероятность содержания реальных будущих значений переменной, называемого предсказуемых интервалом. Для оборудования КВОИ важное значение имеет предсказание значительных изменений поведения определяющего показателя РС или РХ, которые могут предопределить момент перехода исследуемого оборудования (или процесса) в неуправляемое состояние.

Для рассмотрения таких вопросов целесообразно воспользоваться материалами как второй, так и четвертой главы данной монографии, которые позволяют оценивать динамику состояний РС КВОИ, а также нормировать их время предельного состояния.

4. Точность прогноза, требуемая для конкретной проблемы, определяет способность создаваемой системы прогнозирования добиваться наилучших результатов при работе в условиях неопределенности. Поэтому соответствующие факторы необходимо учитывать при рассмотрении проблемы прогнозирования.

Прежде всего, если известно, что исследуемый процесс стабилен или изменения во времени происходят медленно, то необходимо активное использование априорных данных, а также другой статистической информации, что требует оценивания их уровня однородности [79]. Одновременно с этим, важным фактором при создании системы прогнозирования является доступность исходных данных. К сожалению, в силу различных объективных и субъективных причин полнота и достоверность таких данных не всегда достаточна [51]. Одним из важных источников такой информации являются результаты исследования коренных причин отказов оборудования КВОИ, которые не всегда носят окончательный характер.

Не менее важным фактором проблемы прогнозирования являются возможности экспертов, которые производят субъективную оценку с помощью качественных процедур, то есть осуществляют экспертное оценивание показателей РС и РХ КВОИ.

Следует также отметить, что известны качественные процедуры прогнозирования [193], которые позволяют явно объявить его результаты. Применение таких процедур показано во второй, третьей, четвертой и пятой главе данной монографии.

Таким образом, учитывая изложенное и материалы работ [193 – 197], можно сформулировать десять принципов создания системы прогнозирования показателей РС КВОИ: системности, согласованности, вариантности, непрерывности, адекватности, единства, научной обоснованности, целенаправленности, сочетания и выбора основных факторов.

Принцип системности определяет, что исследуемое оборудование рассматривается, с одной стороны, как целостный объект, а с другой, – как совокупность относительно самостоятельных его элементов. Системный подход предлагает построение прогнозов на основе системы методов и моделей, характеризующейся упорядоченной последовательностью, что позволяет корректно разрабатывать непротиворечивый прогноз. Одним из подходов реализации принципа системности может быть создание и унификация моделей элементов исследуемого оборудования. Автором разработана модель динамики состояний ресурсоспособности [101], унифицированная относительно влияния определяющих причин отказов на РС сложных изделий, что показано во второй главе монографии.

Принцип вариантности требует разработки возможного прогноза состояния исследуемого объекта по разным траекториям его поведения. Главная проблема реализации этого принципа заключается в том, чтобы отделить реалистичные варианты развития от вариантов, которые при прогнозируемых условиях не могут быть осуществимы. Одним из подходов применения данного принципа может быть исследование оптимистического и пессимистического характера поведения рассматриваемого показателя РС, а также его экстремальных состояний в виде интенсивного и экстенсивного характера поведения. Наличие нескольких вариантов необходимо для получения адекватной оценки. Путем сравнения различных вариантов прогнозов можно выбрать наиболее достоверные среди них. Автором предложены аналитические модели для реализации данного принципа [81, 162], которые рассмотрены во второй и четвертой главах монографии.

Принцип согласованности требует согласования поискового прогноза, который строится с использованием нормирования исследуемого показателя ресурсоспособности, позволяющего установить вероятность его осуществления, и нормативного прогноза, при котором происходит такое же распределение вероятностей, но в обратном порядке: от заданного состояния к наблюдаемым тенденциям. Данный принцип основывается на подходе к аналитическому прямому и обратному прогнозированию [79], который применяется автором при нормировании времени предельного состояния ОКП [82].

Данный принцип также требует согласования прогнозов различной природы, которые в рассматриваемой постановке проблемы определяются различным характером причин определяющих отказов оборудования КВОИ. Автором предложен подход реализации этого принципа с помощью систематизации свойств ресурсоспособности объектов [87].

Принцип адекватности определяет максимальное приближение теоретической модели к устойчивым существенным закономерностям, предполагая учет реальных процессов, определение возможного диапазона отклонений или оценки степени вероятности реализации выделенной тенденции. Практически для этого необходима проверка на однородность ретроспективной информации и репрезентативность выборочных наблюдений. Важность этого принципа для создания системы прогнозирования таких объектов как КВОИ, не вызывает сомнений, что подтверждается материалами первой, второй, третьей, четвертой и пятой глав монографии.

Принцип непрерывности требует корректировки прогноза по мере поступления новых данных об объекте прогнозирования или о прогнозном фоне. Корректировка прогнозов должна носить характер постоянного процесса, но осуществляется дискретно, то есть результаты реализации прогнозов, изменение тенденций развития исследуемого объекта должны периодически поступать к разработчику прогноза. В реальных условиях такой период оговаривается, как правило, нормативно-технической документацией [40], которая содержит указание об организации наблюдений, наблюдений и обработки статистической информации о РХ и показателях надежности КВОИ.

Принцип единства определяет необходимость составления прогнозов на базе комплексного прогнозного фона, учитывающего научно-технический, социальный, экономический и другие основные направления для таких сложных объектов, как, например, АЭС. Для аналогичных КВОИ в первую очередь учитываются вопросы их безопасности, упреждающие прогнозы устойчивости их технического состояния, мониторинга окружающей обстановки и др.

Принцип научной обоснованности означает, что необходим всесторонний учет требований объективных законов развития ОКП, использование современного научного инструментария, достижений отечественного и зарубежного опыта по формированию прогноза показателей долговечности сложных изделий. Автором предложено дальнейшее развитие основ прогнозирования как показателей РС, так и РХ, за счет применения методов ИЛМ, теории полумарковских процессов и теории нечетких множеств [82, 119, 124, 136, 162].

Принцип целенаправленности предполагает активный характер прогнозирования, так как содержание прогнозов показателей РС и РХ КВОИ сводится не только к предвидению, а и к достижению таких целей, как:

- стандартизация терминов и определений в данной постановке проблемы прогнозирования;
- разработка принципов, правил и инженерных методик продления срока службы;
- совершенствование алгоритмов оценки рисков при определении времени безопасной эксплуатации и др.

Принцип сочетания состоит во взаимодействии перспективного и текущего прогнозирования. При этом определяющим должен быть прогноз на длительную перспективу, который устанавливает основные закономерности и тенденции развития, а в рамках этих тенденций должны составляться и корректироваться текущие прогнозы.

Принцип выбора основных факторов. Так как все многообразие факторов, воздействующих на КВОИ выявить невозможно, то для прогнозирования их показателей РС и РХ необходимо выбрать определяющие из них. Авторами во второй и третьей главах данной монографии показаны пути выбора определяющих показателей ресурсоспособности и ресурсных характеристик с помощью ИЛМ и экспертного оценивания.

Рассматривая сформированные принципы создания системы прогнозирования показателей РС КВОИ, следует отметить малоисследованность этой проблемы, что, по всей вероятности, связано с рядом трудностей, к которым можно отнести [1, 2, 8, 3, 100, 198 – 202]:

- идеализацию объекта прогнозирования, в котором должна быть обеспечена безотказность наиболее ответственных узлов и минимизирована вероятность отказов остальных узлов;
- вероятностный характер прогнозирования, определяющий неустранимый разброс показателей РС, обладающих большой чувствительностью к различным факторам;
- противоречивость и поэтому сложность согласования фактического прогнозируемого ресурса, то есть случайной величины, с назначенным – величиной детерминированной;

- выявление и определение наиболее влияющих воздействий (факторов) в процессе выработки ресурса, то есть после окончания периода нормальной эксплуатации;
- сложность установления критических (определяющих) отказов на этапе «физического старения», который характеризуется появлением предотказных состояний, а также деградиционных и ресурсных отказов;
- установление соотношений между критериями отказов и критичностью исследуемых параметров;
- прогнозирование параметрической надежности оборудования КВОИ;
- выявление крайней границы области состояний, определяющей близость к отказу, то есть к предельному состоянию РС ОКП;
- отсутствие нормирования показателей РС и РХ, а следовательно, обеспечения их требуемого уровня на этапе проектирования КВОИ;
- отсутствие научно обоснованной методической базы по оцениванию рисков при прогнозировании РС и РХ КВОИ;
- отсутствие теоретических и нормативно-технических основ повышения качества оценивания и прогнозирования показателей РС и РХ КВОИ.

Тем не менее, например в различных отраслях техники, действует технология ресурсного проектирования (ТРП) [2], при которой обеспечивается предстоящий ресурс эксплуатации КВОИ.

Анализ выполненных работ по оценке и управлению ресурсом КВОИ с помощью ТРП позволяет определить пути повышения качества оценивания и прогнозирования показателей РС и РХ КВОИ.

5.2. Усовершенствование технологии ресурсного проектирования оборудования критически важных объектов инфраструктуры

Технология ресурсного проектирования, которая начала закладываться в конце XIX – начале XX века, в общем виде состоит из следующих девяти этапов [83]:

1. Определение условий эксплуатации проектируемого изделия.
2. Определение назначенного срока службы.
3. Определение формы и базовых габаритных размеров.
4. Выбор материалов и определение принципиальных параметров технологии изготовления.
5. Определение критериев прочности и основных процессов повреждения СО.
6. Определение РХ проектируемого объекта.
7. Выбор и обоснование основных размеров.

8. Уточнение геометрических размеров по результатам обоснования назначенного ресурса эксплуатации.

9. Окончательное обоснование назначенного ресурса эксплуатации на период, определенный назначенным сроком службы.

Опыт применения действующей ТРП для обеспечения проектного ресурса эксплуатации КВОИ позволяет указать недостатки, главными из которых можно считать [46]:

- отсутствие единой организационной формы ресурсного проектирования общепринятой единой методологии и научного обеспечения прогнозирования;

- отсутствие четкого понимания того, что проблему ресурса необходимо решать в комплексе с проблемой повышения безопасности КВОИ;

- применение обобщенных формально-математических подходов, сложившихся в теории надежности радиоэлектронных систем;

- изучение проблемы ресурса в отрыве от практики, без учета эволюционного характера жизненного цикла КВОИ;

- недостаточное внимание к накопленному опыту решения ресурсных задач при эксплуатации КВОИ, а также установлению научно обоснованных технических требований по обеспечению ресурсоспособности при их разработке.

Известно [1], что наиболее эффективный путь решения ресурсных задач (в том числе задач оценивания и прогнозирования показателей РС КВОИ) предусматривает следующее:

- максимально обобщить накопленный в эксплуатации опыт решения ресурсных задач, тем самым создав основу для более эффективного применения уже хорошо апробированных подходов, а также при необходимости выполнить совершенствование имеющихся методов, технологий, технических средств и нормативных документов;

- отдавая полный отчет в том, что существующая практика ресурсного проектирования (включая методологию, методы и технологию) принципиально не обеспечивает необходимый уровень РС и безопасности эксплуатации КВОИ, тем не менее, максимально использовать положительные достижения, накопленные в конструкторских и материаловедческих технологических организациях, в том числе и на заводах-изготовителях;

- рассматривать проблему РС КВОИ как часть проблемы повышения их надежности и безопасности;

- в дальнейшем развивать указанные выше направления на основе методологии системного подхода, используя, в частности, Системную Концепцию Прочности (СКП) [1, 46, 83], исходными положениями которой применительно к проблеме оценивания прогнозирования РС КВОИ являются следующие:

1. При решении любых задач РС всегда нужно рассматривать весь набор факторов, оказывающих влияние на РС.

2. Вся совокупность факторов, определяющих влияние на РС КВОИ, а также отношение между факторами являются системой. Элементами системы являются указанные факторы, исследуемый объект и их взаимодействие, а также связи между ними, системой в целом и окружающей средой (прогноznым фоном).

3. Вид системы и все отношения внутри системы, а также системы с внешней средой определяются целевой функцией системы.

4. СКП имеет системные свойства, такие как функциональность, надежность, комплексность, хронологичность, коммутативность и т.д.

5. Для исследования системных свойств необходимо применять системные методы.

Используя нормативный документ [49], можно представить системную концепцию прочности для АЭС (рис. 5.1), где определены ее элементы и отношения между ними, а также применяемые технологии и методы.

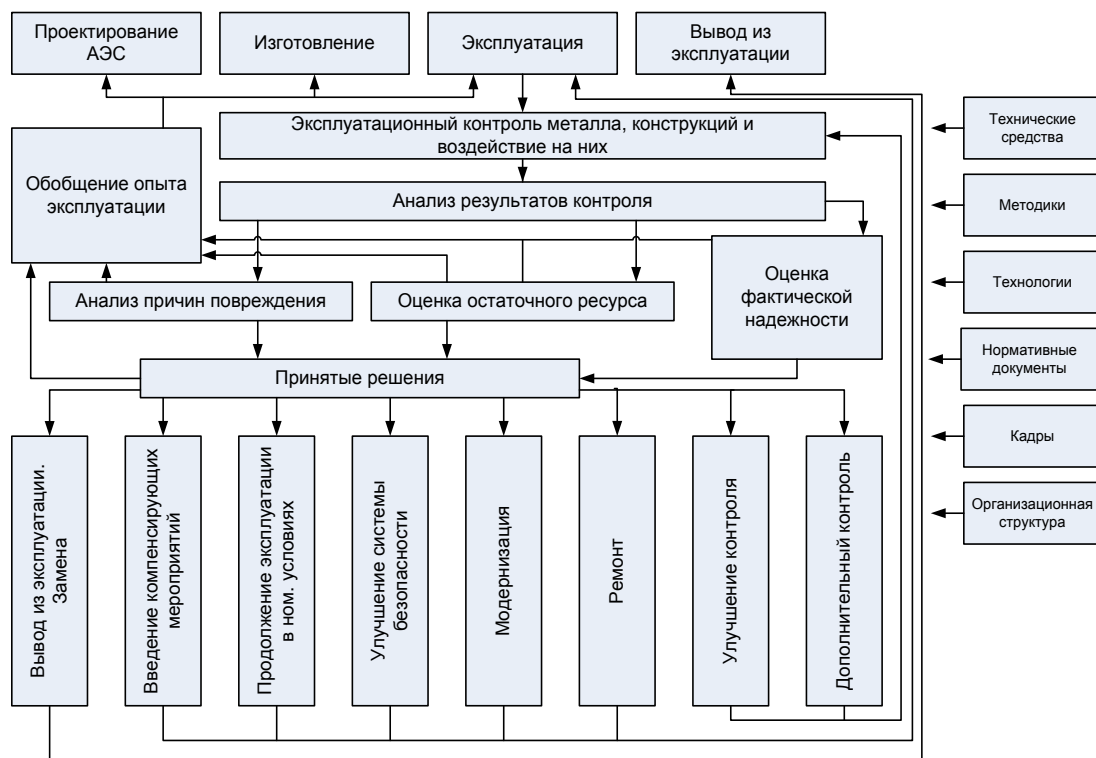


Рис. 5.1. Обеспечение системной концепции прочности для АЭС

Учитывая, что основополагающей целью создания системы прогнозирования является повышение качества оценивания и прогнозирования показателей РС и РХ КВОИ, необходимо дополнить СКП рекомендациями по выбору наиболее предпочтительных принципов управления качеством для объектов, работающих в области критических технологий и действующих в условиях современных кризисных ситуаций [203].

Характерно, что первые нормативные требования к системному обеспечению качества появились в 1970 году для ядерной энергетики США. Компания по атомной энергии США определила 18 критериев обеспечения качества для эксплуатации атомных электростанций и заводов по переработке ядерного топлива, а Американский институт стандартов опубликовал в 1971 году первый стандарт ANSI-N45-2 «Программа обеспечения качества». Поэтому для объектов атомной энергетики целесообразно разработать предложения по применению принципов системного подхода в области менеджмента качества, фаза которого для рассматриваемой проблемы основывается на концепции «Основа качества КВОИ как эксплуатирующей организации – качество труда и качественный менеджмент на всех уровнях». Тогда, используя свод принципов системного подхода относительно Всеобщего управления качеством [203], можно выделить наиболее характерные из них, учитывая рассматриваемую проблему с точки зрения наиболее полного выполнения требований как по долговечности, так и по безопасности ОКП:

Джозеф М. Джуран:

1. Установление целей для постоянного совершенствования деятельности.
2. Создание организации, которая будет работать над достижением целей, создав условия для определения проблем, выбора проектов, сформировав команды и выбрав координаторов.
3. Обучение всех сотрудников организации.

Эдвард У. Деминг:

1. Поддержание постоянства целей для стабильного совершенствования процессов деятельности.
2. Совершенствование всех процессов в организации.
3. Введение обучения и поощрения образования.

Филипп Б. Кросби:

1. Измерение (оценивание) качества и вскрытие текущих и потенциальных проблем с качеством.
2. Обучение поставщиков для внедрения программ нулевого брака.

Александр В. Гличев:

1. Стандартизация – базовый принцип создания организационно-технической основы системы качества прогнозирования показателей ресурсоспособности.
2. Изучение потребностей – исходная изначальная функция управления качеством, неотъемлемый элемент любой системы качества.
3. Целесообразность дифференцирования понятия управления качеством, исходя из содержания задач на разных этапах жизненного цикла КВОИ.

Относительно тотального менеджмента качества (TQM) можно рекомендовать [203].

Генити Тагучи:

1. Обязательная оценка риска (ущерба), который может нанести некачественная организация на всех этапах жизненного цикла КВОИ.
2. Приоритетность требований к качеству на всех этапах жизненного цикла КВОИ.
3. Необходимость выявления зависимости эксплуатационных характеристик от производственных факторов и проведение математического планирования эксперимента на этапе разработки КВОИ.

Александр Н. Малюта:

1. Выбор специалистов (экспертов), обладающих нестандартным, пригодным к междисциплинарному, мышлением.
2. Отбор экспертов по психофизическим показателям.
3. Обеспечение экспертов универсальными спецсредствами (методами, технологиями, специальным программным обеспечением и т.п).

Учитывая изложенное, а также материалы работ [3, 46], более корректно говорить о менеджменте ресурсоспособности КВОИ, особенно с точки зрения повышения качества оценивания и прогнозирования ее показателей и ресурсных характеристик. Тогда можно дополнить принципы создания системы прогнозирования показателей РС КВОИ следующим образом:

1. Организация непрерывного и всеобщего обучения, повышение уровня знаний и образования, внедрение практического опыта в области современных методов, технологий и средств по оцениванию и прогнозированию показателей РС для вовлечения всего персонала, и особенно руководства КВОИ, в целях совершенствования работ по обеспечению РС на всех этапах жизненного цикла КВОИ.

2. Стандартизация показателей РС, методов оценивания и инструментальных средств для имитационного моделирования, технических средств для постановки экспериментов и физического моделирования, технологий для исследования и индивидуального прогнозирования – основа повышения качества системы прогнозирования показателей РС КВОИ.

3. Постоянный высококачественный анализ информации обо всех несоответствиях техническим требованиям, начиная с этапов разработки и проектирования КВОИ, и выявление потенциальных, латентных состояний, определяющих время развития предотказных процессов.

4. Отбор, выбор и формирование групп высококвалифицированных экспертов для повышения достоверности и качества оценивания и индивидуального прогнозирования показателей РС и РХ КВОИ.

5. Обязательно оценивание рисков для повышения качества контроля показателей РС и РХ на всех этапах жизненного цикла КВОИ.

Таким образом, сформированы принципы создания системы прогнозирования показателей РС КВОИ, учитывающие пути повышения качества оценивания и прогнозирования РХ. Поэтому, применяя более полное описание подходов к рассматриваемой проблеме РС КВОИ, необходимо дополнить существующую технологию ресурсного проектирования процедурами, позволяющими устранить отмеченные выше недостатки ТРП и повысить эффективность оценивания и прогнозирования показателей долговечности на всех этапах жизненного цикла КВОИ. Для этого целесообразно применить методологию А. Фейгенбаума [204], которая может позволить наилучшим образом организовать выполнение комплекса работ по обеспечению и контролю качества требуемых и желаемых показателей ресурсоспособности КВОИ. Это также подтверждается материалами работ [81, 205], где приведена модель технологического треугольника, которая увязывает различные технологии с комплексным управлением качеством и представляет во взаимосвязи системные и технические обязанности, структуру и методы, области применения, многие направления практических действий.

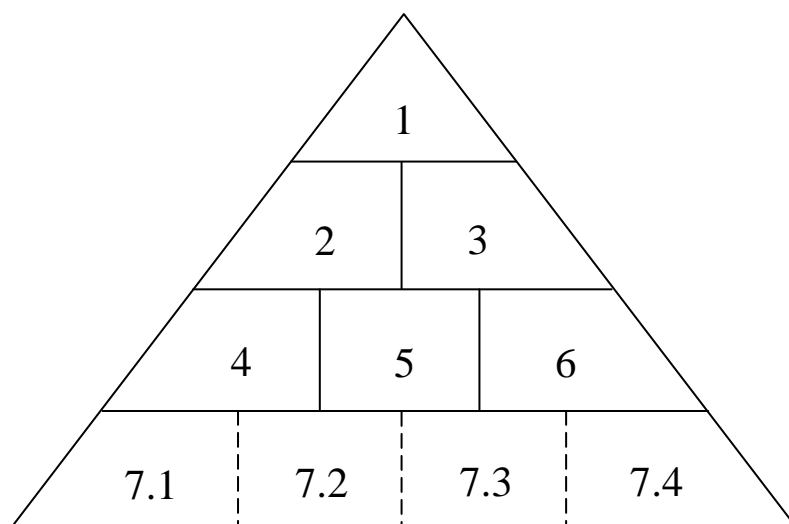


Рис. 5.2. Модель технологического треугольника обеспечения качества контроля показателей ресурсоспособности и ресурсных характеристик ОКП, где 7.1 – выбор точек контроля показателей ресурсоспособности, 7.2 – оценивание и прогнозирование показателей ресурсоспособности, 7.3 – установление и распределение допусков показателей ресурсоспособности, 7.4 – измерительный контроль показателей ресурсоспособности

Тогда, основными элементами модели технологического треугольника (рис. 5.2), которые позволяют решать исследуемую проблему высококачественного оценивания и прогнозирования показателей РС и РХ ОКП, можно считать следующие:

1. Контроль за разработкой ОКП, в процессе которой предусматривается обеспечение технических требований по высококачественному оцениванию и прогнозированию его показателей РС и РХ.

2. Технологические основы (технологии, способы, подходы, методические инструкции и т.д.) оценивания и прогнозирования РС КВОИ.

3. Техника использования контрольно-измерительного и испытательного оборудования для получения исходных данных и разработки предложений по выявлению недостаточных запасов надежности, предрасположенности к неустойчивости работоспособного состояния и невыявлению предотказных состояний КВОИ.

4. Исследование КВОИ на этапе разработки в целях определения технических рекомендаций:

- по установлению допусков на размеры, форму, а также параметров (механических, электрических, термических и др.);

- проведению испытаний на надежность и долговечность, начиная с создания опытных образцов, при совершенствовании эффективных методов контроля;

- рациональному выбору показателей РС и РХ, а также установлению методов их оценивания и прогнозирования.

5. Имитационное, инфологическое и математическое моделирование КВОИ в целях предсказания его будущего поведения в зависимости от влияния внутренних и внешних факторов на изменение показателей РС и РХ.

6. Анализ уровня статистической исходной информации при эксплуатации КВОИ (прежде всего ее однородности) на базе экспертных знаний для определения перечня приоритетных для безопасности элементов, наиболее подверженных деградационным и ресурсным отказам.

7. Измерение и задание допусков контролируемых параметров, выбранных на этапе проектирования ОКП для оценивания и прогнозирования его показателей РС и РХ.

Таким образом, применяя рассмотренный выше свод принципов системного подхода, а также элементы модели технологического треугольника, можно предложить развитие 1*, 2*, 5*, 6*, 8* этапов технологии ресурсного проектирования (см. рис. 5.3) путем усовершенствования элементов, содержание которых предусматривает соответствующие виды работ:

1* – исследование и уточнение условий эксплуатации проектируемого ОКП с помощью имитационного и физического моделирования процессов оценивания и прогнозирования его РХ;

2* – исследование, научно-техническое обоснование и выбор показателей ресурсоспособности разрабатываемого ОКП, а также нормативно-методического обеспечения их оценивания и прогнозирования, включающие указание допусковых областей при оптимистическом и пессимистическом характере прогноза;

5* – исследование параметрической избыточности оборудования на этапе разработки ОКП в целях выявления условий возникновения предотказных состояний, время развития которых определяют методы их оценивания и прогнозирования;

6* – определение на этапе проектирования ОКП всех его выбранных показателей РС и РХ в целях их нормирования и стандартизации в конструкторской и технологической документации;

8* – применение экспертного оценивания, ИЛМ, методов оценивания предельных состояний ОКП на всех этапах его жизненного цикла, а также обязательное оценивание рисков при формировании технических заключений о состоянии РС КВОИ.

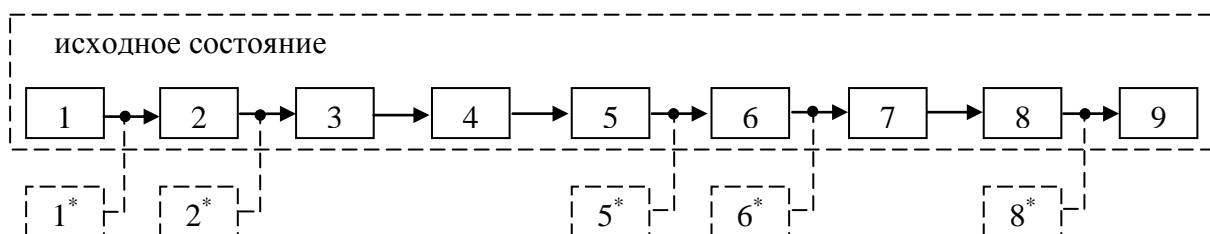


Рис. 5.3. Усовершенствование технологии ресурсного проектирования

Известно [83], что структура системы оценки РХ оборудования КВОИ имеет вид, показанный на рис. 5.4, а модель процесса прогнозирования показателей РС оборудования КВОИ, с учетом материалов работ [28, 45, 124, 206 – 210], можно представить в виде рис. 5.5, где обозначено:

1 – обобщенный анализ опыта и условий эксплуатации оборудования разрабатываемого и аналогичного ОКП, направленный на выявление на ранних стадиях процессов возникновения деградационных, ресурсных и параметрических отказов;

2 – разработка приоритетного перечня важных для безопасности разрабатываемых элементов оборудования ОКП, подверженных деградационным, ресурсным и параметрическим отказам;

3 – экспертное оценивание опыта и условий эксплуатации разрабатываемого оборудования ОКП;

4 – выбор показателей РС и РХ и сравнительный анализ эффективности современных методов и технологий оценивания и прогнозирования для своевременного распознавания и смягчения последствий деградационных, ресурсных и параметрических отказов оборудования КВОИ;

5 – анализ первопричин деградационных, ресурсных и параметрических отказов на основе исходной информации при эксплуатации оборудования КВОИ;

6 – всеобъемлющая, функциональная оценка основных процессов и предпосылок деградационных, ресурсных и параметрических отказов оборудования КВОИ и разработка рекомендации по изменению конструкции, улучшению условий эксплуатации, расширению и обхвату диагностирования, совершенствованию организации наблюдений, накопления и обработки исходной информации о РХ оборудования КВОИ;

7 – исследование процессов возникновения предотказных состояний с помощью имитационного и физического моделирования и создание методологии анализа деградационных, ресурсных и параметрических отказов оборудования КВОИ;

8 – разработка принципов эффективного менеджмента РС оборудования КВОИ (в целях снижения остаточной дефектности и уменьшения ошибок прогноза);

9 – совершенствование стандартизации показателей РС и РХ КВОИ;

10 – определение показателей РС ОКП и оценивание рисков при их контроле;

11 – модернизация исследуемого оборудования КВОИ;

12 – ремонт исследуемого оборудования КВОИ;

13 – исследуемое оборудование остается без изменений;

14 – выбор оптимальных вариантов технологии и выполнение ремонта или модернизации КВОИ;

15 – корректировка изменений режимов эксплуатации оборудования КВОИ;

16 – подтверждение режимов эксплуатации оборудования КВОИ;

17 – определение требований к эксплуатационному контролю при дальнейшей эксплуатации оборудования КВОИ.



Рис. 5.4. Структура системы оценки показателей ресурсоспособности

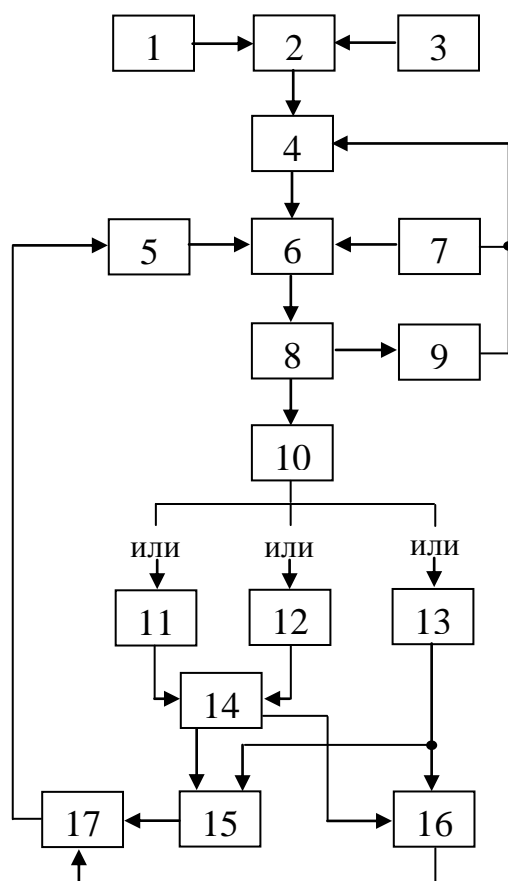


Рис. 5.5. Модель процесса прогнозирования показателей ресурсоспособности оборудования КВОИ

Модель, представленная на рис. 5.5, интегрирует и взаимосвязывает все разработки и усовершенствования, представленные в данной монографии, и может служить основой для создания системы прогнозирования показателей РС оборудования КВОИ, упорядоченная последовательность методов и способов которых имеет следующий вид [68, 82, 87, 101, 119, 126, 136]:

- Способ оценивания эффективности непараметрических критериев.
- Метод систематизации свойств ресурсоспособности КВОИ.
- Метод унификации динамики состояний ресурсоспособности КВОИ.
- Метод оценивания времени предельного состояния КВОИ.
- Метод нормирования времени предельного состояния КВОИ.
- Метод выбора аргументов для оценивания показателей РС и РХ оборудования КВОИ.
- Метод экспертной оценки РХ КВОИ.
- Метод оценки компетентности экспертов.
- Методы оценивания риска:
 - при контроле ресурсоспособности КВОИ;
 - в условиях нечетких суждений.

Для реализации предлагаемой системы прогнозирования необходимы соответствующие технологии и средства, основные принципы построения которых изложены ниже.

5.3. Модернизация испытательных средств для моделирования условий эксплуатации оборудования

Реализация рассмотренных выше принципов, подходов и предложений по созданию системы прогнозирования показателей РС КВОИ требует применения как комплекса инструментальных средств для имитационного моделирования, рассмотренных в [311], так и технологий для прогнозирования индивидуальных показателей РС ОКП. Следует подчеркнуть, что в проблеме оценивания и прогнозирования РХ эта фундаментальная задача не решена [197], что вызывает определенные трудности практически на всех этапах жизненного цикла ОКП. Несмотря на работы [114, 206, 208, 209], выполненные для решения этой фундаментальной задачи, основные сложности группируются в основном по двум направлениям:

- установление коренных причин параметрических отказов, поддающихся и не поддающихся прогнозу, что определяется исследованием динамики развития предотказного состояния [79];
- разработка моделей, на базе которых можно предложить технологии и способы оценивания предельного состояния исследуемого оборудования КВОИ.

Исследования, анализ и опыт эксплуатации КВОИ показывают, что существует значительное расхождение между показателями надежности и долговечности, наблюдаемыми в условиях эксплуатации, и показателями, получаемыми расчетным путем при проектировании или при испытаниях в лабораторных и производственных условиях. Например, среднее время между отказами, получаемое в реальных условиях эксплуатации, как правило, в несколько раз меньше расчетного значения или значения, получаемого при испытаниях [81].

Степень соответствия условий испытания условиям эксплуатации определяется не только полнотой знаний о многофакторных условиях эксплуатации, но и возможностями испытательного оборудования. Приблизить условия испытаний к условиям эксплуатации сложно, так как характеристики температуры, вибрации и влажности (вид, уровень, частотный диапазон, продолжительность действия) определяются конструктивными особенностями объекта. Немаловажное влияние оказывает также и человеческий фактор.

Основной целью модернизации испытательных средств для исследования показателей долговечности является максимальное приближение условий испытаний к условиям реальной эксплуатации ОКП. Для этого предлагается [81]:

- испытания проводить по программам, позволяющим моделировать внешние воздействия с учетом характерных режимов работы сложного объекта;

- перейти к испытаниям по программам, имитирующим работу сложного объекта не только в движении (в полете, плавании, перемещении по земле), но и в виде циклов с выключенной системой электропотребления;

- проводить испытания по программам, учитывающим характерные особенности климатических зон, в которых производится эксплуатация системы;

- при составлении программ испытаний широко использовать данные о внешних воздействиях, полученные при испытаниях систем аналогов, а также путем математического моделирования.

Испытательное оборудование включает в себя контрольно-диагностическую и испытательно-исследовательскую технику, необходимую для обеспечения диагностических возможностей при проверке контролируемых параметров и поиске неисправностей во время проводимых испытаний.

Известно [100, 314], что одним из наиболее распространенных и эффективных внешних возмущающих факторов являются климатические условия. Для обеспечения таких климатических факторов, как повышенная и пониженная температура, резкие перепады температур (термоудар) и другие, применяют различное испытательное оборудование, недостатками которого являются:

- трудности обеспечения качественного и долговременного электрического подключения объекта испытаний к контрольной аппаратуре, вызывающие искажение результатов испытаний;

- отсутствие возможности испытывать объект, включаемый по требуемым характеристикам электропитания, при заданных климатических факторах;

- необходимость выполнения неоднократных повторений испытаний для выявления параметрических (а также деградационных и ресурсных) отказов.

В работе [211] рассматриваются некоторые предложения по совершенствованию технологических операций климатических испытаний. Результатом такого совершенствования является повышение диагностических возможностей процесса испытаний и сокращение временных затрат при выявлении параметрических отказов объекта испытаний за счет создания и обеспечения характеристик электропитания и режимов контроля работоспособности, воздействующих синхронно требуемым климатическим факторам.

Усовершенствованное таким образом испытательное оборудование для электроклиматических испытаний имеет структурную схему, показанную на рис. 5.6, которая содержит программный блок 1, задающий блок

климатических характеристик 2, климатический регулятор 3, формирователь характеристик электропитания 4, схему обратной связи 5, объект испытаний 6, схему синхронизации 7, блок контроля работоспособности 8, коммутатор 9. Формирователь характеристик электропитания 4 строится на базе группы линейных стабилизаторов напряжения со ступенчатой установкой и плавной подрегулировкой выходных напряжений. Схема синхронизации 7 включает в себя генератор прямоугольных сигналов, обеспечивающий синхронное управление формирователем характеристик электропитания 4 относительно временной диаграммы программного блока 1.

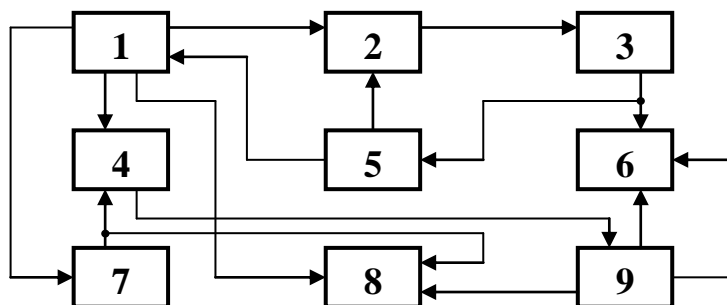


Рис. 5.6. Структурная схема испытательного оборудования для электроклиматических испытаний

На рис. 5.7 представлена временная диаграмма работы испытательного оборудования, при этом для иллюстрации в качестве климатического фактора рассматривается температура, изменяемая по заданной программе.

Объект испытаний 6 помещают в полезное пространство, подсоединив его через коммутатор 9 к формирователю характеристик электропитания 4. Заданное климатическое воздействие обеспечивается программным блоком 1, задающим блоком 2, регулятором климатическим 3 и схемой обратной связи 5. Требуемые параметры температуры и электрических характеристик задаются с помощью программного блока 1, задающего блока климатических характеристик 2, формирователя характеристик электропитания 4. Необходимые режимы контроля работоспособности создаются формирователем характеристик электропитания 4, схемой синхронизации 7, блоком контроля работоспособности 8 и программным блоком 1.

Осуществление условий для провоцирования потери работоспособности объекта испытаний 6 показано на рис. 5.7 в виде различных синхронно связанных комбинаций совместного влияния температуры и постоянных стабилизированных управляемых напряжений, что технически реализуется благодаря наличию формирователя характеристик электропитания 4, схемы синхронизации 7, соединенных указанным способом с программным блоком 1, коммутатором 9 и блоком контроля работоспособности 8.

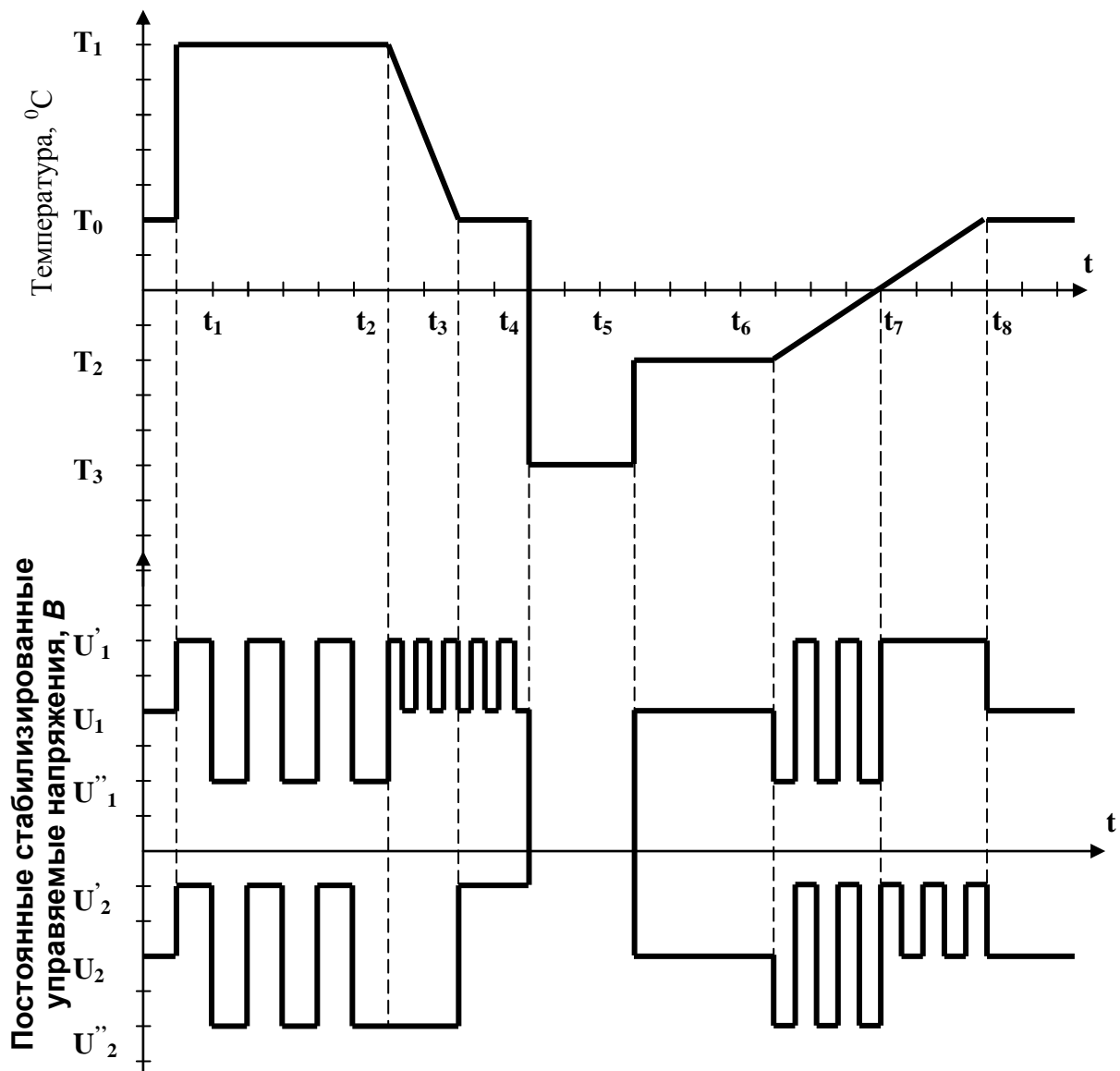


Рис. 5.7. Временная диаграмма синхронного воздействия температурных и электрических факторов

Проведение электроклиматических испытаний обеспечивает:

- создание определяющих характеристик электропитания и режимов контроля работоспособности объекта испытаний;
- синхронную взаимосвязь совместного воздействия климатических факторов и электрических характеристик на объект испытаний;
- ускорение процессов проявления и выявления параметрических отказов благодаря созданию условий для исследования динамики развития предотказного состояния объекта испытаний.

Предлагаемая модернизация испытательного оборудования требует корректировки способов климатических испытаний, обеспечивающих со-

вместное климатическое и электрическое воздействие, периодически кратковременные измерения контролируемых параметров и осмотр катастрофических нарушений и поверхностных изменений по окончании климатического воздействия [81].

Известно [212], что недостатки применяемых способов определяются низкими диагностическими возможностями испытательного оборудования, которые приводят к психологическим трудностям и методическим ошибкам, связанным с условностью диагностических процедур. Поэтому не полностью обеспечивается воспроизводимость результатов испытаний и не исключается неопределенность их толкования.

При поиске неисправностей во время испытаний по известному способу необходимо неоднократно повторять их до фиксации характеристик отказов и локализации их позиций, что значительно увеличивает временные затраты. Кроме того, такой способ не позволяет получить достоверные результаты, так как не обеспечивает полное и точное выявление механизма и характера предотказного состояния.

Для устранения показанных недостатков в предлагаемом способе климатических испытаний, основанном на циклическом изменении температуры в климатической камере при фиксированных уровнях влажности с одновременной электрической нагрузкой:

- параметры импульсного электрического воздействия модулируют в диапазонах предельных значений синхронно с циклическими изменениями климатического воздействия;
- выявляют ложные и скрытые неисправности в локально осушенных зонах критических точек;
- определяют параметрическую чувствительность контролируемых критических характеристик объекта испытаний к изменениям режимов воздействия;
- повторяют циклические испытания в критических режимах совместного климатического и электрического воздействия.

Показанная последовательность операций при указанных временных зависимостях воздействий обеспечивает форсированный режим, позволяющий «спровоцировать» отклонения контролируемых характеристик объекта испытаний и только за два цикла испытаний дать полную информацию о характере и месте возможных нарушений работоспособности, так как устраняется неопределенность при оценке результатов испытаний, вызываемая изменениями контролируемых параметров в условиях увлажнения.

На рис. 5.8 приведены примеры временных диаграмм электрических температурных воздействий первого этапа испытаний; на рис. 5.9 – временные диаграммы электрических и температурных воздействий второго этапа испытаний.

До начала испытаний в целях предварительного выявления зон, подлежащих контролю, проводят логический анализ функциональной схемы

объекта испытаний в режимах диагностирования, учитывающий стохастические модели электрических процессов и оценку их состояния как задачу фильтрации. Затем объект испытаний размещают в испытательном оборудовании, конструкция которого предусматривает возможность визуального контроля и локального осушения зон объекта испытаний, например, с помощью средств технической эндоскопии.

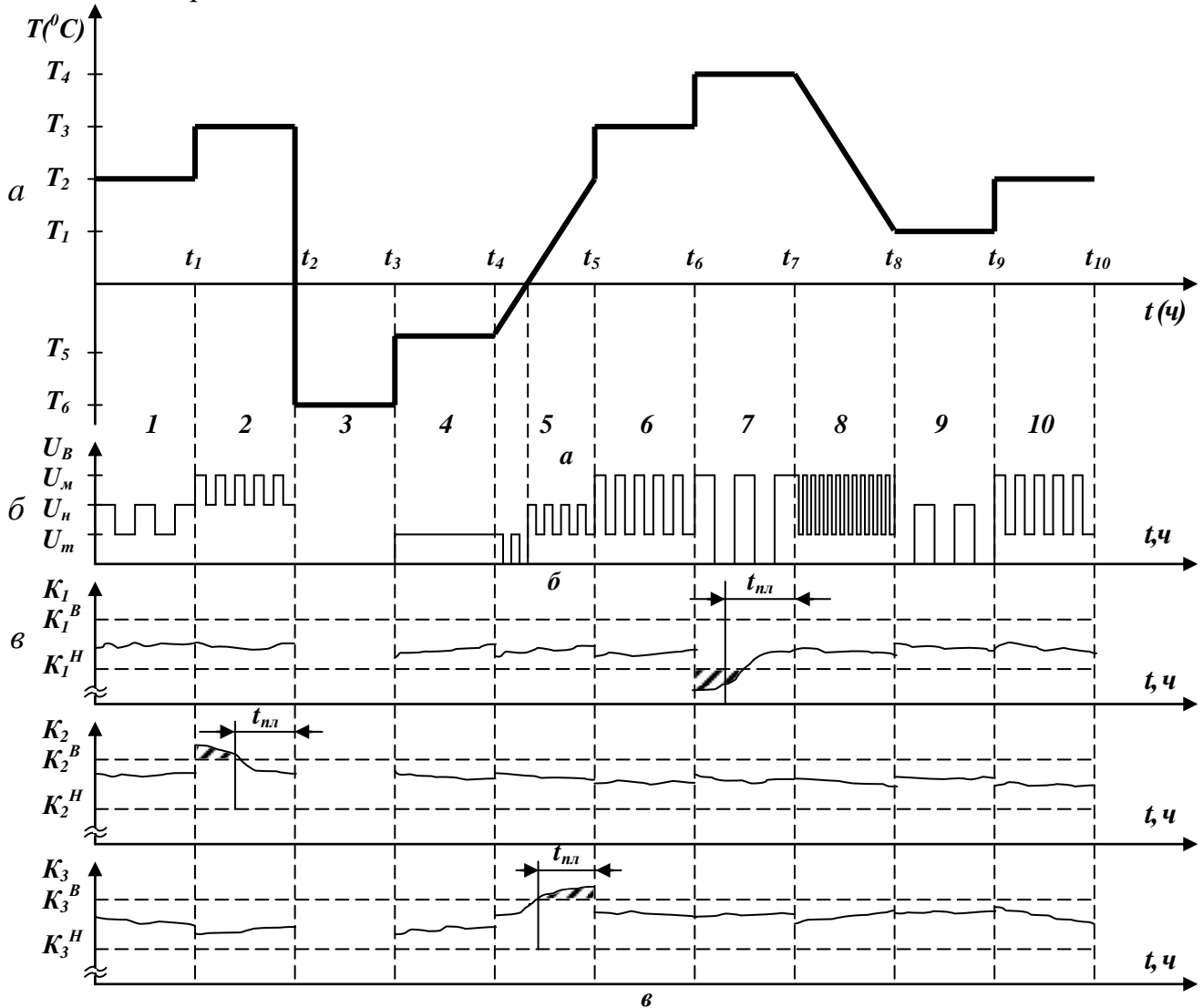


Рис. 5.8. Временные диаграммы электрических и температурных воздействий первого цикла испытаний

Дальнейшая последовательность операций выглядит следующим образом:

1. Устанавливают режимы климатического воздействия, например температурные, в соответствии с циклами 1 – 10 тест-программы (см. рис. 5.8, а), обеспечивая заданные значения уровней температуры $T_1 \dots T_6$ и длительностей $t_1 \dots t_{10}$. Одновременно устанавливают режимы электрического воздействия на объект испытаний, например, импульсное (или циклически подаваемое) напряжение, обеспечивая требуемые минимальное, номинальное (среднее), максимальное значения U_m, U_n, U_m его амплитуды (см. рис. 5.8, б), а также

дискретно выбираемые в заданных пределах значения частот, фронтов и других необходимых параметров в разных циклах. Осуществляют временную связь электрического и климатического воздействий, обеспечивая синхронность (совместность и последовательность) изменения параметров режимов воздействия в каждом цикле. Формируют требуемые изменения параметров режимов электрического и климатического воздействий в зависимости от результатов условных процедур поиска их критических значений.

2. Устанавливают допустимые (предельные) значения $K_1^B - K_1^H$, $K_2^B - K_2^H$, $K_3^B - K_3^H$ контролируемых параметров объекта испытаний (см. рис. 5.8, в), которые могут быть изменены непосредственно или оценены на основе наблюдения определенных выходных характеристик. Наблюдают фактические значения контролируемых параметров и при появлении недопустимых отклонений проверяют вероятность ложности отказов в течение времени $t_{пл}$, для чего осуществляют предварительную выдержку и стабилизацию предполагаемого нарушения свойств объекта испытаний: фиксацию параметрического отказа; локальное осушение и визуальное наблюдение зон критических точек контролируемых характеристик; окончательную выдержку и заключительную оценку контролируемой характеристики.

3. Фиксируют условия отказа по критическому контролируемому параметру: цикл тест-программы, режимы климатического и электрического воздействия, позицию критической контрольной точки (на рис. 5.8, в показано, что таким контролируемым параметром является K_3 в цикле 5).

4. Формируют последовательность дискретных изменений параметров режимов климатического и электрического воздействий в пределах их допусков, соответствующих зафиксированному циклу тест-программы для критического контрольного параметра (в данном случае параметр K_3).

5. Выбирают варианты циклов (см. рис. 5.9), действующих в течение времени $t_{ц}$, которое больше длительности $t_{пл}$, а именно:

5.1 – перепроверка характеристик и условий параметрического отказа;

5.2 – изменение уровня и скорости нарастания температуры окружающей среды и оценка характеристик параметрического отказа;

5.3 – изменение уровня амплитуды импульсного напряжения U_B и оценка характеристик параметрического отказа;

5.4 – изменение временных (частотных) параметров импульсного напряжения U_B и оценка характеристик параметрического отказа.

6. Осуществляют синхронно-модулированные циклические изменения параметров режимов и проводят операции по проверке ложности отказа, определяют параметрическую чувствительность критического контролируемого параметра к изменению параметров режимов климатического и электрического воздействий. Выявляют критические параметры режимов климатического и электрического воздействий при их циклическом изменении.

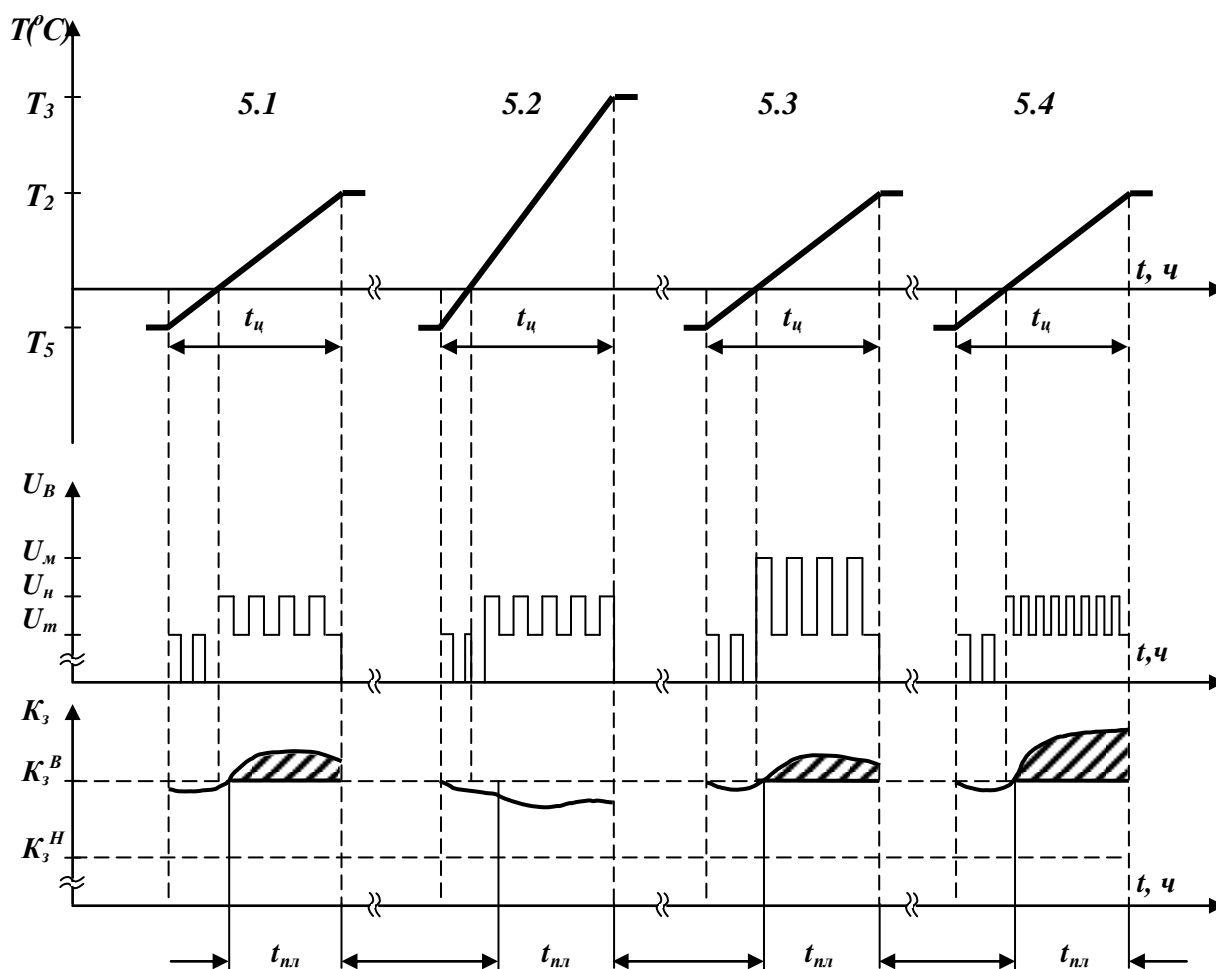


Рис. 5.9. Временные диаграммы электрических и температурных воздействий второго цикла испытаний

Предлагаемый способ климатических испытаний обеспечивает следующие преимущества [212]:

- сокращение энергетических и временных затрат за счет уменьшения исследовательских, технологических и других испытаний при анализе предотказных состояний параметрических отказов;
- повышение достоверности результатов испытаний благодаря проверке и устранению вероятности ложных отказов;
- выявление локальных зон поверхностного сопротивления, критичных к повышенной влажности, и их непосредственное и непрерывное визуальное наблюдение в условиях климатического воздействия;
- определение параметров режимов совместного климатического и электрического воздействия, способствующих выявлению локальных зон с критичным к увлажнению поверхностным сопротивлением.

Таким образом, предложенная модернизация на примере испытательного оборудования позволяет для данного вида возмущающих воздействий

исследовать предотказное состояние оборудования КВОИ, а также обеспечивать предупредительный характер организации наблюдения и контроля за техническим состоянием сложного объекта с помощью мониторинга и экспертной диагностики. Это позволяет прогнозировать риски, связанные с наступлением предотказных состояний и, следовательно, своевременно принимать упреждающие корректирующие меры. Одновременно обеспечивается повышение качества оценивания и прогнозирования РХ и показателей РС за счет повышения достоверности результатов исследования благодаря исключению вероятности ложных отказов, увеличению чувствительности выявления локальных зон объекта испытаний, критичных к воздействию возмущающему фактору.

5.4 Способы определения предельных состояний

Предельное состояние сложного объекта определяет его ресурсоспособность. Теоретическое исследование ее показателей рассмотрено во второй, третьей и четвертой главах настоящей монографии. Техническую реализацию предложенных выше методов оценивания и прогнозирования предельных состояний можно показать применительно к высоконадежному, уникальному оборудованию внутриреакторного контроля [45] и элементам системы охлаждения турбогенераторов большой мощности (1000 МВт) [73].

Рассмотрим технологию прогнозирования предельного состояния элементов системы внутриреакторного контроля, которая принадлежит к контрольно-диагностической и испытательно-исследовательской технике и может быть использована при испытаниях, исследованиях характеристик надежности и показателей долговечности. Известный способ оценивания характеристик надежности объекта исследования обеспечивает прогнозирование РХ на основе данных о его отказах [213]. Ограниченностью такого способа являются:

- невозможность непосредственного наблюдения и анализа изменений характеристик надежности в течение времени контроля;
- недостаточная точность оценивания характеристик надежности как следствие нестационарности процесса изменения характеристик надежности, неоднородности и недостаточности информации о характеристиках надежности исследуемого объекта;
- необходимость сбора и обработки большого количества статистической информации требует значительных временных и материально-технических затрат.

В целях повышения достоверности и расширения диагностических возможностей при сокращении энерго- и временных затрат техническая задача решается за счет того, что выбирают нормированные квантильные

границы $[\Delta_{0,95}(t) \text{ и } \Delta_{0,05}(t)]$ и, используя контрольные сигналы, с помощью плотности распределения при оценивании работоспособности и долговечности (φ_p и φ_d соответственно), в фиксированные моменты времени (t_{p_i} или t_{d_i}) оценивают вероятность, которая характеризует проявление тенденций к параметрическим отказам (P_p и P_d соответственно) [214]. Контрольным сигналом в данном случае является изменение параметра комплектующего элемента, выявленного в определенной зависимости от внутренних или внешних влияющих факторов [215].

На рис. 5.10 представлена графическая иллюстрация предлагаемого способа, где обозначено:

XH – характеристика надежности (ресурсной характеристики или показателя ресурсоспособности);

XH_{np} – предельное значение характеристики надежности;

$\Delta_{0,95}(t)$ – 95%-й квантиль нормального распределения;

$\Delta_{0,05}(t)$ – 5%-й квантиль нормального распределения;

t_{min}, t_{max} – точки пересечения 5%-го и 95%-го квантилей нормального распределения с линией предельного значения характеристики надежности (ресурсной характеристики или показателя ресурсоспособности), которые характеризуют диапазон времени, в котором ожидается проявление параметрических отказов;

t_{p_i} – время контроля характеристик работоспособности;

t_{d_i} – время контроля показателей долговечности (РС);

$\Delta t'_p, \Delta t'_d$ – отрезки времени прогнозирования параметрического отказа при контроле работоспособности;

$\Delta t''_p, \Delta t''_d$ – отрезки времени прогнозирования параметрического отказа при контроле долговечности;

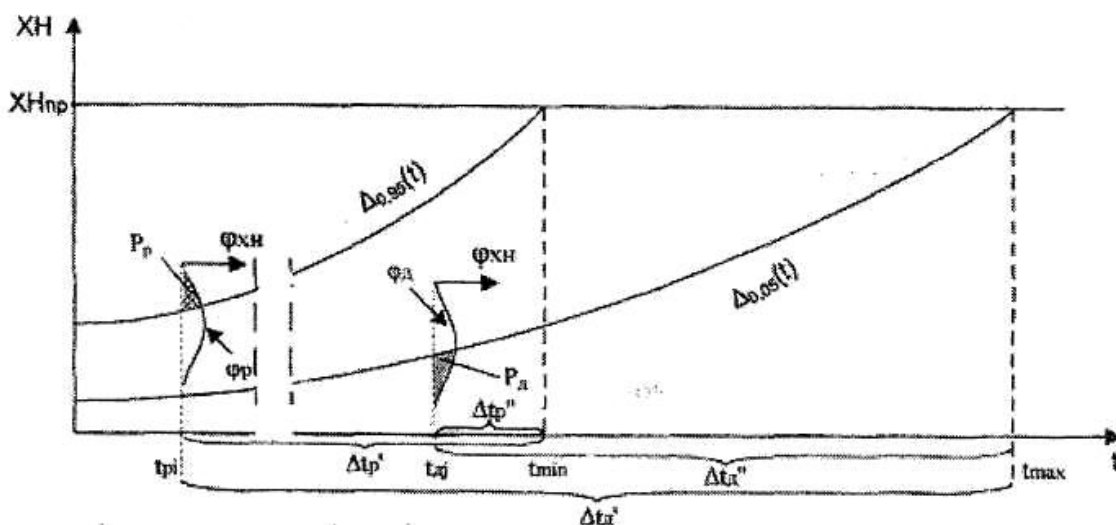


Рис. 5.10. Графическая иллюстрация способа прогнозирования предельного состояния

На рис. 5.11 представлена структурная схема устройства, которое реализует предлагаемый способ, где обозначено:

- 1 – объект контроля (измерительный канал системы внутриреакторного контроля);
- 2 – источник контрольных сигналов;
- 3 – вычислитель измерительных фрагментов плотности вероятности характеристики надежности (РХ или показателя ПС);
- 4 – анализатор выходных сигналов;
- 5 – блок обработки и изображения информации.

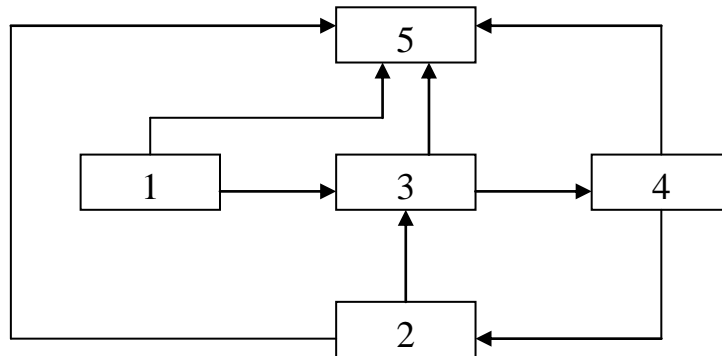


Рис. 5.11. Структурная схема устройства для реализации способа прогнозирования предельного состояния

Применение предложенной технологии позволяет оценивать проявление тенденции к параметрическим отказам и прогнозировать предельное состояние, а также ресурсные характеристики исследуемого объекта, что дает возможность повысить достоверность и расширить возможности прогнозирования показателей его ресурсоспособности при сокращении энерго- и временных затрат.

Рассмотрим способ идентификации предельного состояния турбогенераторов большой мощности, который относится к области электроэнергетики [215].

Интенсивность отказов водяной системы охлаждения статоров турбогенераторов может изменяться в зависимости от уровня концентрации примесей в хладагенте (дистиллят). Примеси в тракте водяного охлаждения обмотки статора – это продукты старения и разложения резинотехнических изделий, сварочных отходов, окислов меди, зерен ионообменной смолы и др. [73, 103]. Чем выше уровень концентрации примесей С, тем ближе система охлаждения статора находится к предельному состоянию, а следовательно, к отказу турбогенератора.

Снижение прохождения каналов – один из основных дефектов, который, как правило, вызван засорением каналов циркуляции дистиллята. В мощных генераторах снижение проходимости приводит к перегреву обмотки и ее пробую под напряжением. Кроме того, известны случаи разгер-

метизации каналов водяного охлаждения по причине их засорения. Трещины в полых проводниках являются следствием повышенного термомеханического напряжения при сильном нагреве. Такие случаи тяжело устранять, поскольку на выведенном в ремонт и холодном генераторе дефект не проявляется и место его положения определить невозможно [73, 103].

Известные методы контроля чистоты хладагента основываются на измерениях:

- давления дистиллята до и после обмотки статора турбогенератора;
- потерь дистиллята;
- температуры холодного и горячего дистиллята;
- удельной электропроводимости дистиллята;
- содержания воды в системе водяного охлаждения.

Известно [120, 217 – 225], что анализ данных таких измерений не дает хорошего результата, кроме того, недостатком известного способа контроля хладагента является то, что значительная часть нарушений технического состояния не отражается в динамике, вследствие чего замедленные процессы могут быть не отмечены.

В целях идентификации предельного состояния системы охлаждения турбогенератора предлагается осуществлять автоматизированный контроль уровня концентрации примесей в дистилляте на базе системы технического зрения, что обеспечивает высокую достоверность измерений [226]. Предлагаемый способ базируется на принципах работы установок для наблюдения за процессами парообразования в контурах с высоким давлением и температурой [227, 228].

Графическая иллюстрация предложенного способа представлена на рис. 5.12, где обозначено:

C – оцениваемый уровень концентрации примесей в системе охлаждения турбогенератора;

C_{\max}, C_{\min} – максимальный и минимальный уровни концентрации примесей в системе охлаждения турбогенератора;

t – время наблюдений;

$t_{\text{контр}}$ – время начала операции идентификации;

$t_{\text{пред}}$ – момент времени перехода системы охлаждения турбогенератора в предельное состояние;

I, II – кривые, которые соответствуют быстрому и медленному процессам увеличения концентрации примесей C ;

T_1, T_2 – время достижения предельного состояния для процессов, показанных кривыми I, II.

Предлагаемая технология контроля состава хладагента заключается в том, что идентификация и измерение концентрации примесей C осуществляется по яркости видеок кадров, которые поступают от системы технического зрения. Моментом начала контроля $t_{\text{контр}}$ является минимально до-

пустимая концентрация C_{\min} , что характеризуется высокой яркостью видеокадров системы технического зрения. Дискретные уровни яркости позволяют наблюдать за изменениями примеси в системе охлаждения, а следовательно, определить время $t_{\text{пред}}$ достижения максимальной концентрации C_{\max} , то есть идентифицировать предельное состояние системы охлаждения турбогенераторов.

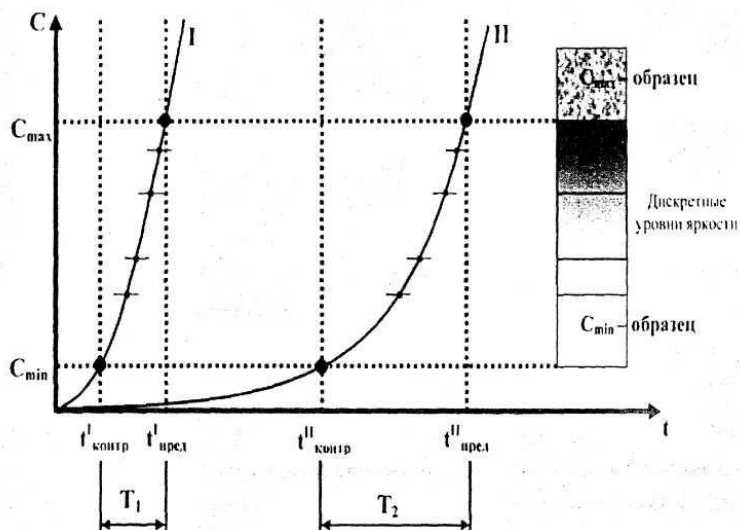


Рис. 5.12. Графическая иллюстрация способа идентификации предельного состояния

На рис. 5.13 представлена структура устройства, которое реализует предложенную технологию, где обозначено:

- 1 – система охлаждения турбогенератора;
- 2 – система технического зрения;
- 3 – блок сравнения;
- 4 – блок синхронизации;
- 5 – блок программного обеспечения;
- 6 – регистрирующий блок;
- 7 – система теплового контроля обмотки статора турбогенератора.

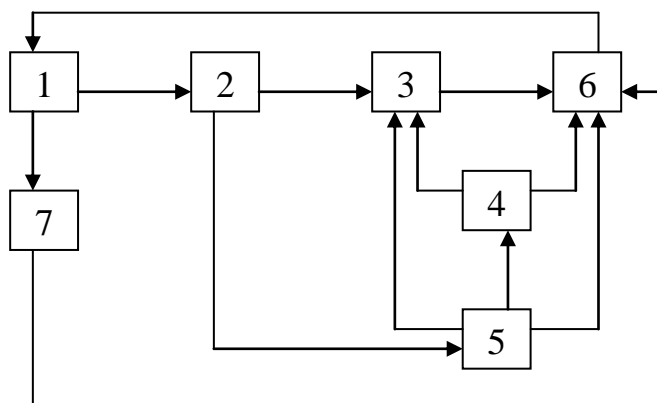


Рис. 5.13. Схема устройства для реализации способа идентификации предельного состояния

Данное устройство функционирует следующим образом.

Объектом контроля для данной технологии является концентрация примесей C в системе 1, идентификация и измерение которой осуществляется по яркости видеок кадров, поступающих от системы 2. Для получения видеок кадров оптический датчик системы 2 с помощью оптоволоконных линий вводится в канал циркуляции дистиллята системы 1. Яркость получаемых видеок кадров оценивается в блоке 3 с помощью видеок кадров-образцов, соответствующих дискретным уровням шкалы яркости, показанным на рис. 5.12, включая максимальную и минимальную концентрацию C . Идентификация уровня примеси и сравнение яркостей осуществляется с помощью блока 5, в памяти которого хранятся образцы видеок кадров и шкала дискретных уровней яркости. Синхронизация наблюдений осуществляется блоком 4.

Предложенный способ позволяет создать условия для непрерывного автоматизированного контроля концентрации C в системе охлаждения турбогенератора, обеспечивая высокую достоверность измерений при оценивании предельного состояния системы охлаждения статора турбогенератора. Таким образом, яркость видеок кадров системы технического зрения является идентификатором состояния системы охлаждения статора турбогенератора, что позволяет оценивать ее предельное состояние.

В ы в о д ы

1. Комплексный подход к проблеме прогнозирования показателей ресурсоспособности требует адаптации показателей долговечности и безопасности КВОИ, что может быть обеспечено за счет повышения качества их оценивания путем разработки и создания предлагаемой системы прогнозирования показателей ресурсоспособности КВОИ.

2. Показано применение совокупности принципов системного подхода для разработки модели технологического треугольника на этапе проектирования КВОИ и создания эффективного менеджмента ресурсоспособности на всех этапах его жизненного цикла.

3. Исследование условий эксплуатации, выбор и нормирование показателей ресурсоспособности, параметрической избыточности и предотказных состояний оборудования КВОИ с помощью экспертного оценивания, инфологического моделирования, методов оценивания предельных состояний при обязательном оценивании риска позволяет научно обосновать усовершенствование технологии ресурсного проектирования КВОИ.

4. Разработка приоритетного списка важных для безопасности элементов оборудования КВОИ, подверженных деградиационным ресурсным и параметрическим отказам, создание методологии их анализа и всеобъемлющая оценка основных процессов возникновения предотказных состоя-

ний при постоянном совершенствовании ресурсоспособности и ресурсных характеристик КВОИ позволяет предложить систему прогнозирования показателей ресурсоспособности КВОИ.

5. Модернизация испытательного оборудования, обеспечивающая формирование режимов возмущающих воздействий и экспертное оценивание спровоцированных возникающих в связи с этим отклонений контролируемых параметров позволяет исследовать динамику предотказных состояний КВОИ, повышая качество оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик за счет уменьшения вероятности ложных отказов и увеличения чувствительности выявления локальных зон объекта исследования, критичных к воздействию возмущающему фактору.

6. Технология комплексного исследования нормированных квантильных границ и плотности распределения контролируемых параметров, характеризующих выявленную зависимость определяющего элемента от воздействия влияющих факторов, позволяет повысить достоверность и расширить диагностические возможности при оценивании проявления факта возникновения параметрических отказов и прогнозировать предельное состояние, а также ресурсные характеристики КВОИ.

7. Технология автоматизированного наблюдения и контроля яркости видеок кадров системы технического зрения, которая является идентификатором состояния системы охлаждения статора турбогенератора, позволяет, благодаря применению видеок кадров-образцов и дискретной шкалы яркости, оценивать предельное состояние турбогенераторов большой мощности при обеспечении высокой достоверности измерений.

Глава 6

МИНИМИЗАЦИЯ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС

6.1 Анализ законодательной и нормативной базы организации строительных работ в зоне радиационного загрязнения

Первопричиной аварии на Чернобыльской АЭС было крайне маловероятное сочетание допущенных персоналом нарушений порядка и режима эксплуатации, которые разработчики реакторной установки считали невозможными и поэтому не предусмотрели создания соответствующей такой ситуации системы защиты. В результате аварии Украина имеет значительные территории, использование которых законодательно ограничивается и требует специального охранного режима (территория радиационного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, санитарно-защитные и охранные зоны предприятий промышленности, транспорта и связи) [248, 249]. Рассмотрим характеристику зон радиационного загрязнения.

Согласно [250] Зона отчуждения определена как территория, на которой в 1986 г. была проведена эвакуация населения. В результате Чернобыльской катастрофы на значительной территории Украины создавалась чрезвычайно опасная радиационная обстановка. Украина объявлена зоной экологической катастрофы. Закон [250] регулирует вопросы разделения территории на соответствующие зоны, режим их использования и охраны, условия проживания и работы населения, хозяйственную, научно-исследовательскую и другую деятельность в этих зонах. Закон фиксирует и гарантирует обеспечение режима использования и охраны указанных территорий для уменьшения действия радиационного излучения на здоровье человека и на экологические системы [250].

Отмеченная зона и отселенная часть Зоны безусловного (обязательного) отселения (далее по тексту Зона) является территорией, земли которой выведены из хозяйственного использования, с особой формой управления. Территория Зоны, которая находится под юрисдикцией Администрации Зоны отчуждения, составляет около 2600 км². В зависимости от ландшафтных и геохимических особенностей грунтов, величины превышения природного до аварийного уровня накопления радионуклидов в окружающей среде, связанных с ними степенями возможного негативного влияния на здоровье населения, требований по осуществлению радиационной защиты населения и других специальных мероприятий, с учетом общих производственных и социально-бытовых отношений территория, которая подверглась радиационному загрязнению вследствие Чернобыльской катастрофы, разделяется на зоны. Таким зонами являются:

– зона отчуждения – это территория, из которой эвакуировали население в 1986г.;

– зона безусловного (обязательного) отселения – это территория, которая подверглась интенсивному загрязнению долгоживущими радионуклидами, с плотностью загрязнения грунта больше доаварийного уровня изотопов цезия, стронция или плутония, где расчетная эквивалентная эффективная доза излучения человека превышает 5,0 мЗв в год больше дозы, которую человек получил в доаварийный период;

– зона гарантированного добровольного отселения – это территория с плотностью загрязнения почвы, которая превышает доаварийный уровень, при котором расчетная эквивалентная эффективная доза облучения человека с учетом коэффициентов миграции радионуклидов в растения и других факторов может превысить 1,0 мЗв за год сверх дозы, которую он получал в доаварийный период;

– зона усиленного радиоактивного контроля [250].

Следует отметить, что радиоактивное загрязнение характеризуется высокой степенью неоднородности пространственного распределения радионуклидов на территории, множественностью физико-химических форм радиоактивных выпадений, отличающейся долгосрочной динамикой биологической доступности и миграционной подвижности радионуклидов в звеньях цепей миграции на различных следах выпадений.

В настоящее время территории 30-киллометровой зоны представляет собой плоскостной открытый источник радиоактивности с собственной структурой распределения, присутствием различных форм и видов депонированных радиоактивных нуклидов. Вследствие этого радиационный фактор продолжает оставаться одним из основных в определении потенциальной опасности как для населения, проживающего на прилегающих территориях, так и для населения Украины в целом. Показатели радиационного состояния окружающей среды в Зоне отчуждения существенно изменились по сравнению с первым послеаварийным годом.

В зоне отчуждения и безусловного (обязательного) отселения запрещается:

– постоянное проживание населения;

– выполнение деятельности с целью получения товарной продукции без специального разрешения Министерства Украины по вопросам чрезвычайных ситуаций;

– пребывание лиц, которые не имеют специального разрешения, а так же вовлечение их в работу без их согласия;

– вынос или вывоз из зон строительных материалов и конструкций, машин и механизмов, домашних вещей и т.д. без специального разрешения;

– ведение сельскохозяйственной, лесохозяйственной, производственной и другой деятельности, а также строительство без специального разрешения;

– въезд на территорию зоны и выезд из нее осуществляется только по специальным пропускам с обязательным дозиметрическим контролем людей и транспортных средств. Транзитный проезд всех видов транспорта осуществляется по специальным пропускам, выдаваемым администрацией зоны;

– любая другая деятельность, которая не обеспечивает режим радиационной безопасности;

– пребывание лиц, имеющих медицинские противопоказания для работы в контакте с источниками ионизирующего излучения или относительно которых установлена причинная связь инвалидности с работами по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, поскольку они являются профессионально больными [250].

Земельные участки, расположенные в зоне гарантированного добровольного отселения, относятся к радиоактивно загрязненным, и используются в порядке, определяемом Кабинетом Министров Украины.

В зоне усиленного радиологического контроля запрещается:

– строительство санаториев, пионерских лагерей, баз и домов отдыха, а также строительство новых предприятий, которые вредно влияют на здоровье населения и окружающую среду;

– любая деятельность, ухудшающая радиологической ситуации;

– природопользование, не отвечающее требованиям норм радиационной безопасности;

– внесение пестицидов, гербицидов, ядохимикатов без специального разрешения соответствующих органов Кабинета Министров Украины;

– привлечение школьников, учащихся и студентов к работам, которые могут негативно повлиять на состояние их здоровья [250].

Рассмотрим процессы организации строительно-монтажных работ на территории Чернобыльской АЭС. Компании осуществляют свою деятельность в соответствии с законами Украины: [252 -258]. К правовым актам, регламентирующим работы в зоне радиоактивного загрязнения относятся ЗУ «Об использовании ядерной энергии и радиационной защите» (Закон введен в действие Постановлением ВР N 40/95-ВР от 08.02.95 г.) с изменениями и дополнениями, внесенными Законами Украины от 19 ноября 1996 N 526/96-ВР, от 3 декабря 1997 N 684/97- ВР, от 20 апреля 2000, N 1673-III. Он устанавливает приоритет безопасности человека и окружающей среды, права и обязанности граждан в сфере использования ядерной энергии, регулирует деятельность, связанную с использованием ядерных установок и источников ионизирующего излучения, устанавливает также правовые основы международных обязательств Украины об использова-

нии ядерной энергии [257]. Данный закон распространяется на все виды деятельности в сфере использования ядерной энергии, включая:

- размещение, проектирование, сооружение, ввод в эксплуатацию, эксплуатацию и снятие с эксплуатации ядерных установок, источников ионизирующего излучения;
- осуществление работ и услуг, влияющих на безопасность при использовании ядерной энергии;
- обращение с ядерными материалами и источниками ионизирующего излучения, в частности при разведке и добыче полезных ископаемых, содержащих эти материалы и вещества;
- проведение научных исследований с использованием ядерных установок, источников ионизирующего излучения, ядерных материалов;
- управление в сфере использования ядерной энергии;
- государственное регулирование безопасности при использовании ядерной энергии;
- физическая защита ядерных установок, ядерных материалов;
- государственный учет ядерных материалов и источников ионизирующего излучения;
- государственный контроль за радиационной обстановкой на территории Украины;
- подготовку кадров для деятельности, связанной с использованием ядерной энергии;
- международное сотрудничество и обеспечение соблюдения международных обязательств Украины в сфере использования ядерной энергии.

Соблюдение норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности является обязательным при осуществлении любого вида деятельности в сфере использования ядерной энергии. Требования указанных норм, правил и стандартов принимаются с учетом рекомендаций международных организаций в сфере использования ядерной энергии.

ЗУ «О защите человека от воздействия ионизирующих излучений» направлен на обеспечение защиты жизни, здоровья и имущества людей от негативного воздействия ионизирующих излучений, вызванного практической деятельностью, а также в случаях радиационных аварий, путем выполнения предупредительных и спасательных мероприятий и возмещения ущерба [258]. Система контроля и учета доз облучения населения направлена на определение критических групп людей в зависимости от условий и места жительства или расположения рабочих мест и регистрации индивидуальных доз облучения лиц, отнесенных к критической группе. В отношении лиц из критической группы людей осуществляется обязательный контроль и учет индивидуальных доз облучения при условии, что величини-

на эффективной дозе облучения любого человека из критической группы превышает дозовую границу, установленную соответствующими нормативами. Учет индивидуальных доз облучения людей, отнесенных к критической группе, ведется в районном (городском) дозовом реестре облучения, организацию ведения которого осуществляют местные органы исполнительной власти [258].

С целью обеспечения сбора, обработки, хранения и анализа информации о состоянии окружающей природной среды, прогнозирования его изменений и разработки научно-обоснованных рекомендаций для принятия эффективных управленческих решений в Украине создается система государственного мониторинга окружающей природной среды. Объекты, которые вредно влияют или могут повлиять на состояние окружающей природной среды, виды и количество вредных веществ, попадающих в окружающую среду, виды и размеры вредных физических воздействий на нее подлежат государственному учету. Предприятия, учреждения и организации проводят первичный учет в области охраны окружающей среды и безвозмездно подают соответствующую информацию органам, ведущим государственный учет в этой области [259]. Сбор, обработка и представление соответствующим государственным органам сводной статистической отчетности об объемах выбросов, сбросов загрязняющих веществ, использование природных ресурсов, выполнение задач по охране окружающей среды и другой информации, ведение экологических паспортов осуществляется по единой системе. В [252] определены основные положения относительно реализации конституционного права работников на охрану их жизни и здоровья в процессе трудовой деятельности, на надлежащие безопасные для здоровья условия работы.

От предприятий, выполняющих строительные-монтажные работы в зоне радиационного загрязнения требуется более четкое следование отраслевым стандартам. Например, ЧАО «Укрэнергомонтаж» в своей работе использует следующие нормативные документы: [260-271]. Приказом Минрегионстроя от 25.12.2009 г. № 689 в 2011 году вступили в силу государственные строительные нормы ДБН А.3.1-5-2009 «Управление, организация и технология. Организация строительного производства». Настоящие нормы устанавливают общие требования к организации строительного производства при строительстве, а также расширении, реконструкции и техническом перевооружении (в дальнейшем- «строительство») объектов (предприятий, зданий, сооружений и их комплексов) любого назначения. Эти требования должны соблюдаться всеми участниками строительства, независимо от форм собственности и ведомственной принадлежности [260].

По отдельным видам специального строительства в дополнение к настоящим нормам следует учитывать требования согласованных с Государ-

ственным Комитетом Украины по делам градостроительства и архитектуры и утвержденных в установленном порядке ведомственных нормативных документов, отражающих специфику этих видов строительства.

Организация строительного производства должна обеспечивать целенаправленность организационных, технических и технологических решений и мероприятий на выполнение обязательств по контрактам на строительство объектов (ввод их в действие с необходимым качеством и в обусловленные сроки) при соблюдении производственно-хозяйственных, экономических и других интересов участников строительства [260].

Выполнению работ на объектах должен предшествовать комплекс мероприятий и работ по подготовке строительного производства, обеспечивающий возможность осуществления строительства в соответствии с условиями подрядных контрактов и взаимоувязанную деятельность всех его участников. Подготовка строительного производства включает общую организационно – техническую подготовку, подготовку к строительству объекта, подготовку строительной организации и подготовку к производству строительно-монтажных работ. Подготовка производства в объеме, необходимом для начала строительно-монтажных работ на объекте (пусковом комплексе), и развертывание их с требуемой интенсивностью должны быть выполнены до начала его строительства [260].

Строительство объекта должно осуществляться на основе предварительно разработанных решений по организации строительства и технологии производства работ, которые должны быть отображены в проектно-технологической документации (ПТД). Эта документация является неотъемлемой составной частью документации на строительство, наряду с проектно-сметной документацией и рабочими чертежами. Состав и содержание ПТД, необходимой для осуществления работ на объекте, устанавливаются в контракте на его строительство, в зависимости от вида строительства, сложности объекта, форм взаимодействия участников строительства и т.п. [260].

Строительное производство следует организовывать с рациональным использованием технологической специализации организаций и подразделений для выполнения отдельных видов строительно-монтажных работ, оказании отдельных видов услуг или строительстве определенных типов объектов. Следует применять, при необходимости, комбинированные организационные формы управления, основанные на рациональном сочетании промышленного и строительного производства, учитывающие производственную разноплановость и различие форм собственности участников строительства, их организационно-экономическую самостоятельность, доминирование горизонтальных связей рыночного типа [260].

Согласованное выполнение комплекса работ на каждом объекте всеми участниками его строительства должно обеспечиваться на основе коор-

динации их деятельности генеральным подрядчиком, решения которого по вопросам, связанным с выполнением обязательств, предусмотренных контрактом, являются обязательными для всех участников, не зависимо от их ведомственной принадлежности, организационно-экономического уклада и форм собственности [260].

При организации строительного производства должны обеспечиваться:

- рациональные методы организации строительного-монтажных работ, обеспечивающие соблюдение условий контрактов на строительство, а также соответствующие производственным возможностям и интересам исполнителей (при достаточных для этого объемах и технико-экономической целесообразности – преимущественно поточные);

- рациональная технологическая последовательность выполнения работ, технико-экономическое и технологическое обоснованное их совмещение; комплектное обеспечение строительного-монтажных работ на каждом организационно-технологическом модуле (здании, сооружении, узле, участке, секции, этаже, ярусе, объемно-планировочном элементе, помещении и т.п.) материальными и техническими ресурсами в сроки, обеспечивающие выполнение работ в соответствии с календарными планами и графиками работ;

- при технико – экономической целесообразности – возведение зданий, сооружений и их частей индустриальными методами на основе комплектно-поставляемых конструкций, изделий, материалов, оборудования и блоков повышенной заводской готовности, а также укрупнительная сборка конструкций на стройплощадке перед установкой их в проектное положение;

- выполнение работ сезонного характера, включая отдельные виды подготовительных работ, в наиболее благоприятное время года (если требованиями заказчика не диктуется иное);

- условия труда, санитарно-бытовое и медицинское обслуживание работающих в соответствии с действующими санитарными нормами;

- строгое соблюдение правил охраны труда и техники безопасности, пожарной безопасности;

- соблюдение требований по охране окружающей природной среды и согласованных условий производства работ на участках застройки [260].

Следует так же отметить, что в своей работе ЧАО «Укрэнергомонтаж» придерживается правил, инструкций не только отраслевого значения, но и действующих на территории Заказчика и направленных на качественное предоставление услуг подрядчиком. К таким документам можно отнести [272-277].

«Положение об оценке поставщиков услуг для Чернобыльской АЭС» определяет условия и порядок проведения оценки поставщиков продукции (товаров, работ и услуг) для ГСП ЧАЭС, а также виды, основные этапы оценки, порядок оформления её результатов, критерии принятия решения о возможности использования продукции поставщика, порядок учета утвержденных поставщиков ГСП ЧАЭС [272].

Положение применяется к поставщикам продукции, вошедших в «Перечень видов товаров, услуг и работ, для которых необходимо проводить оценки поставщиков». Настоящее Положение разработано с целью организации контроля над деятельностью предприятий (организаций), поставляющих товары, выполняющих работы и предоставляющих услуги для ГСП ЧАЭС. Положение регламентирует проведение оценки поставщиков, являющихся непосредственными изготовителями товаров, исполнителями услуг и работ для ГСП ЧАЭС [272].

Требования данного положения распространяются на деятельность посредников, если имеется влияние такой деятельности на качество продукции (транспортировка, хранение, техническое обслуживание и т.д.). В соответствии с данным положением может контролироваться деятельность субподрядчиков.

В любом случае возможность проведения оценки поставщиков (периодической), субподрядчиков или посредников должна быть указана в условиях заключенных договоров (контрактов). В случае заключения договора (контракта) с посредником (поставщиком – оператором), при необходимости (по решению Главного инженера станции), проводится оценка производителя продукции, при этом следует убедиться, что договором (контрактом) между поставщиком-оператором и поставщиком-изготовителем предусмотрена возможность проведения такой оценки в соответствии с требованиями данного Положения или такая возможность предусмотрена в договоре (контракте) с посредником (поставщиком-оператором) [272].

Оценка производителя продукции не производится, если производителем приняты гарантийные обязательства или невозможность такой оценки обусловлена соблюдением коммерческой тайны. Поставщик (генеральный подрядчик) должен предоставлять ГСП ЧАЭС информацию о своих субподрядчиках.

Поставщик должен предусматривать процедуры проведения оценки своих субподрядчиков. Документ не распространяется на оценку поставщиков с точки зрения коммерческого риска контрактной деятельности. По решению председателя комиссии по оценке поставщиков отдельные этапы процедуры оценки, описанные в данном Положении, могут быть применены к поставщикам продукции, не вошедшей в «Перечень видов товаров, услуг и работ, для которых необходимо проводить оценки поставщиков».

В общем случае, оценка таких поставщиков проводится на основании действующих нормативных документов, в которых описываются процедуры (методы, документы) подтверждения соответствия [272].

Согласно [273] и [274] к выполнению работ (оказанию услуг) на территории и объектах ГСП ЧАЭС допускаются сторонние подрядные, субподрядные организации, имеющие все необходимые разрешительные документы согласно действующему законодательству Украины. Документы разрешительной деятельности для выполнения работ на ГСП ЧАЭС для украинских сторонних организаций (резидентов):

- лицензии по видам хозяйственной деятельности, – согласно ст. 9 ЗУ «О лицензировании определенных видов хозяйственной деятельности»;
- лицензии Государственного комитета ядерного регулирования Украины, – согласно ст. 7 ЗУ «О разрешительной деятельности в сфере использования ядерной энергии»;
- разрешения Госгорпромнадзора на выполнение работ повышенной опасности, – согласно «Порядка выдачи разрешений Государственным комитетом по надзору за охраной труда и его территориальными органами» (утв. постановлением КМУ от 15.10.2003 N 1631, с изменениями и дополнениями от 16.11.2007);
- специальное разрешение на проведение отдельных видов деятельности на территории зоны отчуждения и зоны безусловного (обязательного) отселения, который выдается Администрацией зоны отчуждения (оформляется после заключения договора) – согласно [273].

Документы разрешительной деятельности для выполнения работ на ГСП ЧАЭС для иностранных сторонних организаций (нерезидентов):

- сертификат системы управления качеством;
- специальное разрешение на проведение отдельных видов деятельности на территории зоны отчуждения и зоны безусловного (обязательного) отселения, который выдается Администрацией зоны отчуждения (оформляется после заключения договора – если выполняются физические работы непосредственно персоналом иностранной сторонней организации) [273].

К выполнению работ (оказанию услуг) на территории и объектах ГСП ЧАЭС допускаются работники сторонних организаций в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр согласно [274]. Работники подрядных, субподрядных организаций ПОМ, перед допуском к работам в помещения и на территории, относящиеся к зонам применимости программы «БИОМЕД», должны пройти соответствующий медицинский и биофизический контроль согласно административной процедуре «Требованиям к подрядчику относительно выполнения программы медицинского и биофизического контроля при работах ПОМ» [274].

6.2 Бенчмаркинговые исследования процессов организации строительных работ в зоне радиационного загрязнения

В настоящее время строительно-монтажные работы на Чернобыльской АЭС привлекают все больше и больше внимания, поскольку от этого зависит безопасность не только отдельной местности, но и всей территории Украины, а также соседних стран – России, Белоруссии.

Укрытие — это изоляционное сооружение над четвёртым энергоблоком Чернобыльской атомной электростанции, построенное в 1986 году после взрыва 4 реактора (рис.6.1). В настоящее время в связи с опасностью разрушения саркофага над 4 энергоблоком ЧАЭС ведутся работы по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.



Рис.6.1. Изоляционное сооружение над четвёртым энергоблоком Чернобыльской атомной электростанции

Новый объект будет представлять арочную конструкцию высотой 108,39 м и длиной 150 м, в которой будут находиться технологический корпус и вспомогательные сооружения (рис.6.2).

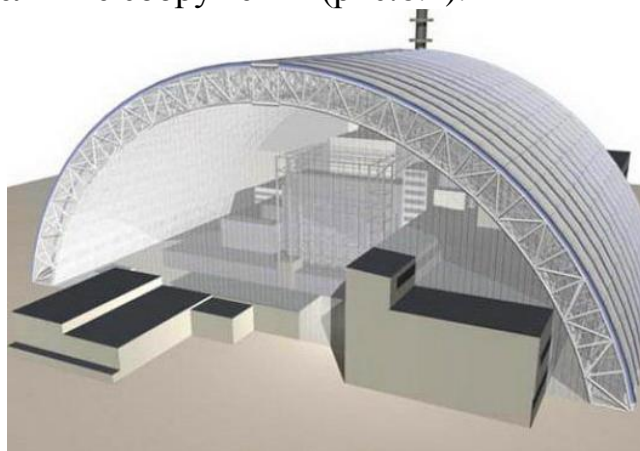


Рис.6.2.Проект НБК

В зоне радиационного загрязнения работает множество строительномонтажных организаций. ЧАО «Укрэнергомонтаж» создано в 1996г на базе СМУ «Укрэнергомонтаж», образованного при слиянии Чернобыльского монтажного управления САЭМ и Припятского управления ЮЭМ в 1989г.

ЧАО «Укрэнергомонтаж» реализовала контракты, при выполнении которых обязательным условием является выполнение работ в соответствии с требованиями стандарта ДСТУ ISO 9001, а именно:

- строительство хранилища отработанного ядерного топлива ГСП ЧАЭС (субподряд, монтаж металлоконструкций и арматуры);
- строительство завода по переработке жидких радиоактивных отходов ГСП ЧАЭС (субподряд, монтаж металлоконструкций и арматуры);
- малая стройбаза объекта «Укрытие» (субподряд, монтаж металлоконструкций);
- подготовка площадки под строительство ПКПТРВ ГСП ЧАЭС (субподряд, демонтаж козлового крана);
- подготовка площадки под строительство ПКОТРО ГСП ЧАЭС (субподряд, демонтаж, ремонт, монтаж и ввод в действие козлового крана);
- санпропускник на 1430 мест ГСП ЧАЭС (субподряд, монтаж сборных ж/б конструкций);
- устранение несанкционированных проходов на объекте «Укрытие» ГСП ЧАЭС;
- стабилизационные мероприятия объекта «Укрытие» ГСП ЧАЭС.

Основными направлениями в деятельности компании являются:

- строительство объектов гражданского и промышленного назначения;
- строительство ядерных установок; строительство объектов для обращения с радиоактивными отходами;
- монтаж и обслуживание грузоподъемных механизмов.

ЧАО «Укрэнергомонтаж» имеет разрешения, выданные Архитектурно-Строительным комитетом г.Киева, которые распространяются на:

- строительномонтажные работы;
- инженерную подготовку строительства;
- работа с металлическими и деревянными конструкциям;
- монтаж внутренних и внешних инженерных сетей, систем и способов изменения;
- электрические работы;
- работы по защите сетей, конструкций и оборудования;
- технологическое оборудование;
- выполнение пуско-наладочных работ.

Для работы на промышленной площадке Чернобыльской АЭС необходимо иметь разрешения из Государственного комитета ядерного регулирования. ЧАО «Укрэнерго» имеет соответствующую лицензию на переработку, хранение и захоронение РАО. Ввиду специфики своей работы организационная структура данной организации отличается от структур большинства строительных компаний. Компания состоит из Главного офиса (который находится в г. Киев), Группы управления проектами, Чернобыльского монтажного участка и Электро-технического участка (которые находятся на площадке Чернобыльской АЭС) [288, 297]. Для более эффективного управления проектами, в компании существует Группа управления проектами [297].

Персонал Головного офиса осуществляет следующую деятельность:

- организация взаимодействия с заказчиком и его официальными представителями по всем вопросам проекта;
- планирование ключевых событий и выработку решений проекта, определение приоритетов и критических задач проекта;
- анализ хода работ, контроль выполнения графика контракта;
- контроль соблюдения требований общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности при выполнении работ;
- контроль функционирования системы качества подрядчика;
- контроль соблюдения требований по минимизации влияния строительства на окружающую среду;
- ведение бюджета проекта;
- контроль за выполнением договорных обязательств всех сторон проекта;
- организация и проведение совещаний и переговоров с представителями заказчика по текущей деятельности в рамках проекта;
- коммерческая и юридическая координация деятельности партнеров/подрядчика;
- проведение переговоров с Заказчиком, инженером, представителями органов власти, любыми третьими лицами в интересах подрядчика по ключевым вопросам;
- контроль проведения расчетов Заказчика с подрядчиком, учет и контроль финансовых отношений с Заказчиком;
- контроль изменений вносимых в контракт;
- контроль вопросов страхования по контракту и действия выданных гарантий.

Персонал Полевого офиса осуществляет следующую деятельность [297]:

- реализация организационных и управленческих решений, касающихся выполнения координатором функций генерального подрядчика на строительной площадке;

– производственно-техническая и организационная координация действий предприятий подрядчика и субподрядчиков на площадке строительства;

– организация закупок, поставка материалов и оборудования;
– непосредственный надзор за производством работ, организация, управление и ведение работ на площадке строительства;

– ежедневное рабочее взаимодействие с представителями Заказчика по техническим вопросам и вопросам допуска персонала;

– обеспечение отчетности по проекту;

– ведение бюджета проекта в части деятельности координатора;

– организация и проведение еженедельных совещаний генерального подрядчика по текущим техническим вопросам с представителями Заказчика в рамках проекта;

– обеспечение общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности при выполнении работ на площадке;

– деятельность по обеспечению качества в рамках проекта, контроль качества всех работ, выполняемых по проекту;

– выполнение мероприятий, направленных на соблюдение требований по минимизации влияния строительства на окружающую среду;

– организация и учет подготовки персонала; организация и учет медицинских контролей по программе ПОМ;

– контроль внесения изменений в проектную документацию; организацию работ по обращению с РАО;

– подготовку и передачу исполнительной документации заказчику;

– сдачу выполненных работ службам заказчика.

ЧАО «Укрэнергоремонт» является одной из подрядных организаций на площадке Чернобыльской АЭС. Данная организация участвует в выполнении международных проектов ПОМ (план осуществления мероприятий по превращению объекта «Укрытие» в безопасную экологическую систему). Выполнение такого рода контрактов требует наличие на предприятии системы менеджмента качества и, соответственно, сертификата качества ISO.

Основной целью политики компании в области качества является непрерывное улучшение потребительской ценности продукции и услуг, укрепления рыночных отношений, а также обеспечения удовлетворенности потребителей. Функционирует на предприятии система менеджмента качества, что предусматривает:

– постоянное совершенствование уровня деятельности всех подразделений, которые обеспечивают потребительскую ценность продукции;

– внедрение новых прогрессивных технологий и расширение перечня услуг, которые предоставляются;

- сокращение производственного цикла и повышение производительности труда при эффективном использовании материальных ресурсов;
- быстрое реагирование на новые запросы;
- снижение числа ошибок и дефектов;
- стремление занять лидирующее положение в условиях острой конкуренции. Руководство компании берет на себя обязанности и несет ответственность по обеспечению профессионального роста работников, по повышению их удовлетворенности и благополучия, улучшению условий труда и защиты окружающей среды, по развитию инициативы, а также по обеспечению трудового процесса финансовыми и материальными ресурсами.

Система менеджмента качества Компании направлена на реализацию политики качества и достижения сформулированной цели.

Для достижения цели менеджмента качества Компания располагает [297]:

- квалифицированным персоналом;
- необходимыми финансовыми и материальными ресурсами;
- необходимой научно-технической поддержкой.

Неотъемлемой частью работы компании является соблюдение стандартов качества [297].

Инженерно-технический персонал компании ознакомлен с Руководством по качеству, действующим на предприятии, а так же методиками, которые входят в руководство по качеству и являются неотъемлемой его частью, а именно:

- «Управление документацией»;
- «Управление протоколами качества»;
- «Проведение внутренних аудитов»;
- «Управление продукцией несоответствующей установленным требованиям» ;
- «Корректирующие и предупреждающие действия»;
- «Подготовка тендерных документов при закупке товаров и услуг»;
- «Согласование и утверждение документов» [288].

Компания непрерывно совершенствует эффективность системы управления качеством, используя:

- Политику в области качества;
- цели в области качества;
- результаты аудитов;
- анализ данных;
- корректирующие и предупреждающие действия;
- анализ со стороны руководства.

Работа предприятия основывается на процессном подходе.

Ко всем процессам может быть применена методология «Планируй – делай – проверяй – действуй»:

- планируй – установить цели и процессы, которые должны дать результат в соответствии с требованиями заказчика и политикой компании;
- делай – внедрить процессы;
- проверяй – осуществлять мониторинг и измерять процессы и продукцию по отношению к политике, целям и требованиям к продукции и сообщать результаты;
- действуй – предпринимать действия по непрерывному совершенствованию эффективности процессов.

Одним из основных процессов в компании является процесс организации строительства объектов. Методом мониторинга и измерением этого процесса является постоянный контроль по выполнению графика работ. График работ включает в себя наблюдение и измерение продукции, а также её составляющих на всех этапах создания продукции. По мере создания продукции график работ корректируется с учётом фактического выполнения за определённый период.

Компания проводит мониторинг и измеряет характеристики продукции, чтобы проверить, что требования к продукции выполнены. Это осуществляется в течение процесса создания продукции на соответствующих этапах в соответствии с запланированными мероприятиями. Эти мероприятия включают в себя, но не ограничиваются:

- входным контролем материалов и изделий получаемых от поставщиков;
- операционным контролем в процессе производства;
- приёмочным контролем.

Выпуск продукции или её доказательство соответствия критериям приёмки документально оформляется. В записях указан уполномоченный представитель, ответственный за выпуск продукции на определённых этапах ее создания. Он отвечает за все запланированные действия по созданию продукции, пока они не будут закончены в соответствии с требованиями заказчика, либо до тех пор, пока не будут одобрены соответствующими уполномоченными представителями заказчика.

Мониторинг и изменения процессов на предприятии влекут за собой анализ данных. Таким образом, компания определяет, собирает и анализирует соответствующие данные, чтобы продемонстрировать пригодность и эффективность системы управления качеством и оценить, где может быть проведено непрерывное совершенствование эффективности системы управления качеством. Данные включают результаты контроля и измерения, статистические данные, полученные с применением статистических методов или других методов. Анализ данных обеспечивает информацию относительно:

- удовлетворённости заказчика;
- соответствия требованиям к продукции;
- характеристик тенденций, процессов и продукции, включая возможности для предупреждающих действий;
- поставщиков.

Неотъемлемой частью системы менеджмента качества ЧАО «Укр-энергомонтаж» является проведение внутренних аудитов. В руководстве по качеству компании разработана методика по проведению внутренних аудитов. Методика внутреннего аудита содержит [297]:

- лист согласования;
- содержание;
- нормативные ссылки;
- термины и определения;
- форму Плана проведения внутреннего аудита;
- форму Контрольного листа проверки подразделений;
- форму Запроса на корректирующие действия.

Предприятие постоянно проводит оценку эффективности выполняемых действий. Данная оценка осуществляется путем проведения внутренних аудитов. Так же одним из критериев данной оценки является анализ жалоб заказчика, который выполняется на совещаниях руководства или по необходимости, и проведение аттестации персонала.

В Руководстве по качеству так же изложены требования к документации. В соответствии с этими положениями документация может быть на носителе любой формы и типа, бумажные копии или электронные файлы.

Документация (кроме организационно распорядительной: приказы, письма) приведена в перечне, выполненном с учётом требований заказчиков, а также установленных и законодательных требований.

Документация системы управления качеством компании включает [297]:

- А) документированные положения политики и целей в области качества; руководство по качеству;
- Б) документально оформленные методики;
- В) рабочие документы, необходимые для обеспечения эффективного планирования, осуществления собственных процессов и управления ими:
 - договора;
 - рабочие проекты;
 - проекты производства работ;
 - особые требования Чернобыльской АЭС к доступу на площадку, требования по радиационной защите на площадке;

– документы внешнего происхождения, такие как строительные нормы и правила, стандарты, технические условия, руководящие документы (СНиП, ДБН, ГОСТ, ДСТУ, ТУ, РД) и рекомендации МАГАТЭ;

– протоколы качества, требуемые настоящим руководством по качеству.

Проанализировав ДБН А.3.1-5-2009 «Управление, организация и технология. Организация строительного производства», было обнаружено отсутствие номенклатуры показателей качества организации строительства промышленных объектов.

В ходе анализа нормативной базы организации строительства промышленных объектов в зоне радиационного загрязнения была выявлена необходимость в проведении бенчмаркетинговых исследований процесса организации строительных работ при реализации проектов в зоне радиационного загрязнения.

Перед началом выполнения проектов в зоне радиационного загрязнения разрабатывается Программа мобилизации.

Работы по мобилизации включают в себя выполнение следующих работ:

а) поиск и выбор поставщиков материалов, конструкций, грузоподъемных механизмов, оборудования и спецодежды;

б) заключение контрактов на поставку с поставщиками;

в) организация функциональной деятельности следующих служб Подрядчика: геодезической службы; службы обеспечения качества;

г) обеспечение структурных подразделений и субподрядных организаций нормативной и технологической документацией, необходимой для выполнения строительно-монтажных работ;

д) обеспечение строительства машинами, механизмами, а также временными зданиями и сооружениями, необходимыми в течении всего периода выполнения контрактных работ;

е) разработка проектно-технологической документации, изготовление, поставка и монтаж нестандартного оборудования и оснастки;

ж) обеспечение персонала необходимыми жилищными и социальными условиями, включая питание в соответствии с действующими нормами;

з) организация, при поддержке Заказчика, индивидуального дозиметрического контроля с ежемесячной регистрацией доз облучения;

и) привлечение необходимого количества инженерно-технического персонала и рабочих соответствующей квалификации для выполнения полного комплекса строительно-монтажных и пусконаладочных работ, прошедших специальную подготовку и аттестацию;

к) организация своевременного медицинского обследования персонала;

л) организация подготовки, проведения необходимых инструктажей и усовершенствование рабочих процессов и операций с использованием макетов;

м) проверка знаний нормативной, технической и технологической документации персоналом с ведением журналов для административных и технических руководителей и выдачи разрешений на выполнение работ в ГСП ЧАЭС;

н) организация транспортировки персонала на площадку и к местам временного проживания (включая визы, страхование проезда и другие связанные затраты);

о) получение всех необходимых разрешений для обеспечения доступа персоналу Подрядчика в зону отчуждения и на строительную площадку;

п) получение всех необходимых разрешений на транспортировку, доступ, доставку материалов и оборудования в зону отчуждения и на строительную площадку [289].

Объектом бенчмаркиговых исследований является организация строительства на территории промышленной площадки Чернобыльской АЭС.

Для возможности проведения сравнительного анализа и достижения максимальной эффективности, необходимо определить показатели качества процесса организации строительства. Номенклатура показателей качества организации строительного производства на площадке Чернобыльской АЭС, выполняемого персоналом УЭМ представлена в таблице 6.1.

В результате анализа причинно-следственной диаграммы выявлены факторы, влияющие на организацию строительного-монтажных работ в зоне радиационного загрязнения: персонал, который мобилизуется на площадку; техническая база; документация; техника безопасности, радиационная безопасность и пожарная безопасность.

Факторы, влияющие на качество организации строительства в зоне радиационного загрязнения

Комплексный показатель качества	Групповой показатель качества	Единичный показатель качества
1 Техническая база	1.1 Измерительная техника	1.1.1. Своевременная настройка и проведение технического обслуживания
	1.2 Грузоподъемное оборудование	1.2.1 Соблюдение инструкций по безопасному выполнению работ
		1.2.2 Контроль соблюдения правил ТБ
	1.3 Электротехническое оборудование	1.3.1. Своевременная настройка и проведение технического обслуживания
		1.3.2 Соблюдение правил ТБ при выполнении работ
	2 Персонал	2.1 Квалификация
2.1.2 Специальность		
2.1.3 Периодическое повышение квалификации		
2.1.4 Стажировка на рабочем месте вновь принятого персонала не менее одного года		
2.2 Мобилизация персонала		2.2.1 Прохождение медицинской комиссии "БИОМЕД"
		2.2.2 Прохождение теоретического курса обучения по ТБ
		2.2.3 Прохождение теоретического курса обучения по РБ и ПБ
		2.2.4 Прохождение инструктажей в ЗПР

Комплексный показатель качества	Групповой показатель качества	Единичный показатель качества
3 Документы	3.1 Проектно-техническая документация	3.1.1 Актуальность
	3.2 Отчетная документация	3.2.1 Оформление актов выполненных работ
		3.2.2 Составление ежемесячных отчетов
	3.3 ЕНД	3.3.1 Оформление единого наряда-допуска
		3.3.2 Закрытие ЕНД
	4 Техника безопасности, радиационная безопасность, пожарная безопасность	4.1 Обучение
4.1.2 Радиационная безопасность		
4.1.3 Пожарная безопасность		
4.2 Соблюдение требований охраны труда, техники безопасности, безопасности		4.2.1 Выполнение требований ЕНД
		4.2.2 Средства защиты от ионизирующей излучений
		4.2.3 Средства индивидуальной защиты

Оценим уровень качества процесса организации строительных работ с помощью экспертного метода. Анкета, разработанная на основе факторов, выявленных с помощью построения причинно-следственной диаграммы Исикавы, приведена в таблице 6.2.

Т а б л и ц а 6.2

Анкета	
№	Вопрос
1	По пятибалльной шкале оцените состояние технической базы предприятия, на котором вы работаете.
2	По пятибалльной шкале оцените квалификацию персонала, вовлеченного в реализацию проектов в зоне радиоактивного загрязнения.
3	По пятибалльной шкале оцените соблюдение норм оформления ПТД, отчетов, а так же единых нарядов-допусков на выполнение работ.
4	По пятибалльной шкале оцените проведение первичного обучения, инструктажей по технике безопасности, радиационной безопасности, а так же пожарной безопасности.

Результаты экспертного опроса и ранжированной оценки 5 экспертов приведены на диаграмме (рис.6.3), данные показатели требуют улучшения.

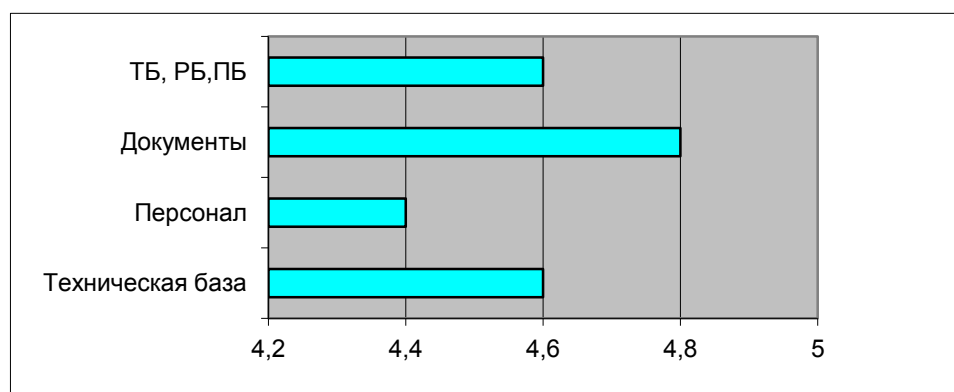


Рис. 6.3. Оценка комплексных показателей качества процесса организации строительства ЧАО «Укрэнергомонтж»

Для сравнительного анализа процесса организации строительных работ необходимо рассмотреть данные процессы, выполняемые другими подрядными организациями на Чернобыльской АЭС. Результаты ранжированной оценки ООО «СК «Укрстроймонтж» представлены на диаграмме (рис. 6.4).

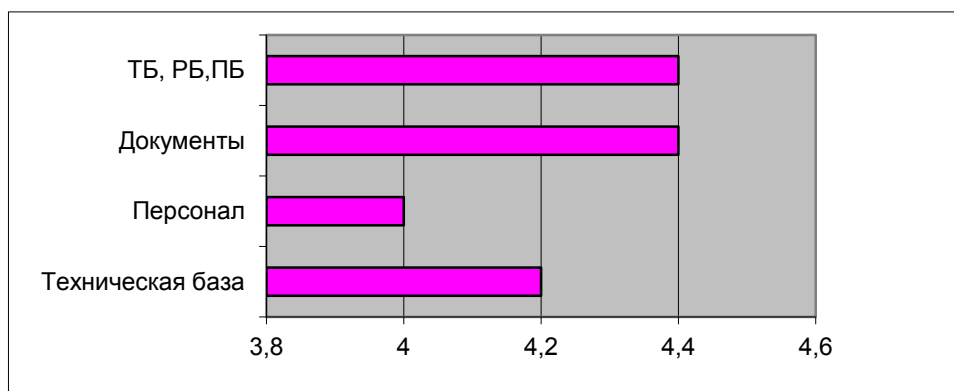


Рис. 6.4. Оценка комплексных показателей качества процесса организации строительства ООО «СК «Укрстроймонтаж»

Из диаграммы (рис. 6.5) видим, что комплексные показатели качества процесса организации строительства ЧАО «УЭМ» выше этих же показателей ООО «СК «Укрстроймонтаж».

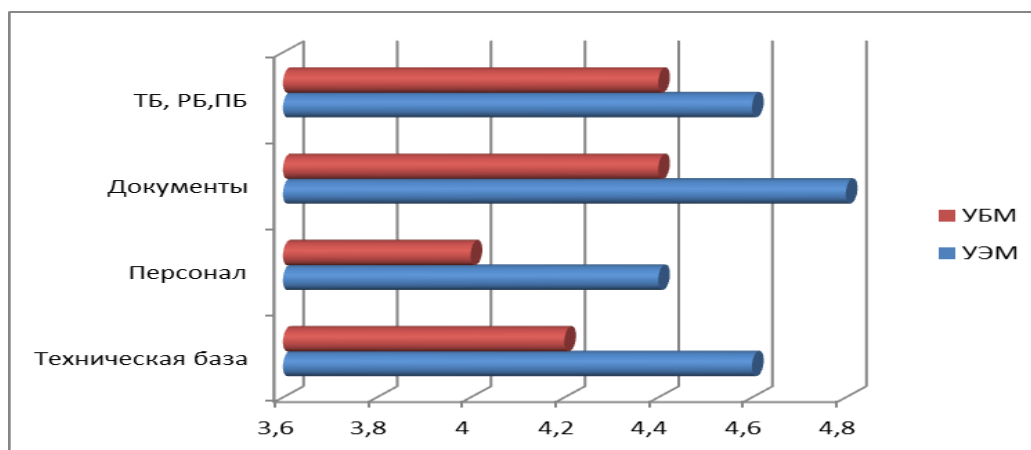


Рис. 6.5. Сравнение экспертных оценок ЧАО «УЭМ» и ООО «УСМ»

Для улучшения качества работы объекта предлагается внедрить следующие мероприятия:

- внедрить регулярную проверку знаний и повышение квалификации персонала, ответственного за проведение технических работ;
- строго соблюдать график проведения технического обслуживания оборудования (электроинструмента, измерительной техники);
- повышение требований к соблюдению требований техники безопасности, радиационной и пожарной безопасности.

Далее рассмотрим следующие процессы, влияющие качество организации строительства промышленных объектов в зоне радиационного загрязнения, выявленные в результате построения причинно-следственной диаграммы:

- мобилизация персонала;
- мобилизация машин и механизмов.

6.3 Мониторинг и усовершенствование процесса мобилизации персонала для выполнения строительных работ в зоне радиационного загрязнения

Для выполнения разработанной программы мобилизации ЧАО «Укрэнергоонтаж» назначает ответственных лиц, обеспечивающих выполнение условий по:

- реализации организационных и управленческих решений, касающихся выполнения функций ЧАО «Укрэнергоонтаж» на строительной площадке;
- производственно-технической и организационной координации действий предприятий ЧАО «Укрэнергоонтаж» и субподрядчиков на стадии заключения договоров;
- подготовке всей необходимой документации по надзору за производством работ, организации, управлению и ведению работ на площадках строительства;
- организации закупок, поставка материалов и оборудования;
- ежедневному рабочему взаимодействию с представителями Заказчика по организационным вопросам;
- обеспечению отчетности по проекту;
- деятельности по обеспечению качества в рамках проекта;
- подготовке всей необходимой документации по контролю обеспечения общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности при выполнении работ;
- контролю выполнения мероприятий, направленных на соблюдение требований по минимизации влияния строительства на окружающую среду;
- организации и учету подготовки персонала;
- организации и учету медицинских комиссий по программе «БИОМЕД»;
- контролю внесения изменений в проектную документацию;
- контролю организации работ по обращению с РАО;
- подготовке и передаче исполнительной документации;
- организации перевода на русский и английский язык отчетных документов по Контракту;
- контролю процесса сдачи выполненных работ службам Заказчика [289].

Персонал допускается к работам на ГСП ЧАЭС в установленном на ГСП ЧАЭС порядке. К выполнению работ допускается персонал (в соответствии с требованиями действующего законодательства) в возрасте не моложе 18 лет, не имеющий медицинских противопоказаний или иных ограничений для работы в зоне воздействия ионизирующих излучений, про-

шедший профессиональную подготовку, обучение и проверку знаний по охране труда, пожарной и радиационной безопасности и имеющий допуск к выполнению особых работ [274].

Для выполнения работ по контрактам в условиях радиационного загрязнения Заказчик предоставляет для персонала подрядной организации услуги по теоретическому и практическому обучению. Все работники, вовлеченные в реализацию проектов в зоне радиационного загрязнения, обязаны пройти обучение, проверку знаний и инструктаж по вопросам общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности, а также по охране труда. Первичное обучение и проверка знаний рабочими норм и правил по охране труда, радиационной и пожарной безопасности будет производиться в специализированных учебных центрах или постоянно действующими комиссиями, созданными на предприятиях [274].

Персонал до начала выполнения работ должен быть аттестован по вопросам охраны труда, общепромышленной, радиационной и пожарной безопасности. Персонал, который не будет соответствующим образом аттестован, к работе не допускается.

На обучение в УТЦ ГСП ЧАЭС направляется персонал, прошедший предварительный медицинский и биофизический контроль и имеющий заключение лицензированного медицинского учреждения об отсутствии медицинских противопоказаний для работы в условиях повышенного ионизирующего излучения [289].

Порядок организации теоретического обучения персонала ЧАО «Укрэнергомонтаж», предоставляемого Заказчиком:

- разработка и предоставление Заказчику общего графика потребности в теоретическом обучении;
- подача Заказчику заявки на обучение (с указанием списочного состава персонала, его квалификации, указания вида деятельности/работ и требуемого объема знаний) на следующий месяц;
- организация и обеспечение посещения персоналом занятий в соответствии с графиком прохождения обучения;
- участие в выходном контроле знаний в Учебно-тренировочном центре ГСП "ЧАЭС";
- учет персонала, обученного силами Заказчика; на основании полученных протоколов, определяется персонал, которому выдается допуск на выполнение работ на строительной площадке;

ЧАО «Укрэнергомонтаж» несет ответственность за практическое обучение и тренировки персонала, целью которых является оптимизировать продолжительность выполнения работ в условиях ионизирующего излучения. Практическое обучение персонала будет организовано с применением средств, инструментов, оснастки, расходных материалов, СИЗ, которые будут использоваться в рабочих зонах [289].

Для организации и проведения практического обучения необходимо:

- предоставлять Заказчику на согласование за 15 дней до начала практического обучения заявки (с указанием списочного состава персонала, его квалификации, указания вида деятельности/работ и требуемого объема знаний) каждой группы обучающихся;
- проводить оценку знаний и навыков персонала (прил. Е);
- участвовать совместно с Заказчиком в составлении протоколов результатов проведенного обучения и тренировок;
- вести учет персонала, прошедшего практическое обучение [289].

Персонал, выполняющий работу во вредных и особо вредных условиях труда, в обязательном порядке проходит ежегодное медицинское обследование для подтверждения отсутствия противопоказаний для работы в таких условиях. Прохождение работником медицинского осмотра и отсутствие противопоказаний по состоянию здоровья работника должно быть подтверждено документом, выданным специализированным медицинским учреждением, обладающим соответствующей лицензией [290].

Для контроля своевременности прохождения работниками обязательных медицинских осмотров инженер по ОТ и РБ Группы управления проектом ЧАО «Укрэнергомонтаж» ведет график прохождения персоналом таких осмотров [290].

К выполнению работ в зоне радиационного загрязнения допускается персонал, прошедший медицинский осмотр и не имеющий по результатам указанного осмотра противопоказаний для работы в зоне ионизирующего излучения. Персонал, не прошедший медицинский осмотр в установленные сроки, к работе не допускается [274]. Блок-схема процесса «Управление человеческими ресурсами» в зоне радиационного загрязнения приведена в приложении Ж.

Для подтверждения соответствия состояния здоровья специалиста, участвующего в выполнении работ на площадке, проводится периодический медицинский контроль каждые двенадцать месяцев.

В качестве безусловного приоритета в процессе выполнения работ в зоне радиационного загрязнения рассматривается безопасность жизни и здоровья каждого работника, работающих на объекте. Основными целями разработки Плана по ОТ и ТБ являются:

- разработка эффективной системы обеспечения безопасности, а также полное понимание задач в области обеспечения безопасности, которые подлежат выполнению в процессе выполнения работ;
- обеспечение сохранения здоровья персонала, безопасность его труда и охраны окружающей среды;
- определение основных путей достижения целей в области охраны труда и безопасности персонала;
- анализ объема ресурсов, необходимых для достижения целей в области обеспечения безопасности;

- согласование вопросов обеспечения общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности;
- определить и описать процессы и методы взаимодействия предприятия в вопросах, связанных с безопасностью;
- предварительное распределение полномочий и ответственности;
- описание критериев и методов достижения необходимого уровня безопасности;
- ведение процессов в рамках правового поля в соответствии с требованиями нормативной документации.

Вопросы обеспечения безопасности всегда являются составной частью каждой задачи, решаемой в ходе выполнения работ. В Плане по ОТ и ТБ установлена ответственность каждого работника, принимающего участие в процессе реализации задачи, за вопросы обеспечения безопасности.

В составе группы управления проектом подрядчика для обеспечения надзора за соблюдением требований общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности создана группа ОТ и РБ в составе руководителя группы – ведущего инженера по ОТ, инженера по ОТ.

На должности инженеров по ОТ и РБ назначены специалисты с опытом работы в области охраны труда и обеспечения безопасности, которые являются представителями руководителя проекта на площадке, причем один из этих специалистов всегда будет находиться на объекте на протяжении полного рабочего дня.

В обязанности инженера по ОТ и РБ входит:

- контроль за выполнением требований государственных и отраслевых стандартов, действующего законодательства об охране труда, инструкций по ОТ, требований норм пожарной безопасности и производственной санитарии;
- контроль выполнения персоналом норм и правил общепромышленной и пожарной безопасности;
- контроль правильности использования СИЗ;
- контроль исправности машин, механизмов, оборудования и инструмента используемых при проведении работ;
- контроль своевременного прохождения обязательных медицинских осмотров;
- контроль проведения инструктажей по вопросам общепромышленной и пожарной безопасности;
- информирование Руководителя проекта о выявленных нарушениях правил и норм по безопасности;
- контроль выполнения организационных мероприятий, предусмотренных Планом по ОТ и ТБ;
- проведение комплексных еженедельных проверок состояния охраны труда производственных участков, инспектирование рабочих мест с принятием соответствующих решений в пределах компетенции;

- организация и участие в проведении Дней охраны труда;
- участие в технических совещаниях Заказчика и ГУП при рассмотрении вопросов, касающихся охраны труда и обеспечения безопасного производства работ на рабочих участках;
- составление периодических отчетов по вопросам охраны труда;
- контроль за ходом устранения выявленных нарушений по ОТ;
- взаимодействие со службами ОТ, ПБ и РБ Заказчика;
- контроль выполнения требований государственных и отраслевых стандартов, действующего законодательства радиационной безопасности;
- контроль выполнения персоналом требований радиационной безопасности, санитарных норм и правил, требований положений и инструкций Заказчика по РБ, правил обращения с ТРАО, использования средств коллективной и индивидуальной защиты (совместно с представителем ЦРБ на площадке, дежурным дозиметристом смены и согласно утвержденному графику);
- проведение плановых и внеплановых инструктажей по вопросам радиационной безопасности;
- контроль обеспечения субподрядных организаций средствами индивидуальной и коллективной защиты и их правильного использования на производственных участках;
- контроль и учет дозовых нагрузок персонала Подрядчика;
- контроль правильности применения и ношения персоналом средств индивидуального дозиметрического учета;
- контроль за проведением расследований случаев превышения контрольных уровней и других нарушений в области РБ, подготовка информации для Заказчика о результатах расследований;
- выборочный контроль за подготовкой ЕНД для производства работ;
- составление еженедельных и ежемесячных отчетов по вопросам РБ [297, 300].

Под условиями труда понимается совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и работоспособность человека в процессе труда. Исследования условий труда показали, что факторами производственной среды в процессе труда являются: санитарно – гигиеническая обстановка, психофизиологические элементы, эстетические элементы, социально – психологические элементы. Из вышперечисленного следует, что производственная среда, создающая здоровые и работоспособные условия труда, главным образом обеспечивается выбором технологического процесса, материалов и оборудования; распределением нагрузки между человеком и оборудованием; режимом труда и отдыха, эстетической организацией среды и профессиональным отбором работающих.

Аттестация рабочих мест предусматривает:

- установление факторов и причин возникновения неблагоприятных условий труда;
- санитарно-гигиеническое исследование факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса на рабочем месте;
- комплексную оценку факторов производственной среды и характера труда на соответствие их характеристик стандартам безопасности труда, строительным и санитарным нормам и правилам;
- установление степени вредности и опасности труда и его характера по гигиенической классификации;
- обоснование отнесения рабочего места к категории с вредными (особо-вредными), тяжелыми (особо-тяжелыми) условиями труда;
- определение (подтверждение) права работников на льготное пенсионное обеспечение за работу в неблагоприятных условиях;
- составление перечня рабочих мест, производств, профессий и должностей с льготным пенсионным обеспечением работников.

Показатели условий труда на рабочих местах персонала ГУП сведены в таблицу 6.5.

Т а б л и ц а 6.5

Показатели условий труда на рабочих местах персонала

№ П./п	Наименование показателей	Фактическое значение	Нормативные требования	Нормативный документ
1	Вид трудовой деятельности персонала, категория тяжести работ	1-Б		ГОСТ 12.1.005-88
2	Характеристики производственного помещения:		ГСП «Чернобыльская АЭС», помещение ГУП ЧАО УЭМ	
	- высота, м	3,3	≥3,2	СНиП 2.09.02-85
	- площадь на одного работающего, м ²	11,5	≥4,5	СНиП 2.09.04 – 87
	- объем на одного работающего, м ³	37,95	≥15	СНиП 2.09.04 – 87
	- категория по взрывопожароопасности	В	-	СНиП 2-90-81
	- степень огнестойкости здания	4	-	СНиП 2-90-81
	- система отопления	водяное отопление однотрубной схемой разводки теплоносителя	-	СНиП 2-А7-71

№ П/п	Наименование показателей	Фактическое значение	Нормативные требования	Нормативный документ
	- система вентиляции	принудительная	-	СНиП 245-71
	- тип электрической сети	модульная сеть (в трубах) с глухо-заземленной	-	СНиП 357-77
	- наличие избытков явного тепла	отсутствует	-	СНиП 245-71
3	Параметры микроклимата: – холодный период – теплый период	24 °С, 42%; 24 °С, 42%	T=21-23°С, влажн.40-60%; T=22-24°С, влажн.40-60%	ГОСТ 12.1.005-88
4	Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м	-	-	ГОСТ 12.1.005-88
	химвещества	отсутствуют	-	
	помышленная пыль	отсутствует	-	
Освещение				
5	вид освещения: -естественное; – искусственное	соответствует требованиям НД	1, 74 %, не менее 600 лк	СНиП II -4-79
	характеристика зрительной работы (высок. средн., малой точности, общее наблюдение за ходом произв. процесса);	средняя точность	-	СНиП II -4-79
Шум и вибрация:				
6	уровень шума, дБ;	соответствует требованиям НД	не превышение ПДУ	ГОСТ 12.1.003-86
	уровень вибрации	соответствует требованиям НД	До 10 дБА	ГОСТ 12.1.012-90
Электромагнитное излучение:-				
7	напряженность электромагнитного поля, В/м;	соответствует требованиям НД	не превышение предельно допустимых уровней	ГОСТ ССБТ 12.006-84
8	Ионизирующее излучение	соответствует требованиям НД	не превышение предельно допустимых уровней	НРБУ-97

Выполняемые работы в зоне радиационного загрязнения являются уникальными, персонал не имеет опыта выполнения аналогичных работ. Конкурентоспособность персонала является одним из важных факторов, влияющих на качество строительных работ в зоне радиационного загрязнения. Рассмотрим метод оценки конкурентоспособности персонала на основе нормы потребительской стоимости товара «рабочая сила», что позволит учитывать качества персонала, которые требуются на конкретной должности, возможности повышения конкурентоспособности специалистов, для самооценки персонала, позволит определить адекватность самооценки экспертной оценке, что важно при рекомендации специалиста на ту или иную должность, при оценке качества подготовки специалиста.

На многих КВОИ, например, предприятиях атомно-энергетического комплекса не применяются методы оценки конкурентоспособности персонала, позволяющие комплексно оценивать персонал, его потенциальные возможности работы на конкретной должности, отсутствуют методики.

Оценку конкурентоспособности конкретной категории персонала предлагается осуществлять на основе нормы потребительской стоимости товара «рабочая сила» согласно [280-284] по формуле (6.1).

$$K_{\text{нпс}} = \text{РК} / \text{ТР}, \quad (6.1)$$

где РК – реальные качества специалиста; ТР –требуемые в работе качества.

Оценку перспектив повышения конкурентоспособности персонала предлагается оценить по формуле :

$$K_{\text{нпс}} = \text{ПВ} / \text{ТР}, \quad (6.2)$$

где ПВ –потенциальные возможности специалиста.

Предложенный подход позволит учесть качества персонала, требуемые в работе на конкретной должности и возможности повышения конкурентоспособности специалиста. Данная методика может быть использована как способ самооценки. Применение самооценки в комплексе с экспертным оцениванием позволяет получить дополнительную информацию об адекватности самооценки, что важно при рекомендации специалиста на должность.

Для оценки конкурентоспособности категории персонала руководителей, которые проработали на предприятии достаточно продолжительное время, применим данный метод в совокупности с методикой оценки деловых характеристик руководителя Жарикова Е.З. [278].

Эта методика является набором специальных тестов с перечнем оцениваемых качеств персонала (показателей конкурентоспособности сог-

ласно формулы 6.1), которые характеризуют следующие стороны деятельности и свойства руководителя:

- компетентность;
- функциональные особенности;
- мышление;
- стимулы к работе;
- умение принимать решения;
- отношение к работе;
- выдержка;
- этические характеристики.

Методика предназначена для:

- определения степени соответствия руководителей требованиям выполняемой работы;
- самооценки руководителей;
- организации переподготовки кадров с учетом их личностных особенностей;
- работников, ответственных за подбор, расстановку и подготовку руководящих кадров.

Для объективной оценки деловых и личностных качеств сотрудника экспертную оценку целесообразно проводить «сверху» (руководителями рангом выше), «по горизонтали» (лицами одного ранга к тому, кто характеризуется) и «снизу» (подчиненными). Все лица, которые входят в экспертные группы, должны хорошо знать человека, который характеризуется, по общей работе [278].

Процедура проведения оценки руководителя заключается в следующем. Экспертам раздают бланки с оцениваемыми выражениями и знакомят с методикой по их заполнению (приложение Д). Оценка проводится в три этапа [278].

Первый этап: эксперты сопоставляют возможности, которые приведены в бланках, со свойствами, способностями, навыками, особенностями и качествами специалистов, которые аттестуются, а также интуитивно оценить частоту их проявления в работе. Результаты фиксируются в соответствующей графе.

Второй этап: эксперты сопоставляют возможности не с частотой проявления свойств, которые аттестуются в реальной практической работе, а с его потенциальными возможностями.

Третий этап: эксперты сопоставляют возможности с требованиями к работе (ТР), которую выполняет (или будет выполнять) обследуемый.

Обработка материалов экспертной оценки проводится следующим образом:

1) на каждом бланке подсчитывается сумма баллов по каждому этапу оценки отдельно (реализация качеств (РК), потенциальные возможности (ПВ), и ТР);

2) подсчитываются баллы по каждому бланку всех экспертов, и эта сумма делится на количество экспертов (деление необходимо проводить с точностью до десятых частей).

Таким образом, по каждому бланку определяется средний балл по реализации качеств, относительно потенциальных возможностей руководителя и профессиональных требований работы.

Стандартизованная методика оценки конкурентоспособности руководителей (приложение Д) может быть использована как способ самооценки. Применение самооценки в комплексе с экспертной оценкой позволяет получить дополнительную информацию об адекватности самооценки экспертной оценке, которая важна при решении вопроса рекомендации работника на ту или иную должность [279, 280].

6.4 Мониторинг и усовершенствование процесса мобилизации машин и механизмов для выполнения строительных работ в зоне радиационного загрязнения

Организационно-техническая подготовка общей строительной площадки обеспечивает:

- планомерное развертывание и производство строительномонтажных работ промышленными поточными методами;
- ввод в эксплуатацию объектов строительства в установленные Проектом сроки, не превышающие нормы продолжительности строительства;
- высокое качество работ [291].

При организации общей строительной площадки производятся следующие работы:

- установка временных зданий путем размещения саншлюза, прорабской и инструментальной на бетонные блоки (размером 1200х400х400 мм) с помощью автомобильного крана грузоподъемностью 10,0 т. ;
- установка временных зданий путем размещения прорабской, кладовой-инструментальной, биотуалета на бетонные блоки с помощью автомобильного крана грузоподъемностью 10,0 т. на площадке укрупнительной сборки;
- прокладка временных сетей электроснабжения до площадки монтажа крана, площадки укрупнительной сборки для подключения временных зданий и наружного освещения.

– установка площадки для монтажа основного грузоподъемного крана [292].

Для выполнения работ на ЧАЭС был арендован гусеничный кран LIEBHERR LR 1750 (77/91), который находит свое применение в строительстве электростанций, нефтеперерабатывающих заводов, мостов и при монтаже электросиловых установок, в мире существует 5 таких кранов.

Конструктивно гусеничный кран состоит из базы с ходовым механизмом (гусеницы), тяговых лебедок, платформ и рам для противовесов, противовесов, составных элементов основной стрелы и вспомогательной стрелы (гуська), «суперлифта» (рис.6.6).

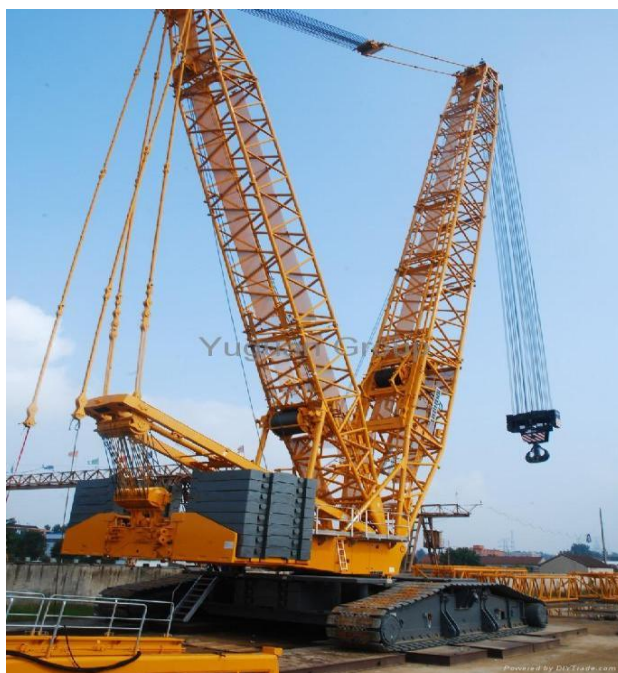


Рис.6.6. Гусеничный кран LIEBHERR LR 1750 (77/91)

При поставке кран должен в обязательном порядке сопровождаться Паспортом крана и Руководством по эксплуатации крана LR 1750(77/91). В комплект документации при поставке гусеничного крана должны быть также включены:

– схемы кинематические (схемы должны содержать параметры привода, тормозов, зубчатых передач, передаточные числа и тип редукторов, места установки и номера подшипников, список которых оформляется как спецификация к схеме или приводится на самой схеме);

– схемы запасовки канатов (грузового, стрелового, тележечного, монтажного и др. с указанием диаметров каната, блоков, барабанов, а также способа крепления концов канатов);

- схема установки балласта и противовеса с указанием о допуске по массе и отклонению центра тяжести плит (не более ± 50 мм), предупредительной окраске и надписях, наносимых на плиты;
 - чертежи балласта и противовеса;
 - схемы гидравлические (с перечнем элементов гидрооборудования);
 - схемы пневматические (с перечнем элементов пневмооборудования);
 - принципиальная электрическая схема (с перечнем элементов электрооборудования в виде спецификации);
 - схема электрическая соединений с таблицей соединений [292].
- Документация, которая поставляется с паспортом крана:
- паспорт и руководство по эксплуатации ограничителя грузоподъемности;
 - паспорт и руководство по эксплуатации других приборов и устройств безопасности;
 - руководство по эксплуатации крана;
 - альбом чертежей быстроизнашивающихся деталей;
 - ведомость на запчасти, инструменты и приспособления;
 - альбом электромонтажных чертежей (при необходимости);
 - другие документы (при необходимости) [292].

Регистрацию, техническое освидетельствование, эксплуатацию и допуск к работе грузоподъемных кранов осуществляется в соответствии с требованиями НПАОП 0.00-1.01-07, ГОСТ 12.3.033-84 [293,294] и инструкций завода-изготовителя.

Руководитель организации – владелец грузоподъемной машины обеспечивает содержание ее в исправном состоянии и безопасные условия работы в соответствии с требованиями раздела 7.4 НПАОП 0.00-1.01-07 [293].

В соответствии с требованиями п.7.4.1 НПАОП 0.00-1.01-07 руководитель организации, выполняющей работы с применением подъемника, обязан назначить инженерно-технического работника, ответственного за содержание и безопасную эксплуатацию грузоподъемных кранов, механизмов и съемных грузоподъемных приспособлений в соответствии с требованиями "Типовой инструкции для инженерно-технических работников, которые осуществляют надзор за содержанием и безопасной эксплуатацией грузоподъемных кранов", утвержденной приказом Госназдорхрантруда от 20.10.94 №107.

Грузоподъемный кран должен быть оснащен ограничителем грузоподъемности в исправном состоянии. Должна быть обеспечена возможность периодического испытания точно взвешенным грузом ограничителя грузоподъемности крана. Испытания должны проводиться в сроки, указанные в руководстве по эксплуатации крана с записью в вахтенном журнале.

Работы по монтажу основного гусеничного крана LIEBHERR LR 1750 (77/91) выполняются в рамках акта-допуска, оформленного до начала подготовительных работ. Все работы по монтажу основного крана необходимо выполнять с соблюдением требований по обеспечению безопасности, указанных в акте-допуске [292].

Дополнительно к мероприятиям по охране труда, радиационной и пожарной безопасности необходимо выполнять следующие требования акта-допуска:

- персонал не должен вмешиваться в работу оборудования ГСП ЧАЭС и не допускать повреждения данного оборудования;
- содержать территорию промплощадки ЧАЭС, выделенную по акту-допуску, в соответствии с требованиями по охране труда, радиационной и пожарной безопасности;
- не допускается закрытие автодорог и железнодорожных путей, находящихся в границах передаваемой территории, за исключением времени, необходимого для монтажа и демонтажа стрелы основного крана.;
- персонал должен проводить уборку рабочей зоны ежедневно по окончании рабочей смены [297].

На работы с использованием грузоподъемных кранов оформляется наряд-допуск, где будут детально обозначены специальные положения обеспечения безопасности, связанные с работой кранов.

При подготовке персонала к работам должны быть выполнены следующие мероприятия:

- проведение, при необходимости, переаттестации стропальщиков;
- проведение, при необходимости, переаттестации или обучения лиц, выполняющих работы на высоте и верхолазные работы;
- проведение теоретического и практического обучения персонала по нормативной, проектной и технологической документации на выполнение данных работ;
- ознакомление персонала с путями доступа в зоны работ и аварийными маршрутами эвакуации.

Работающую смену строительная организация должна обеспечить средствами связи (радио, телефонная, громкоговорящая) между всеми рабочими местами и руководителем работ для оперативного управления работами, а также для оповещения в случае изменения радиационной обстановки, аварийной ситуации или аварии.

Средства связи должны быть испытаны непосредственно перед началом работ.

Монтаж и демонтаж крана допускается производить только в светлое время суток.

Уровень освещенности на рабочих местах и условия эксплуатации электроосветительных приборов должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.046-85 [295].

При выполнении отдельных видов работ уровень освещенности на рабочих местах должен составлять:

- немеханизированные погрузочно-разгрузочные работы, автодороги, проезды, площадки складирования – не менее 2 лк;
- погрузо-разгрузочные работы с применением кранов – не менее 10 лк;
- сборка и монтаж элементов крана – не менее 50 лк;
- места прохода к рабочим местам – не менее 5 лк.

При необходимости, для освещения зон производства работ, установить светильники местного освещения (напряжением 36 В) с подключением к сборкам временного электроснабжения [292].

6.5 Мониторинг и усовершенствование процесса оценки поставщиков металлоконструкций

Предварительный перечень поставщиков формируется на этапе подготовки тендерного предложения. В случае если существует несколько поставщиков оборудования, проводится процедура выбора поставщика. Для исключения субъективности при выборе поставщика на этапе фактического осуществления закупок выбор и согласование поставщиков осуществляется методом ценовых котировок с учетом качества предмета закупок, сроков поставки, оценки поставщика и условий платежа [296].

Для ключевых закупок перед процедурой выбора Поставщика проводится его аудит, процедуры контроля предусматриваются контрактами. Процедурами контроля могут быть: периодический аудит производства, анализ документации по системе качества Поставщика, анализ технической и технологической документации, входной и промежуточный контроль продукции.

В случае если закупка значительно влияет на сроки завершения работ по проекту, отделом закупок подрядчика, по возможности, предлагается замена предмета закупки на альтернативный (если это возможно). Данные замены согласовываются Заказчиком и проектной организацией, что в последующем документируется внесением изменений в проектную документацию.

Перечень сопроводительных документов на поставляемое оборудование и материалы регламентируется действующей НТД Украины; контрактом с Заказчиком; договорами с поставщиками; «Инструкцией по поставке оборудования и материалов» и «Разрешением на ввоз оборудования и материалов на таможенную территорию Украины» ГСП ЧАЭС.

Контракты (договора) на закупки формируются на основе типовых договоров ЧАО «Укрэнергомонт» с учетом требований контракта. Процесс закупки Подрядчиком осуществляется в соответствии с процедурой ПСЯ 74-02 Системы менеджмента качества [297].

Контракт (договор) на поставку оборудования и материалов однозначно устанавливает предмет закупки, его стоимость, место и график поставки, условия и график оплаты (финансирования).

Продукция, поставляемая для строительства вновь строящихся объектов, проходит входной контроль до ее передачи в монтаж. Входной контроль продукции, поступающей для строительства вновь строящихся объектов, выполняет подрядная организация. Представители подразделений ГСП «Чернобыльская АЭС» принимают участие при проведении входного контроля. При проведении входного контроля продукции ЧАО «Укрэнергомонт», специалисты ГСП ЧАЭС выполняют:

- проверку правильности проведения входного контроля;
- ознакомление с результатами входного контроля;
- оценку пригодности к эксплуатации средств измерительной техники;
- дополнительный контроль мест, вызывающих подозрение на наличие дефектов.

Организацию участия представителей подразделений ГСП «Чернобыльская АЭС» по проведению входного контроля продукции осуществляет, при необходимости, СТК ГСП ЧАЭС [297].

Подрядчик должен определить необходимость участия во входном контроле представителя Поставщика (Завода-изготовителя) и обеспечивает его участие. Для участия представителей Заказчика при проведении входного контроля Подрядчик заблаговременно, не менее чем за 3 дня до начала выполнения операций входного контроля, направляет в УКС и СТК извещение.

Извещение в обязательном порядке должно содержать следующую информацию:

- дата, время и место проведения входного контроля;
- наименование продукции;
- тип (марка, вид) продукции, номер чертежа;
- ГОСТ/ОСТ или ТУ/ТС;
- классификация продукции;
- принадлежность к технологической системе;
- объем поставки (партии);
- виды контроля;
- фамилия и инициалы представителя ЧАО «Укрэнергомонт», ответственного за организацию входного контроля, номер телефона.

При получении извещения начальник СТК определяет перечень подразделений ГСП ЧАЭС, участвующих в проведении входного контроля продукции и направляет его руководителям этих подразделений, которые обеспечивают участие своих специалистов.

Стальными строительными металлоконструкциями называются изделия из проката черных металлов и труб, изготовление которых обеспечивается материальными ресурсами, выделяемыми для капитального строительства. Металлоконструкции от оборудования отличает включение их стоимости в объем строительного-монтажных работ. Номенклатура строительных металлоконструкций включает в себя:

- отдельные элементы зданий (колонны, балки, фермы, прогоны, связи, фонари, переплеты, лестницы, площадки, ограждения, каркасы ворот и дверей, покрытия ограждающих, в том числе полов, и несущих конструкций, подвесные потолки);

- доменные цехи (без литья и механизмов);

- различные промышленные сооружения без механизмов (каркасы промышленных печей и кожухи ванн, сварные трубопроводы и компенсаторы для них, галереи и эстакады, бункеры, этажерки открытого типа, опоры под оборудование) [298].

Государственные строительные нормы «ГСН Д.2.2-9-99. Сборник 9. Металлические конструкции» описывают показатели качества металлоконструкций. Так же показатели качества продукции устанавливаются в рабочей документации по проекту. Качество продукции характеризуется совокупностью критериев [298]. Номенклатура показателей качества металлоконструкций приведена в таблице 6.7.

Т а б л и ц а 6.7

Номенклатура показателей качества металлоконструкций

Наименование группы показателей качества	Условное обозначение показателей качества	Основные показатели качества
1. Технический уровень 1.1. Показатели назначения	Нз	Прочность, жесткость, трещиностойкость, огнестойкость, сейсмостойкость, морозостойкость, влагостойкость, стойкость к воздействию солнечной радиации, теплоизоляция, звукоизоляция, светопропускание
1.2. Показатели конструктивности	Нк	Геометрические размеры, форма, состав, структура

Наименование группы показателей качества	Условное обозначение показателей качества	Основные показатели качества
1.3. Показатели надежности (долговечность, сохраняемость)	Н	Вероятность возникновения отказов (в том числе разрушений, потери свойств), стойкость к коррозии, срок службы, время и условия хранения
1.4. Показатели ремонтно-пригодности (восстановляемости)	Рп	Продолжительность, трудоемкость и стоимость восстановления при отказах
1.5. Показатели технологичности	Тк	Трудоемкость изготовления, материалоемкость, энергоемкость, степень механизации и автоматизации
1.6. Показатели транспортабельности	Тр	Масса, габариты, материалоемкость и трудоемкость упаковки, возможность контейнеризации
1.7. Показатели совместимости	Сс	Взаимная увязка размеров, допусков, видов стыков; согласованность сроков службы
1.8. Эргономические показатели	Эр	Температурный режим; уровень токсичности, запыленности, вибрации; удобство пользования продукцией
1.9. Эстетические показатели	Эс	Художественная выразительность, внешний вид, качество поверхностей
2. Стабильность показателей качества	Со	Отклонение количественных значений свойств продукции от номинальных, коэффициент вариации основных свойств
2.1. Показатели однородности		
2.2. Показатели соблюдения стандартов, ТУ, строительных норм и правил, проектов	Сп	Показатели соблюдения стандартов, ТУ, строительных норм и правил, проектной документации; процент брака, количество рекламаций
3. Экономическая эффективность	Эк	Удельные капитальные вложения, себестоимость, рентабельность, годовой экономический эффект, получаемый в народном хозяйстве
3.1. Экономические показатели		
4. Конкурентоспособность на внешнем рынке	Пп	Показатели патентной защиты и патентной чистоты, наличие экспорта продукции
4.1. Патентно-правовые показатели		

Номенклатура показателей качества может быть изменена (увеличена или сокращена) в государственных стандартах на номенклатуру показа-

телей конкретных групп и видов продукции. В результате прохождения продукцией входного контроля оформляются Протоколы входного контроля. В данном документе указывается соответствие продукции рабочей документации и государственным стандартам. Пример оформления данного протокола приведен в таблице 6.8.

Т а б л и ц а 6.8.

Протокол входного контроля панели трубы

Сопроводительная документация	Результаты контроля, описание выявленных дефектов			Оценка результатов контроля		
Сертификат ВВ UA1.069.0044342-11 от 11.04.2011г., сертификат №52/11 от 06.06.2011г.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сопроводительная документация соответствует СНиП III – 18 – 75. 2. При внешнем осмотре дефектов не обнаружено. 3. Изделия соответствуют проекту D4.3, 99-501.212.001.КМ01, SIP03 1 006 SWD 001 03, 99-501.212.002.КЖ и чертежам 47 – 10 – КМД. 4. Количество соответствует сертификату. 			По результатам входного контроля продукция № п/п 1 допускается к укрупнительной сборке. К моменту начала монтажа укрупненных металлоконструкций выполнить требования п.18 – 20 Рабочего проекта №99 – 501.212.001 КМ01 SIP03 1 006 SWD 001 03 СFC, ред.03 «Конструкции металлические».		
Входной контроль провели:				С результатами контроля ознакомлены:		
Должность	ФИО	Подпись	Должность	ФИО	Подпись	
Контр. ВИК УЭМ						

Результаты бенчмаркинг-исследования, исследования процессов мобилизации персонала, машин и механизмов, процессов оценки поставщиков продукции, необходимой для выполнения строительно-монтажных работ в зоне радиационного загрязнения ЧАО «Укрэнергомонтаж» выявили необходимость разработки методики взаимодействия Головного и Полевого офисов для улучшения организации строительных работ в зоне радиационного загрязнения, методики подтверждения соответствия металлоконструкций.

6.6 Мониторинг и усовершенствование процесса подтверждения соответствия металлоконструкций для строительства арки нового безопасного конфаймента ЧАЭС

В рамках реализации проекта «Новый Безопасный Конфаймент» (НБК) согласно «Рамочному соглашению между Украиной и Европейским банком реконструкции и развития в отношении деятельности Чернобыльского фонда «Укрытие», в Украину поставляется продукция для строительства НБК. В связи с тем, что объект является уникальным, большая часть продукции изготавливается по индивидуальному заказу на заводах в других странах.

Изготовители продукции для реализации проекта НБК не сертифицируют продукцию в странах, где они расположены, поскольку, в соответствии с Рамочным соглашением, все расходы по сертификации продукции иностранного происхождения, поставляемой в рамках реализации НБК и подлежащей обязательной сертификации в Украине, берет на себя украинская сторона.

Проведем исследование и усовершенствование процессов подтверждения соответствия импортируемой продукции для НБК, базирующейся на интеграции принципов и подходов существующей и строящейся украинской и европейской системы подтверждения соответствия и обеспечивающей поставку в Украину безопасной продукции.

Согласно законодательной базы и нормативной документации (НД) в сфере подтверждения соответствия [302-330] сертификации подлежит продукция, которая:

- произведена в Украине;
- ввозится в Украину и декларирована производителем как соответствующая действующим в Украине требованиям НД;
- ввозится в Украину и не декларирована производителем как соответствующая действующим в Украине требованиям НД, но может быть идентифицирована как такая, которая должна соответствовать действующему в Украине нормативному документу на аналогичную продукцию;
- ввозится в Украину и не декларированная производителем как соответствующая действующим в Украине требованиям НД, и не может быть идентифицирована как такая, которая должна соответствовать действующему в Украине нормативному документу на аналогичную продукцию.

Схема сертификации – определенная совокупность действий, официально принимаемая в качестве доказательства соответствия продукции заданным требованиям. Существуют такие способы доказательства соответствия продукции как сертификация единичного изделия (испытание типа),

сертификация партии (контроль качества партии путем испытания средней пробы (выборки), отбираемой от партии с использованием метода статистического контроля) и сертификации серии (с проверкой производства).

Сертификация металлоконструкций НБК (рис.6.7) проводится на соответствие продукции требованиям [331]:

1) ГОСТУ Б В.2.6-75:2008 "КБС. Конструкции металлические строительные." (п.п. 4.1, 4.6-4.8, 8.2);

2) ГСН В.2.6-163:2010 "Конструкции зданий и сооружений. Стальные конструкции. Нормы проектирования, изготовления и монтажа" (п.п. 2.1.4, 2.1.6, 2.2.2, 2.2.6, 2.6.6-2.6.9, 2.7.8, 2.8.1, 2.8.3, 2.8.6, 2.8.10, 2.8.12, 2.8.19, 2.8.21, 2.8.28, 2.8.30, 2.9.6, 2.9.8, 2.10.1, 2.12.1, 2.12.3, 2.12.5);

3) ГСН В.1.2-6-2008 "Система обеспечения надежности и безопасности строительных объектов. Основные требования к зданиям и сооружениям. Механическое сопротивление и стойкость" (приложение, в части требований к металлическим конструкциям и изделиям);

4) ГОСТ 10704-91 «Трубы стальные электросварные прямошовные сортамент» (п.п. 4, 6, 10, 11);

5) ГОСТ 10705-80 «Трубы стальные электросварные. Технические условия» (п.п. 1.1, 2.2, 2.5, 2.6, 2.12);

6) ГОСТ 10706-76 «Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические требования» (п.п. 1.1, 1.2, 1.6, 1.11, 1.12, 2.1.1);

7) ГОСТ 19281-89 «Прокат стальной повышенной прочности. Общие технические условия» (п.п. 2.1.3 – 2.1.5);

8) ГОСТ 27772-88 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия» (п.п. 2.2, 2.13, 2.15, 2.19).

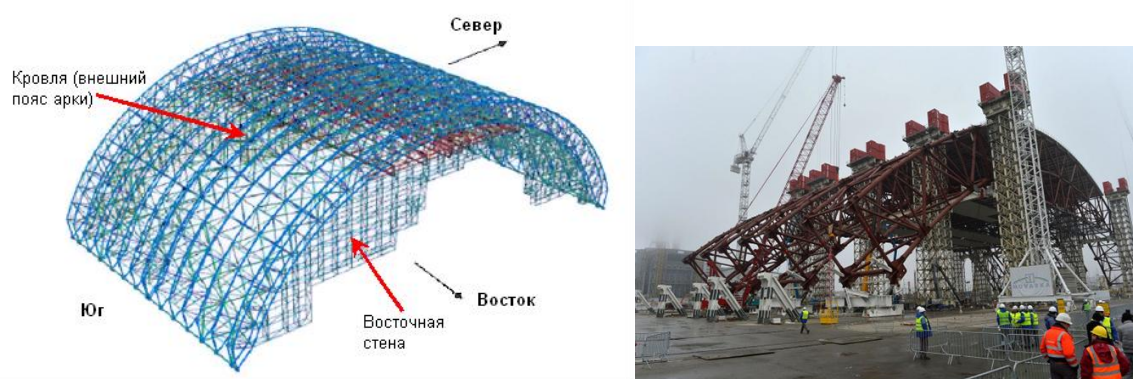


Рис.6.7. Металлоконструкции арки НБК

Рассмотрим свойства профилей из стальных и алюминиевых сплавов и элементов соединений металлоконструкций [331] (рис.6.8) .

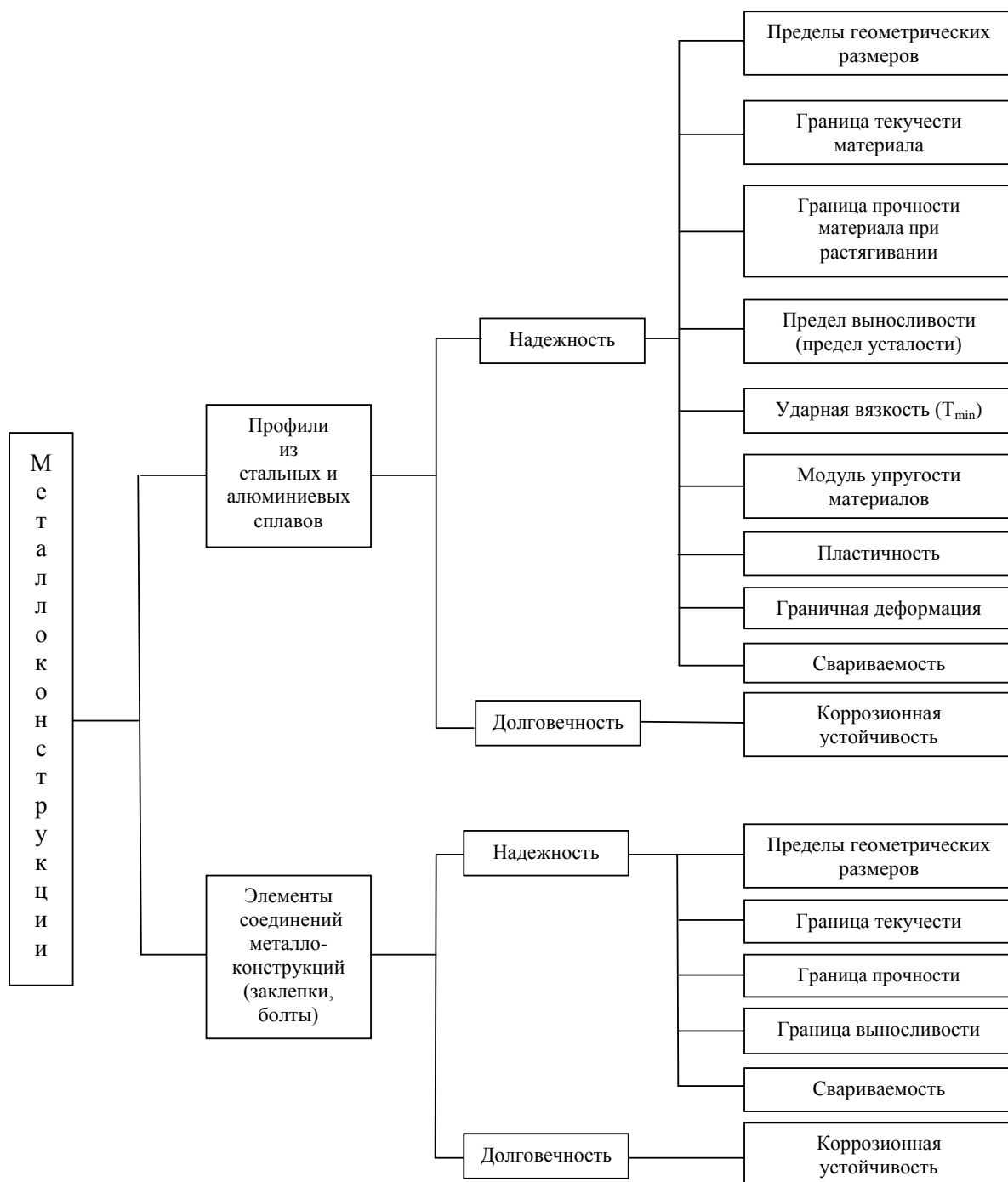


Рис.6.8. Дерево свойств металлоконструкций НБК

Применением процессный подход для обеспечения качества металлоконструкций Арки НБК [331]. Функциональное распределение обязанностей между подрядчиком, заказчиком, испытательной лабораторией (ИЛ) в процессе сертификации представлено на рис.6.9.

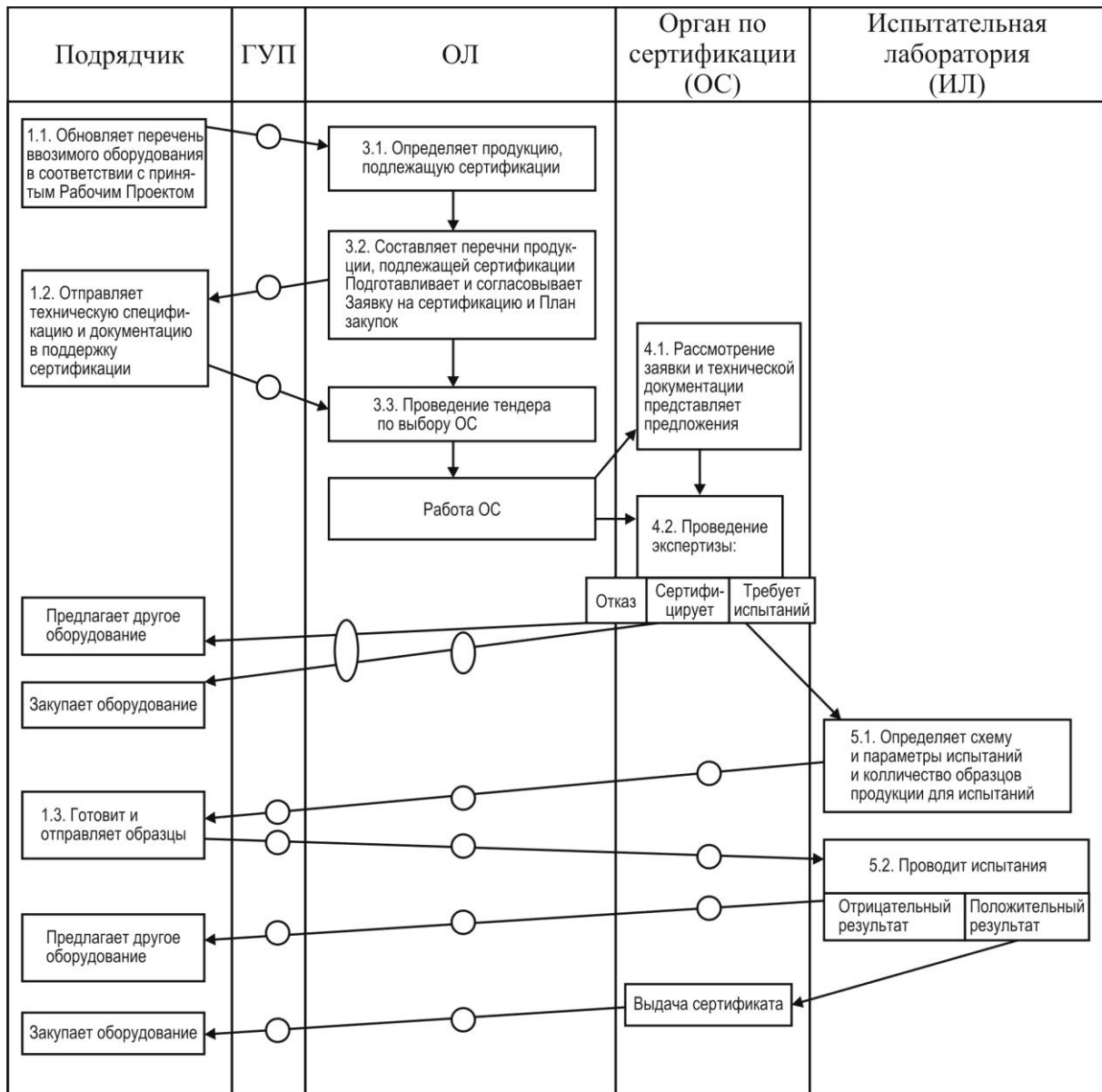


Рис.6.9. Функциональное распределение обязанностей в процессе сертификации металлоконструкций арки

Процесс подтверждения соответствия продукции иностранного производства, закупаемой для строительства НБК состоит из следующих этапов:

- 1) подача заявки на подтверждение соответствия;
- 2) анализ полученной по запросу документации и одобрение решения ОС, оформление договора (контракта);
- 3) обследование производства;
- 4) оформление акта обследования;
- 5) идентификация и отбор образцов;
- 6) анализ результатов испытаний;
- 7) оформление результатов и сертификатов;

- 8) технический надзор;
- 9) оформление документов касательно завершения работ по договору (контракту).

На рис. 6.10 представлена блок-схема усовершенствованного процесса подтверждения соответствия продукции иностранного производства, закупаемой для строительства НБК.

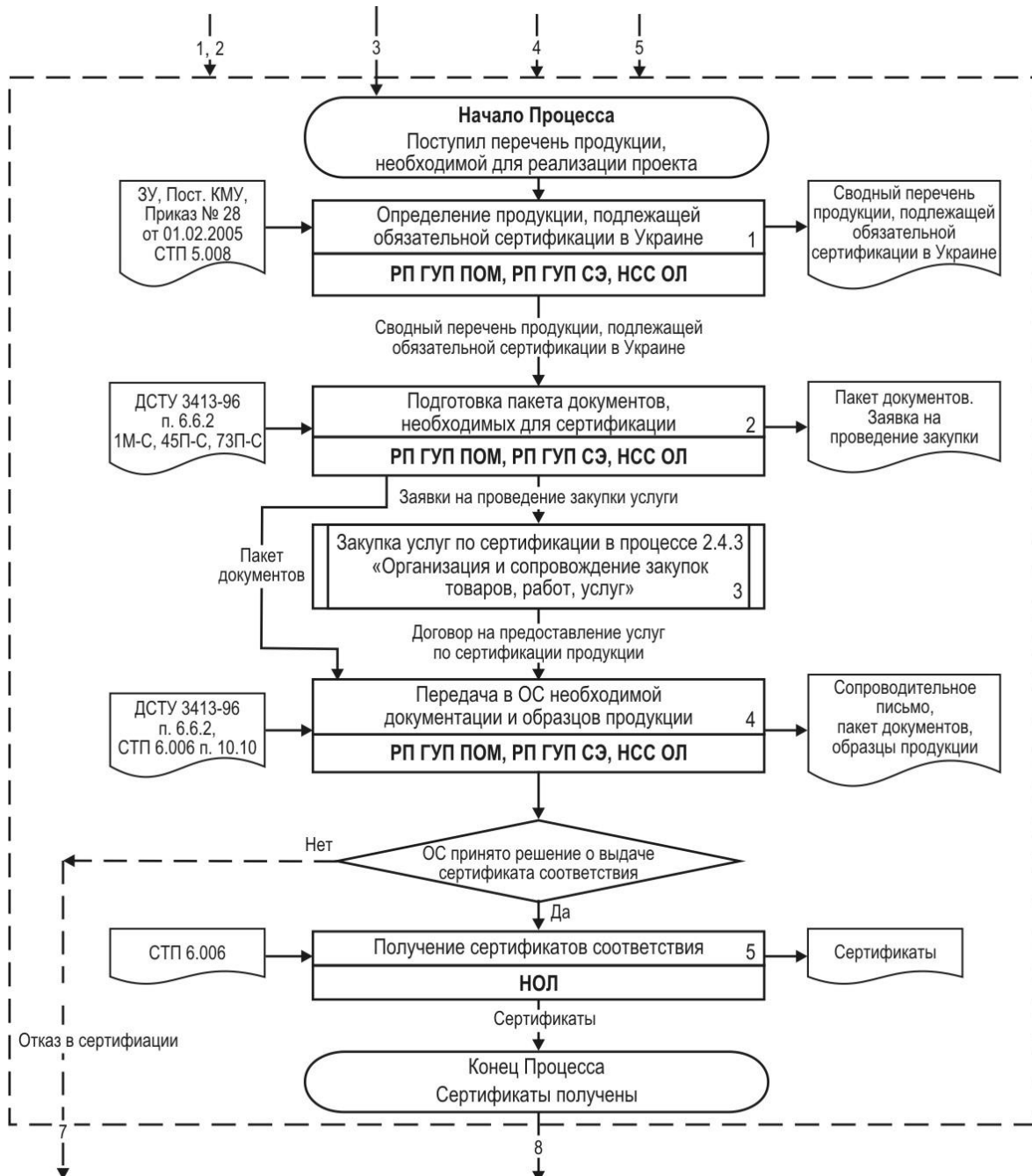


Рис.6.10- Блок-схема процесса подтверждения соответствия

Рассмотренный процесс относится к обеспечивающим процессам в структуре процессов ГСП ЧАЭС (рис.6.11) [331].

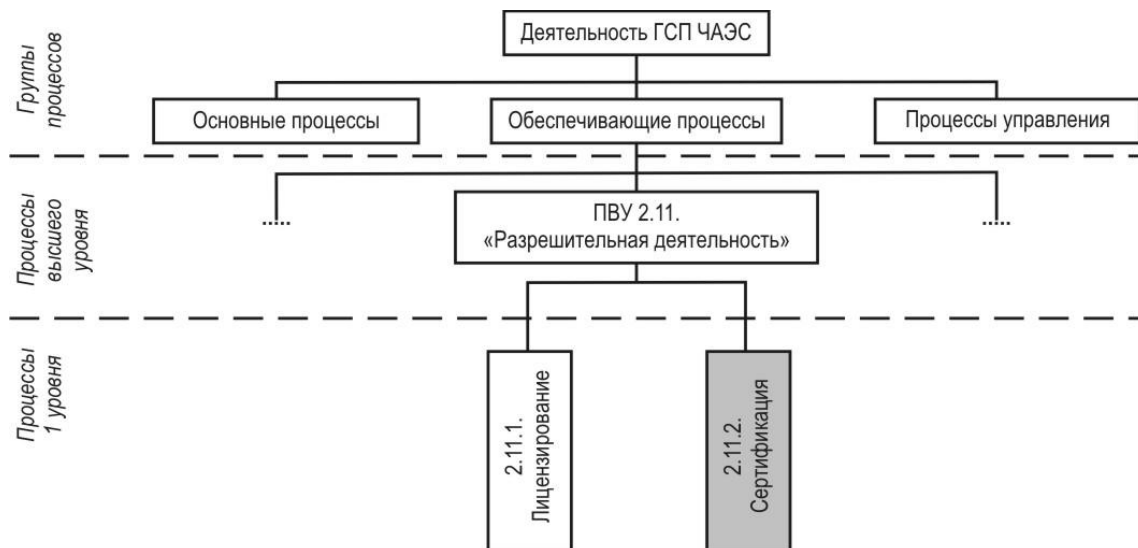


Рис.6.11- Место процесса в структуре процессов

В результате анализа существующих методов и средств подтверждения соответствия продукции обоснована необходимость и усовершенствованы процессы подтверждения соответствия импортируемой продукции для создания проекта НБК.

Усовершенствование процесса подтверждения соответствия и методики способствует тому, что металлоконструкции быстрее могут быть использованы по назначению, т.е. для строительства Арки, отпадает необходимость проводить подтверждение соответствия каждой партии продукции, устраняются избыточные процедуры оценки соответствия. Такой подход позволяет не только сэкономить значительные средства из бюджета ГСП ЧАЭС, но и осуществлять проект согласно календарному плану. Полученный опыт может быть успешно распространен на другие объекты сертификации в рамках проекта НБК.

6.7 Разработка Методики взаимодействия головного и полевого офиса УЭМ

В целях создания эффективной системы управления ГУП разделена на две части – Головной и Полевой офисы, располагающиеся соответственно вне зоны радиационного загрязнения и непосредственно на площадке ГСП ЧАЭС.

Персонал Головного офиса осуществляет следующую деятельность [288, 297]:

- организация взаимодействия с Заказчиком и его официальными представителями по всем вопросам проекта;
- планирование ключевых событий и выработку решений проекта, определение приоритетов и критических задач проекта;

- анализ хода работ, контроль выполнения графика контракта;
- контроль соблюдения требований общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности при выполнении работ;
- контроль функционирования системы качества подрядчика;
- контроль соблюдения требований по минимизации влияния строительства на окружающую среду;
- контроль за выполнением договорных обязательств всех сторон проекта;
- организация и проведение совещаний и переговоров с представителями заказчика по текущей деятельности в рамках проекта;
- коммерческая и юридическая координация деятельности партнеров/подрядчика;
- проведение переговоров с заказчиком, инженером, представителями органов власти, любыми третьими лицами в интересах подрядчика по ключевым вопросам;
- контроль проведения расчетов заказчика с подрядчиком, учет и контроль финансовых отношений с заказчиком;
- контроль изменений вносимых в контракт;
- контроль вопросов страхования по контракту и действия выданных гарантий.
- Персонал полевого офиса осуществляет следующую деятельность:
- реализация организационных и управленческих решений, касающихся выполнения координатором функций генерального подрядчика на строительной площадке;
- производственно-техническая и организационная координация действий предприятий подрядчика и субподрядчиков на площадке строительства;
- организация закупок, поставка материалов и оборудования;
- непосредственный надзор за производством работ, организация, управление и ведение работ на площадке строительства;
- ежедневное рабочее взаимодействие с представителями заказчика по техническим вопросам и вопросам допуска персонала;
- обеспечение отчетности по проекту;
- ведение бюджета проекта в части деятельности координатора;
- организация и проведение еженедельных совещаний генерального подрядчика по текущим техническим вопросам с представителями заказчика в рамках проекта;
- обеспечение общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности при выполнении работ на площадке;
- деятельность по обеспечению качества в рамках проекта, контроль качества всех работ, выполняемых по проекту;
- выполнение мероприятий, направленных на соблюдение требований по минимизации влияния строительства на окружающую среду;

- организация и учет подготовки персонала;
 - организация и учет медицинских контролей по программе ПОМ;
 - контроль внесения изменений в проектную документацию;
 - организацию работ по обращению с РАО;
 - подготовку и передачу исполнительной документации заказчику;
- сдачу выполненных работ службам Заказчика.

Организация взаимодействия Головного и Полевого офисов является одной из важнейших задач подрядчика в области управления и организации выполнения работ.

Взаимодействие между Главным и Полевым офисами осуществляется посредством проведения совещаний, переписки, другими формальными коммуникативными способами обмена информацией.

В ходе проекта будут проводиться совместные рабочие совещания, на которых будут рассматриваться и обсуждаться технические вопросы и вопросы реализации проекта. Ход работ по проекту подрядчик будет обсуждать на ежедневных оперативных совещаниях. В случае возникновения проблем, которые могут привести к срыву либо задержкам в ходе выполнения работ, будут организовываться оперативные совещания, посвященные разрешению конкретной проблемы. Совещания будут проводиться с привлечением всех заинтересованных сторон.

Ответственность за корректность протокола совещания, порядок проведения остается за стороной – инициатором встречи до тех пор, пока на протяжении встречи не принимается другое решение. Рассылка протокола оформляется в соответствии с правилами передачи документации (с сопроводительным письмом).

Техническими средствами осуществления взаимодействия являются почтовые сообщения, факсимильная связь, телефонная связь, электронная почта.

Методика по управлению взаимодействиями головного и полевого офиса при выполнении проектов в зоне радиационного загрязнения определяет требования к управлению внешними и внутренними взаимодействиями, к их регистрации и контролю.

В данной методике определяется схема движения документов, система контроля документов по проектам, излагаются основные принципы контроля документов и определяются обязанности должностных лиц ГУП ЧАО «Укрэнергомонтаж» в области документооборота.

В настоящей процедуре также описываются правила, которые необходимо соблюдать персоналу ГУП ЧАО «Укрэнергомонтаж» при регистрации, утверждении и рассылке документов для внешнего пользования.

Действие настоящей процедуры распространяется на всю документацию и данные, выпускаемые персоналом ГУП ЧАО «Укрэнергомонтаж» на бумажном носителе или в электронном виде. Ее действие также распро-

страняется на контроль документов и данных, получаемых подрядными организациями от субподрядных и направляемых им.

Координация основных решений проекта в рамках контракта требует от подрядчика создания единой структуры общего управления проектом (приложение Г). В понятие общего управления проектом подрядчик вкладывает управление всеми процессами, связанными с выработкой ключевых решений проекта, общего, тактического и оперативного управления, выработки организационного поведения, тактики, стратегии управления персоналом, взаимодействиями, безопасностью, качеством, применяемыми и/или принятыми технологиями, управление временем и ресурсами.

Для надлежащей организации, эффективного управления и контроля над ходом производства работ в рамках проекта, подрядчик применяет методики организации и структуру, максимально адаптированные к проекту, являющиеся основной моделью для построения взаимодействий всех уровней.

Полный текст Методики приведен в [297]. Разработка методики по управлению взаимодействиями головного и полевого офиса при выполнении проектов в зоне радиационного мониторинга является необходимой для повышения уровня предоставляемых услуг, реинжиниринга бизнес-процессов. Данная методика улучшит документооборот внутри офисов подрядной организации, так же она определяет четкий порядок внутренней и внешней переписки, а так же взаимодействия офисов подрядной организации с заказчиками и сторонними организациями, которые вовлечены для выполнения субподрядных работ. На необходимость в разработке и внедрении данной методики указывают результаты внешнего аудита, который был проведен Заказчиком [288, 297].

6.8 Реагирование на аварии и чрезвычайные ситуации при выполнении строительных работ в зоне радиационного загрязнения

Для обеспечения безопасности персонала, населения и окружающей природной среды необходимо предусмотреть меры по предотвращению аварийных ситуаций и аварий, а также мероприятия по минимизации последствий аварии, если она все-таки произошла. Подрядные организации, которые выполняют работы на промышленной площадке Чернобыльской АЭС, должны выполнять требования по гражданской обороне Заказчика. На территории Чернобыльской АЭС действует документ «План ГСП ЧАЭС реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации» [301].

План ГСП ЧАЭС реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации предназначен для снижения уровня радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду в случае аварий или чрезвычайных ситуаций на объектах ГСП «Чернобыльская АЭС» [301].

Рассмотрим защиту персонала от потенциального облучения. В НРБУ-97/Д-2000 под потенциальным облучением понимается облучение персонала и населения, рассматриваемое при проектировании практической деятельности и реализуемое непосредственно после некоторого непредусмотренного нормальным технологическим процессом критического события, вероятность возникновения которого не превышает 1×10^{-2} год⁻¹.

Потенциальное облучение реализуется непосредственно после некоторого непредусмотренного проектным технологическим процессом события, определяемого как критическое. Это событие, в свою очередь, является прямым или опосредованным результатом нарушений технологии, поломок и отказов оборудования, неправильных действий персонала, аномальных внешних воздействий (включая природные) и других подобных процессов и явлений.

Каждая авария характеризуется начальным исходным событием (ИС), путями протекания (сценарием развития), и последствиями.

В процессе развития аварии исходное событие может привести к критическому событию (КС).

Событие, которое создает прямую угрозу реализации критического события, называется центральным промежуточным событием (ЦПС), которое, в свою очередь, обусловлено определенным исходным событием (событиями).

В соответствии с НРБУ-97/Д-2000 при монтаже оборудования и кабельных проводок по настоящему проекту следует рассматривать регламенты, относящиеся к ограничению потенциального облучения от источников первой группы. При этом в Таблицу 6.9 внесены установленные пределы (в комбинации) доз потенциального облучения и вероятностей КС, а именно:

Т а б л и ц а 6.9

Установленные пределы доз потенциального облучения

Интервал доз потенциального облучения		Референтная вероятность, 1/год
Эффективная доза на событие, мЗв	не превышает 100	$1 \cdot 10^{-2}$
	более 100	$2 \cdot 10^{-4}$
Эквивалентная доза на событие, мЗв	150-500	$5 \cdot 10^{-3}$
Поглощенная доза на событие, мГр	более 1 000	$5 \cdot 10^{-7}$

При анализе потенциальных аварий выполняются консервативные оценки потенциальных доз облучения.

Согласно НРБУ-97/Д-2000 рассмотренные КС можно разделить на группы, в соответствии с эффективными дозами потенциального облучения персонала (менее чем 100 мЗв и больше 100 мЗв).

В данном документе использован консервативный подход, согласно которому персонал может получить облучение с дозами более 100 мЗв при реализации таких КС:

– выход ионизирующего излучения (от известных и неизвестных источников) за установленные границы в количестве, которое превышает допустимые значения в случае появления интенсивных источников ионизирующего излучения (ИИИ) с мощностью дозы выше 2-5 Р/ч с одновременным отказом радиационного контроля (РК). Консервативно предполагалось, что в таких условиях персонал может находиться вплоть до окончания рабочего изменения (несколько часов). Например, оказался неизвестный источник, персонал об этом не знает (поскольку отказал РК) и продолжает работать;

– несанкционированное нахождение персонала в радиационно-опасной зоне непосредственно вблизи интенсивного ИИИ при одновременном отказе РК или в случае намеренных действий персонала. В этом случае консервативно персонал также может находиться в поле излучения ИИИ значительное время.

Персонал, выполняющий работы на территории промплощадки ЧАЭС, может получить дозу более чем 100 мЗв только в случае запроектной аварии (например, в случае обрушения кровли ОУ, возникновение СЦР в случае опорожнения бассейнов выдержки).

Для остальных КС консервативно оцененные дозы находятся в интервале «не превышают 100 мЗв» (с учетом радиационных условий в помещениях, где проводятся указанные работы). Вероятность таких КС не должна превышать 10^{-2} 1/год. Предотвращение аварийных ситуаций и аварий до такого уровня безопасности обеспечивается общепромышленными (общетехническими, противопожарными, охрана труда, электробезопасность, безопасность работ на высоте, и др.) нормами, правилами и стандартами. При работах в зоне радиационного загрязнения комплексы общепромышленных мероприятий по безопасности должны безусловно выполняться. Кроме этого, могут применяться и дополнительные меры по предотвращению аварийных ситуаций и аварий.

Для КС, приводящих к эффективной дозе потенциального облучения выше 100 мЗв (и/или к эквивалентной дозе выше 150 мЗв), обязательно должны применяться дополнительные меры по предотвращению аварий, так, чтобы вероятность этих аварий не превышала $5 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

В данном случае отличием от строительно-монтажных работ в обычных условиях являются радиационные условия работы в непосредственной близости от ОУ. Этот фактор будет способствовать увеличению ошибок персонала, которые, в свою очередь, могут приводить к КС. С целью уменьшения ошибок персонал будет тщательно подготовлен к работам, в том числе будет выполняться обучение и тренировки на макетах.

Рассмотрим типовые сценарии, приводящие к потенциальному облучению персонала при дозе менее 100 мЗв.

I.1. Выход радиоактивных веществ в воздух за установленные границы в количестве, превышающем допустимые значения – может произойти в результате реализации следующих ЦПС или исходных событий (ИС):

- падения элементов кранового оборудования при их монтаже на поверхность грунта или металлоконструкции эстакад, которые имеют поверхностное радиоактивное загрязнение;
- падения контейнера с ТРО;
- интенсивного пылеобразования или подъема пыли при проведении работ на территории локальной зоны ОУ;
- пожара;
- ошибок персонала (например, при выполнении работ с сыпучими или жидкими РАО, нарушение регламента пылеподавления при сверлении отверстий и т.п.).

I.2. Загрязнение радиоактивными веществами поверхностей (оборудования, территории и т.п.) выше установленных уровней, которое может реализоваться в результате следующих ЦПС или ИС:

- падения элементов кранового оборудования при их монтаже/демонтаже на поверхность грунта или металлоконструкции эстакад, которые имеют поверхностное радиоактивное загрязнение;
- падения контейнера с ТРО;
- интенсивного пылеобразования или подъема пыли при проведении работ;
- пожара;
- отказа средств РК и контроля доступа;
- несанкционированного выхода персонала в загрязненной одежде или несанкционированный вынос загрязненных предметов или ИИИ из «грязной» зоны в «чистую».

I.3. Загрязнение радиоактивными веществами основных СИЗ, которое может реализоваться в результате следующих ЦПС или ИС:

- отказ дополнительных СИЗ;
- отказ РК загрязнения основных СИЗ;
- ошибки персонала, приводящие к загрязнению основных СИЗ.

I.4. Разлив жидких радиоактивных веществ (ЖРВ) в результате:

- отказов защитных барьеров, в частности, емкостей-сборников ЖРВ;
- падения предметов или ударов, в частности тех, что приводят к опрокидыванию емкостей с ЖРВ;
- отказов оборудования дезактивации.

I.5. Отказ основных СИЗ, который может реализоваться в результате следующих ЦПС или ИС:

- изменения параметров окружающей среды (например, отказ респираторов при повышении влажности);
- ошибки персонала при применении основных СИЗ.

II. Рассмотрим типовые сценарии, приводящие к потенциальному облучению персонала при дозе более 100 мЗв.

При выполнении работ на территории промплощадки ЧАЭС не могут реализоваться сценарии, приводящие к потенциальному облучению персонала дозами более 100 мЗв поскольку:

- в зоне производства работ отсутствуют какие-либо известные и неизвестные высокоактивные источники с МЭД более 2-5 Р/час;
- на промплощадке ЧАЭС не производятся работы, связанные с вскрытием послеаварийного слоя грунта, в результате которых могут быть обнаружены высокоактивные источники;
- в зоне производства работ отсутствуют значительные уровни поверхностного радиоактивного загрязнения (более 50000 бета-част./($\text{см}^2 \times \text{мин}$)).

Персонал может получить дозу более чем 100 мЗв лишь в случае за-проектной аварии (например, в случае обрушения кровли объекта «Укрытие»), если выполняются работы на промышленной площадке ЧАЭС.

Рассмотрим факторы, влияющие на работу объекта. Под устойчивостью функционирования объекта понимается способность объекта продолжать свою деятельность в чрезвычайных ситуациях, т.е. выполнять свои функции в соответствии с предназначением, а в случае аварии восстанавливать свои функции в минимально короткие сроки. На устойчивость функционирования объекта в чрезвычайных ситуациях влияют следующие факторы:

- надежность защиты персонала от последствий стихийных бедствий, аварий, катастроф, а также воздействия первичных и вторичных факторов оружия массового поражения и других современных средств нападения;
- способность инженерно – технического комплекса объекта противостоять в определенной степени этим воздействиям;
- надежность системы снабжения топлива, электроэнергией, теплом, водой;
- устойчивость и непрерывность управления ГО и объекта в целом;
- подготовленность к ведению спасательных работ и мероприятий по восстановлению функционированию объекта.

Особое значение в настоящее время приобретают требования к устойчивости функционирования объектов с ядерными установками в условиях чрезвычайных ситуаций мирного времени, чтобы в будущем исключить катастрофы типа аварии на Чернобыльской АЭС.

Оценка устойчивости объекта к воздействию поражающих факторов. Пути и способы повышения устойчивости функционирования объекта в условиях чрезвычайных ситуаций в мирное и в военное время весьма многообразны и определяются конкретными специфическими особенностями каждого отдельного элемента и объекта в целом.

Оценка устойчивости объекта к воздействию различных поражающих факторов проводится с использованием специальных методик.

Исходными данными для проведения расчетов по оценке устойчивости объекта являются: возможные максимальные значения параметров поражающих факторов, характеристики объекта и его элементов.

Параметры поражающих факторов обычно задаются вышестоящим штабом ГО. Однако если такая информация не поступила, то максимальное значение параметров поражающих факторов определяется расчетным путем.

При отсутствии и этих данных, характер и степень ожидаемых разрушений на объекте могут быть определены для различных дискретных значений интенсивности землетрясения (в баллах), вызывающего в зданиях и сооружениях разрушения.

Одной из причин крупных производственных аварий и катастроф являются взрывы, которые на промышленных предприятиях обычно сопровождаются обрушениями и деформациями сооружений, пожарами и выходами из строя энергосистем.

Наиболее часто наблюдаются взрывы котлов котельных, аппаратов, продукции на химических предприятиях, паров бензина и других компонентов топлива, лакокрасочных паров, нередко взрывы бытового газа. Причинами взрывов газа, промышленной (угольной, древесной, мучной) пыли, газо-воздушных смесей могут служить открытый огонь, электрические искры, в том числе от статического электричества. Поражающим фактором любого взрыва является ударная волна.

Действие ударной волны на элементы сооружений характеризуется сложным комплексом нагрузок: прямое давление, давление отражения, давление обтекания, давление затекания, нагрузка от сейсмозрывных волн. Действие ударной волны принято оценивать избыточным давлением во фронте ударной волны, обозначаемым $\Delta p_{\text{ф}}$ (кПа). Избыточное давление $\Delta p_{\text{ф}}$ используется как характеристика сопротивляемости элементов сооружения действию ударной волны и для определения степени их разрушения и повреждения. Степень и характер поражения сооружений при взрывах во время производственных аварий зависят от:

- мощности (тротилового эквивалента) взрыва;
- технической характеристики сооружения объекта (конструкция, прочность, размер, форма – капитальные, временные, наземные, подземные и др.);
- планировки объекта, характеристика застройки;
- характера местности;
- метеорологических условий.

При прогнозировании последствий возможного взрыва предусматриваются три круговые зоны:

- I – зона детонационной волны;
- II – зона действия продуктов взрыва;
- III – зона воздушной ударной волны.

Зона детонационной волны находится в пределах облака взрыва газозвудушной смеси. В пределах зоны I действует избыточное давление, которое можно принимать постоянным.

$$P_1 = 1700 \text{ кПа.}$$

Радиус зоны может быть определен по формуле:

$$r_1 = 17,5 \cdot \sqrt{Q_T} \text{ (м) (зона I),} \quad (6.4)$$

где Q – количество сжиженного газа, т.

Зона действия продуктов взрыва охватывает всю площадь разлета продуктов газозвудушной смеси в результате ее детонации.

Радиус этой зоны:

$$r_{II} = 1,7 r_1 \text{ (м) (зона II),} \quad (6.5)$$

где избыточное давление в пределах зоны II (ΔP_{II}) изменяется от 1350 до 300 кПа.

Для любой точки, расположенной в зоне II:

$$\Delta P_{II} = 1300(r_1 / r) + 50 \text{ (кПа),} \quad (6.6)$$

где $r = R$ – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки в зоне II, м; $r_1 \leq r \leq r_{II}$.

В зоне действия воздушной ударной волны (зона III) формируется фронт ударной волны, распространяющийся по поверхности земли. Избыточное давление в этой зоне, в зависимости от расстояния до центра, может быть определено по графику, таблицам и рассчитано по формулам.

Одновременно с прохождением ударной волны происходит перемещение воздуха с большой скоростью. Динамическая нагрузка, создаваемая потоком воздуха, называется скоростным напором. Сопrotивляемость зданий и сооружений к воздействию ударной волны зависит от их конструкции, размеров и других параметров.

Наибольшим разрушениям от ударной волны подвергаются здания и сооружения больших размеров с большими несущими конструкциями, значительно возвышающиеся над поверхностью земли, а также массивные бескаркасные сооружения с несущими стенами из кирпича и блоков. Здания антисейсмической конструкции, а также массивные малоразмерные здания и сооружения с жесткими несущими конструкциями обладают значительной сопротивляемостью ударной волне. При воздействии ударной волны здания, сооружения, оборудование и коммунально – энергетические сети (КЭС) объекта могут быть разрушены в различной степени. Разрушения принято делить на полные, сильные, средние и слабые.

1. Полные разрушения. В зданиях и сооружениях разрушены все основные несущие конструкции и обрушены перекрытия. Восстановление невозможно. На КЭС и технологических трубопроводах разрывы кабелей, разрушение трубопроводов, опор воздушных линий электропередачи и т.п.

2. Сильные разрушения. В зданиях и сооружениях значительные деформации несущих конструкций, разрушена большая часть перекрытий и стен. Оборудование и механизмы большей частью разрушены. На КЭС и трубопроводах разрывы и деформации на отдельных участках подземных сетей, деформация опор воздушных линий электропередачи и связи.

3. Средние разрушения. В зданиях и сооружениях разрушены главным образом, несущие второстепенные конструкции (легкие стены, перегородки, крыши, окна, двери). Возможны трещины в наружных стенах и завалы в отдельных местах. Перекрытия и подвалы не разрушены, часть помещений пригодна к эксплуатации. Деформированы отдельные узлы оборудования техники. Техника вышла из строя и требует капитального ремонта.

4. Слабые разрушения. В зданиях и сооружениях разрушена часть внутренних перегородок, двери и остекление. Оборудование имеет незначительные деформации второстепенных элементов. На КЭС имеются незначительные разрушения и поломы конструктивных элементов. Анализ аварии и расчеты показывают, что подавляющее большинство производственных зданий и сооружений получают слабые разрушения при избыточном давлении от 10 до 20 кПа, средние – при 20...30 кПа, сильные – при 30...50 кПа, полные при 50 кПа и более. Нагрузка от ударной волны на отдельную часть элемента зависит от положения их относительно распространения ударной волны. Действия нагрузки от ударной волны, распространяющейся вдоль поверхности земли, можно разделить на нагрузки обтекания, определяемые главным образом, максимальным избыточным давлением в ударной волне, и нагрузки торможения, возникающей под действием скоростного напора.

При расчетах устойчивости элементов объекта больших размеров определяющей воздействующей нагрузкой является нагрузка обтекания, т.е. та сила, которая стремится сдвинуть сооружение в направлении действия ударной волны.

Исходными данными для проведения расчетов по оценке устойчивости объекта народного хозяйства являются: возможные максимальные значения параметров поражающих факторов; характеристики объекта и его элементов.

Характер и степень ожидаемых разрушений на объекте могут быть определены для различных дискретных значений интенсивности землетрясения (в баллах) или избыточного давления $\Delta p_{\text{ф}}$ воздушной ударной волны ядерного взрыва, вызывающего в зданиях и сооружениях разрушения различной степени.

Ориентировочно могут приниматься следующие значения (в баллах): 5, 6, 7, 8, 9 или ($\Delta p_{\text{ф}}$) (кПа): 10, 20, 30 и 40 – для предприятий химической, нефтеперерабатывающей, радиоэлектронной, медицинской и аналогичных им отраслей промышленности; 6, 7, 8, 9, 10, 11 баллов или 20, 30, 40, 50, 60 кПа – для машиностроительной, пищевой, металлургической и подобных им отраслей.

Оценка степени устойчивости объекта к воздействию сейсмической (ударной) волны заключается:

– в выявлении основных элементов объекта (цехов, участков производство, систем), от которых зависит его функционирование и выпуск необходимой продукции;

– в определении предела устойчивости каждого элемента (по нижней границе диапазона давлений, вызывающих среднее разрушения) и объекта в целом (по минимальному пределу входящих в его состав элементов);

– сопоставлении найденного предела устойчивости объекта с ожидаемым максимальным значением сейсмической (ударной) волны и заключении о его устойчивости.

На основе анализа результатов оценки устойчивости каждого элемента и объекта в целом даются рекомендации по целесообразному повышению устойчивости наиболее уязвимых элементов и объекта в целом.

Целесообразным пределом повышения устойчивости принято считать такое значение сейсмической (ударной) волны, при котором восстановление поврежденного объекта возможно в короткие сроки и экономически оправдано (обычно при получении объектом слабых и средних разрушений).

Рассмотрим оценку устойчивости объекта энергетики в условиях землетрясения.

Критерием устойчивости объекта к воздействию сейсмической волны при землетрясении является эквивалентное значение избыточного давления воздушной ударной волны, при которой здания, сооружения и оборудование еще сохраняются или получают слабые разрушения. При этом разрушительное воздействие сейсмических волн, по сложившейся международной практике, приравнивается к действию воздушной ударной волны

Методика оценки устойчивости при землетрясениях точно такая же, как и оценка устойчивости при взрыве, но $\Delta P\phi$, не рассчитывается, а берется из таблицы в зависимости от баллов ожидаемого землетрясения и сравнивается с пределом устойчивости производства.

В ы в о д ы

Мониторинг процессов и усовершенствование нормативной базы по реализации комплексов долговременных мер по ликвидации аварий на КВОИ является актуальной задачей. Разработана номенклатура показателей качества организации строительных работ в зоне радиационного загрязнения. Усовершенствована нормативная база организации строительства промышленных объектов в зоне отчуждения и безусловного (обязательного) отселения путем разработки Методики взаимодействия Головного и Полевого офисов, усовершенствованы процессы мобилизации персонала путем разработки метода оценки конкурентоспособности персонала, усовершенствованы процессы оценки соответствия металлоконструкций для строительства арки НБК ЧАЭС для устранения избыточных процедур оценки соответствия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными факторами, определяющими безопасность объектов критического применения, является их надежность и долговечность, высокое качество оценивания и прогнозирования этих показателей. Это особенно важно для этапа эксплуатации оборудования КВОИ, на котором начинается период интенсивного износа и старения с учетом трудностей сбора и представления для обработки статистики отказов как субъективного, так и объективного характера.

Для решения задач обеспечения надежности, долговечности и безопасности информация о работоспособности и ресурсоспособности оборудования КВОИ имеет первостепенное значение. Результаты исследований последних катастроф и аварий объектов критического применения показывают, что, как правило, они связаны в конечном итоге с низким качеством оборудования и недостаточной компетенцией при его эксплуатации, включая невысокое качество оценивания и прогнозирования его ресурсных характеристик.

С учетом важности проблемы повышения качества эксплуатации и прогнозирования ресурсных характеристик КВОИ в настоящее время наиболее актуальным является следующее:

1. На всех этапах жизненного цикла КВОИ необходимо выявление элементов, которые предрасположены к появлению деградационных, ресурсных и параметрических отказов, а также анализ их коренных причин с применением как имитационного и математического моделирования, так и экспертного оценивания.

2. Требуется выполнение комплекса работ по стандартизации понятия ресурсоспособность и ее показателей. Необходимо нормирование показателей ресурсоспособности и научно-методическое обеспечение оценивания и прогнозирования показателей ресурсоспособности оборудования КВОИ.

3. Необходимы исследования динамики параметрических, деградационных и ресурсных отказов и разработка методологии анализа предотказных состояний оборудования КВОИ.

4. Целесообразно совершенствование технологии ресурсного проектирования с учетом оптимистического и пессимистического прогнозов; неизбежности исследования параметрической избыточности и остаточной дефектности; важности применения экспертного оценивания, включая инфологическое моделирование; разработки методов и методик оценивания и прогнозирования предельных состояний КВОИ.

5. Обязательно создание системы прогнозирования показателей ресурсоспособности КВОИ на базе предложенной модели процесса прогнозирования с учетом применения принципов системного подхода. Наиболее перспективным в этом плане является применение структурной модели и системного метода анализа экспертных знаний о ресурсоспособности КВОИ.

6. Целесообразно обеспечение комплексного характера работ, начиная с применения модели «технологического треугольника» на этапе проектирования сложных объектов при обязательном создании нормативной базы по организации, накоплению и обработке статистической информации о ресурсных характеристиках КВОИ в период их эксплуатации, развитию методов, технологий и инструментальных средств для применения современных систем прогнозирования показателей ресурсоспособности КВОИ.

7. Требуется выполнение комплекса работ по более полному учету факторов, влияющих на динамику ресурсных характеристик КВОИ с применением инфологического моделирования, экспертного оценивания, для всестороннего охвата времени «нормальной» эксплуатации и времени «физического старения» КВОИ методами и методиками оценивания и прогнозирования их показателей ресурсоспособности.

8. Необходима систематизация работ по созданию и постоянному совершенствованию методологии оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик и показателей ресурсоспособности оборудования КВОИ, предусматривающей внедрение компетентностного подхода для снижения рисков прогноза и повышения качества их оценивания.

9. Целесообразно дальнейшее развитие исследований по систематизации динамики предотказных и предельных состояний оборудования КВОИ, а также типизации их параметрических, деградиционных и ресурсных отказов с использованием модели «технологического треугольника».

10. Требование научной обоснованности принимаемых решений при оценивании и прогнозировании ресурсных характеристик и показателей ресурсоспособности предопределяет необходимость создания и совершенствования новых научных дисциплин, таких как экспертология, оценивание и прогнозирование ресурсоспособности, моделирование предотказных и предельных состояний оборудования КВОИ и др.

11. Необходим мониторинг процессов и усовершенствование нормативной базы по реализации комплексов долговременных мер по ликвидации аварий на КВОИ.

Рассматриваемые в данной монографии проблемы лежат именно в этом русле. Авторы далеки от мысли, что изложенные материалы решают все вопросы, названные выше. Прежде всего, учитывая важность задач по-

вышения качества эксплуатации и прогнозирования показателей ресурсоспособности и ресурсных характеристик, рекомендуется обращать внимание на следующие направления работ в этой области:

- ужесточение требований к формированию технической документации, в которой необходимо указывать количественные значения показателей ресурсоспособности и качества их индивидуального оценивания и прогнозирования на всех этапах жизненного цикла оборудования КВОИ;

- организация, подготовка и проведение обучения инженерно-технического персонала и руководящего состава организации, эксплуатирующих объекты критической инфраструктуры по специальностям и специализациям в области оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик и показателей ресурсоспособности КВОИ на всех этапах их жизненного цикла;

- создание комплекса инструментальных средств и технологий для исследования динамики предотказных состояний, имитационного моделирования для индивидуального прогнозирования ресурсных характеристик, управления рисками при индивидуальном оценивании технического состояния объектов критического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аркадов Г.В. Надежность оборудования и трубопроводов АЭС и оптимизация их жизненного цикла (вероятностные методы) / Г.В. Аркадов, А.Ф. Гетман, А.Н. Родионов. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 423 с.
2. Безопасность атомных станций: информационные и управляющие системы / М.А. Ястребенецкий [и др.]; под ред. М.А. Ястребенецкого. – К.: Техника, 2004. – 472 с.
3. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание / Ф. Байхельт, П. Франкен // Математический подход: пер.с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 394 с.
4. Фатхутдинов Р.А. Управленческие решения: учебник. – 6-е изд. / Р.А. Фатхутдинов – М.: Инфра. – М., 2006. – 344 с.
5. Лапа М.В. Управлінські технології та їх конкурентоздатність: навч. посібник / М.В. Лапа. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2008. – 96 с.
6. ДСТУ 2861–94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://text.normativ.ua/doc8507.php>.
7. ДСТУ 2862–94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. – К.: ДЕРЖСТАНДАРТ України, 1995. – 84 стр.
8. ДСТУ 3004 – 95. Надежность техники. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – К.: ДЕРЖСТАНДАРТ України, 1995. – 128 стр.
9. ГОСТ 26291 – 84. Надежность атомных станций и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей. М.: Ордена «Знак почета» издательство стандартов, 1987. – 17 с.
10. НП 306.1.02/1.034–2000. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій. – К.: ГКЯРУ, 2008. – 58 с.
11. НП 306.2.099–2004. Загальні вимоги до продовження експлуатації АЕС у понад проектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://text.normativ.ua/doc8507.php>.
12. НП 306.5.02/2.068–2003. Вимоги до порядку та змісту робіт для продовження терміну експлуатації інформаційних та керуючих систем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0306-03>.
13. НД 306.711–96. Надежность АЭС и оборудования. Продление ресурса средств контроля и управления, входящих в системы, важные для безопасности. Общие требования к порядку и содержанию работ. – К.:

- Министерство охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности. — К., 1996.
14. ПНАЭ Г-7-008-89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.seogan.ru/pnae-g-7-008-89-pravila-ustroiystva-i-bezopasnoiy-ekspluatatsii-oborudovaniya-i-truboprovodov-atomnix-energeticheskix-ustanovok.html>.
 15. ПиН АЭ-5.6. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. Правила и нормы в атомной энергетике. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31291653.
 16. Положення про порядок надання дозволу на виконання будівельних робіт, Затв. наказом Держкомбуду 05.12.200 №273, рег. № Мін'юсту 945/5166 від 25.12.2000.
 17. Маловик К.Н. Системное исследование ресурсных характеристик компонентов энергоблоков АЭС / К.Н. Маловик // Сб. науч. трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – вып. 4. – С. 253 – 259.
 18. КНД 95.1.08.01.55-2004. Организация технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных электростанций. Основные положения.
 19. ПЛ-Д.0.06.007-04. Положение о порядке согласования и утверждения производственной и проектной документации.
 20. ПЛ-Д.0.08.126-10. Положение о порядке продления срока эксплуатации/службы оборудования систем, важных для безопасности.
 21. СТП 0.41.066-2006. Система оценки уровня эксплуатационной безопасности и технического состояния атомных электростанций с водородными энергетическими реакторами. Общие требования.
 22. ПМ-Д.0.08.222-06. Типовая программа по управлению старением элементов энергоблока АЭС.
 23. ПК-Ч.0.08.410-07. Программа качества при выполнении работ по управлению старением на энергоблоках АЭС.
 24. ТР-С 1234.03.032.02. Отраслевое решение о порядке продления срока эксплуатации ТМО СВБ группы В и С.
 25. ТР-С 0.03.031.02. Отраслевое решение об оптимизации системы ТОиР арматуры и организации работ по продлению ресурса ее выемных частей.
 26. О назначении ресурса оборудования, важного для ядерной и радиационной безопасности: решение Коллегии Госатомнадзора Украины № 4/1 от 25.02.94 г.
 27. ПР-Т.0.08.116-06. Перечень классификаторов украинской базы данных надежности АЭС.
 28. ПЛ-Д.0.08.168-03. Положение о порядке сбора, учета, хранения и обмена данными по надежности оборудования АЭС.

29. ГОСТ 26291 – 84. Надежность атомных станций и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей.
30. Methodology for the Management of Ageing of Nuclear Power Plant Components Important to Safety / International Atomic Energy Agency // Technical Reports Series. – No. 338. – IAEA, Vienna, 1992.
31. Data Collection and Record Keeping for the Management of Nuclear Power Plant Ageing / International Atomic Energy Agency // Safety Series. – No.50.–P-3. – IAEA, Vienna, 1992.
32. Implementation and Review of a Nuclear Power Plant Ageing Management Programme / International Atomic Energy Agency // Safety Reports Series. – No.15. – IAEA, Vienna, 1999.
33. AMAT guidelines / International Atomic Energy Agency // Services Series. – № 4. – IAEA, Vienna, 1999.
34. Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants / International Atomic Energy Agency // Safety Guide – Safety Standards Series. – No. NS-G-2.10 2003. – IAEA, Vienna, 2003.
35. Glossary of Nuclear Power Plant Ageing. – OECD/NEA, 2008.
36. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
37. Антонов А.В. Оценивание, прогнозирование и управление ресурсными характеристиками оборудования АЭС / А.В. Антонов, А.В. Дагаев // Сб. науч. трудов каф. АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2009.
38. Чепурко В.А. Характеристики надежности систем с учетом неоднородности потока отказов / В.А. Чепурко // Сб. науч. трудов каф. АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2007. – № 17. – С. 29.
39. Чумаков И.А. Программное обеспечение обработки данных об отказах оборудования ЯЭУ / И.А. Чумаков, С.В. Соколов, В.А. Чепурко // Сб. науч. трудов каф. АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2010. – 59 с.
40. Отраслевой обобщенный отчет по надежности оборудования энергоблоков АЭС за 2008 год. – К.: НАЭК «Энергоатом», 2009. – 113 с.
41. МТ-Т.0.08.118–05. Методика статистического анализа надежности средств контроля и управления систем, важных для безопасности АЭС.
42. МТ-Т.0.08.117–05. Методика расчета показателей надежности приводов трубопроводной арматуры.
43. МТ-Т.0.08.168–05. Методика статистического анализа данных оборудования информационных и управляющих систем, электрооборудования и электроприводов арматуры по выявлению тренда потока отказов во времени для определения возможности продления срока эксплуатации.
44. МТ-Т.0.03.195–09. Типовая методика оценки технического состояния, показателей надежности и остаточного ресурса для различных групп электротехнического оборудования АЭС.

45. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных станций / В.А. Острейковский: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 928 с.
46. Гетман А.Ф. Ресурс эксплуатации сосудов и трубопроводов АЭС / А.Ф. Гетман. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 427 с.
47. Антонов А.В. Системный анализ: учебник для вузов. – 2-е изд. / А.В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2006. – 454 с.
48. Скиба М.А. О среднем ресурсе и остаточных временах неоднородного потока отказов / М.А. Скиба // Диагностика и прогнозирование состояния сложных систем: сб. науч. тр. каф. АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2009. – № 18. – С. 41 – 56.
49. Руководящий документ СК–01–04. Системная концепция обеспечения прочности ресурса, надежности и безопасности оборудования и трубопроводов атомных электростанций РД ЭО. – М., 2004.
50. Антонов А.В. Оценивание характеристик надежности элементов и систем ЯЭУ комбинированными методами / А.В. Антонов, В.А. Острейковский. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 368 с.
51. Буртаев Ю.Ф. Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации / Ю.Ф. Буртаев, В.А. Острейковский. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 368 с.
52. Антонов А.В. Оценивание параметров закона распределения при неполной информации об отказах / А.В. Антонов, А.Н. Ефремов, В.А. Чепурко // Диагностика и прогнозирование состояния сложных систем: сб. науч. тр. каф. АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2007. – № 17. – С. 29 – 40.
53. Антонов А.В. Интервальная оценка характеристик надежности уникального оборудования / А.В. Антонов, К.Н. Маловик, И.А. Чумаков // Фундаментальные исследования: науч. журнал. – М.: Академия естествознания, 2011. – Ч. 1. – № 12. – С. 71 – 76.
54. Антонов А.В. Статистический анализ эксплуатационной надежности электронасосных агрегатов ЦН60-180 реакторов ВВЭР методами ядерного оценивания / А.В. Антонов [и др.] // Известия вузов РФ. Ядерная энергетика. – 2009. – № 3. – С. 5 – 14.
55. Зюляева Н.Г. Определение характеристик надежности оборудования АЭС непараметрическими методами: дис. ... канд. техн. наук. ИАТЭ / Н.Г. Зюляева. – Обнинск, 2010. – 196 с.
56. Гаев Л.В. О проведении бутстреп-оценки вероятности успеха в одном испытании Бернулли. Современные проблемы математики и естествознания / Л.В. Гаев // Матер. пятой Всерос. науч.–техн. конф. – Н. Новгород: МВВО АТН РФ, 2003. – С. 6 – 7.
57. Антонов А.В. Построение непараметрической плотности распределения на основании цензурированной информации / А.В. Антонов, В.А. Чепурко // Надежность. – 2005. – № 2. – С. 3 – 13.
58. Антонов А.В. Исследование метода ядерной оценки плотности распре-

- деления / А.В. Антонов, Н.Г. Зюляева, В.А. Чепурко // Надежность. – 2007. – № 1. – С. 3 – 12.
59. Володарський Е.Т. Статистична обробка даних: навч. посібник / Е.Т. Володарський, Л.О. Кошева. – К.: НАУ, 2008. – 308 с.
60. Орлов А.И. Прикладная статистика: учебник / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2004. – 656 с.
61. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика / А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
62. Ван-дер-Варден Б.Л. Математическая статистика / Б.Л. Ван-дер-Варден; под ред. Л.Н. Смирнова. – М.: Иностран. лит-ра, 1960. – 435 с.
63. Василевич А.Ф. Количественные методы принятия решений в условиях риска: учеб. пособие / А.Ф. Василевич, К.Н. Маловик, С.Б. Смирнов. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2007. – 232 с.
64. ПЛ–Д.0.08.228–05. Положение о требованиях к обобщенному отчету по надежности оборудования АЭС. К.: НАЭК «Энергоатом», 2011. – 25 с.
65. Антонов А.В. Статистические модели в теории надежности: учеб. пособие / А.В. Антонов, Н.С. Никулин. – М.: Абрис, 2012. – 390 с.
66. Маловик К.Н. Анализ ресурсных характеристик при неоднородном потоке отказов изделий / К.Н. Маловик // Методи та прилади контролю якості. – Івано–Франківськ, 2011. – № 26. – С. 85 – 89.
67. Маловик К.Н. Совершенствование методов анализа ресурсоспособности изделий / К.Н. Маловик // Энергетика – известия вузов и энергетических объединений СНГ: междунар. науч.-техн. журнал. – Минск, 2012. – № 2. – С. 50 – 57.
68. Маловик К.Н. Анализ ограниченной информации о надежности непараметрическими критериями / К.Н. Маловик, Ю.И. Новикова // Нові технології: наук. вісник КУЕІТУ. – Кременчук, 2011. – № 3 (33). – С. 94 – 102.
69. Антонов А.В. Анализ показателей долговечности элементов систем радиационного контроля АЭС / А.В. Антонов, К.Н. Маловик, И.А. Чумаков // Ядерная физика и инженерия. – М.: Науч.-исслед. ядерный ун-т «Московский инженерно-физический институт», 2011. – Т. 2. – № 5. – С. 414 – 420.
70. Герасимов Б.М. Поддержка принятия решений: монография / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, И.Ю. Субач. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2004. – 320 с.
71. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode / E. Parzen // Annals of Mathematical Statistics. – 1962. – 33. – P. 1065 – 1076.
72. Rozenblatt M. Remark on some nonparametric estimates of a density function / M. Rozenblatt // Annals of Mathematical Statistics. – 1956. – 27. – P. 832 – 837.
73. Ростик Г.В. Оценка технического состояния турбогенераторов: учеб.–практ. пособие / Г.В. Ростик. – М.: ИПК госслужбы, 2008. – 492 с.
74. Маловик К.Н. Унификация конструктивно-технологических решений

- как метод внедрения наукоемких нововведений: сб. науч. трудов СНУЯЭиП / К.Н. Маловик [и др.] // Севастополь, 2006. – Вып. 2 (18). – С. 186 – 192.
75. Маловик К.Н. Анализ взаимосвязи показателей надежности и метрологической стабильности измерительных каналов: сб. науч. трудов СНУЯЭиП // Маловик К.Н. [и др.] // Севастополь, 2009. – Вып. 2 (30). – С. 106 – 111.
76. Маловик К.Н. Разработка монограмм для оценивания метрологической надежности измеряемых каналов / К.Н. Маловик, А.В. Юдин // Український метрологічний журнал. – 2010. – Вып № 2. – С. 45 – 47.
77. Маловик К.Н. Оценивания остаточного ресурса измерительных каналов / К.Н. Маловик, А.В. Юдин // Метрологія та прилади. – Харьков, 2010. – № 4. – С. 45 – 48.
78. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии / В.С. Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Х.: НАКУ ХАИ. – 2006. – № 5 (17). – С. 7 – 19.
79. Острейковский В.А. Вероятностное прогнозирование работоспособности элементов ЯЭУ / В.А. Острейковский, Н.Л. Сальников. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.
80. Основы управления качеством: учеб. пособие / Под ред. Э.М. Векслера, К.Н. Маловика. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2006. – 260 с.
81. Маловик К.Н. Контроль качества и надежности: учеб.–метод. пособие / К.Н. Маловик. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2005. – 324 с.
82. Маловик К.Н. Аналитическое прогнозирование времени предельного состояния сложных изделий / К.Н. Маловик // Труды Одесского политех. ун-та. – Одесса: ОПУ, 2012. – № 2 (39). – С. 120 – 129.
83. Ресурс и надежность оборудования и трубопроводов АЭС: учеб. пособие / Г.В. Аркадов, А.Ф. Гетман, К.Н. Маловик, С.Б. Смирнов. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012. – 348 с.
84. Ястребенецкий М.А. Управление старением критических систем / М.А. Ястребенецкий // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, 2008. – № 6 (33). – С. 114 – 121.
85. ГОСТ 27.002 – 89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
86. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / Ред. В.С. Авдеевский (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – Т. 6. Экспериментальная обработка и испытания / Под общ. ред. Р.С. Судакова, О.И. Теснина. – 376 с.
87. Маловик К.Н. Систематизация свойств ресурсоспособности оборудования объектов критического применения / К.Н. Маловик // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: міжнар. наук.-техніч. журнал. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – № 2 (24). – С. 84 – 90.

88. Маловик К.Н. Выбор системы технологических испытаний статоров турбогенераторов большой мощности / К.Н. Маловик, Б.М. Демидюк, В.В. Никишин // Развитие научных исследований 2009: Матер. пятой междунар. науч.-практ. конф. – Полтава: Интер Графика, 2009. – Т. 8. – 152 с.
89. Демидюк Б.М. Анализ закономерностей интенсивности отказов турбогенераторов большой мощности / Б.М. Демидюк, К.Н. Маловик // Сб. докл. XIX Национ. науч. симпозиума с междунар. участием «Метрология и метрологическое обеспечение 2009». – Созополь, Болгария, 2009. – 534 с.
90. Маловик К.Н. Повышение качества диагностики параметров теплоносителя ядерных реакторов / К.Н. Маловик, В.В. Никишин // Сб. докл. XX Национ. науч. симпозиума с междунар. участием «Метрология и метрологическое обеспечение 2010», 2010. – Созополь, Болгария. – 460 с.
91. Маловик К.Н. Применение метода акустико-эмиссионного контроля для прогнозирования технического состояния оборудования объектов критического применения / К.Н. Маловик и [др.] // Матер. I Міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми прикладної фізики». – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012. – 365 с.
92. Маловик К.Н. Стандартизация ресурсных характеристик оборудования АЭС / К.Н. Маловик // Научная сессия НИЯУ МИФИ–2012. Аннотация докладов: в 3-х т. – Т.1. Инновационные ядерные технологии. Высокие технологии в медицине. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 308 с.
93. Лапа М.В. Структурная модель знаний экспертов о ресурсоспособности оборудования / М.В. Лапа, К.Н. Маловик // Съома міжнар. наук.-практ. конф. «Математичне та імітаційне моделювання систем» МОДС–2012: Тези доповідей. – Чернігів–Жукин. – 2012. – 415 с.
94. Лапа М.В. Экспертная оценка показателей долговечности приборов на основе нечеткой логики / М.В. Лапа, К.Н. Маловик // Зб. тез доповідей XI Міжнар. наук.-техніч. конф. «Приладобудування: стан і перспективи». – К.: ПБФ, НТУУ КПІ. – 2012. – 264 с.
95. Маловик К.Н. Построение статистик для оценки показателей надежности оборудования по малым выборкам / К.Н. Маловик и [др.] // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Конструкционная прочность материалов и ресурс оборудования АЭС» / Отв. ред. В.В. Харченко. – К.: Ин-т проблем прочности им. Г.Т. Писаренко НАН Украины, 2012. – 286 с.
96. Кокс Д.Р. Анализ данных типа времени жизни: пер. с англ. / Д.Р. Кокс, Д. Оунс. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 191 с.
97. Гетман А.Ф. Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления / А.Ф. Гетман, Ю.Н. Козин. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 288 с.
98. Маловик К.Н. Особенности стандартизации ресурсных характеристик

- изделий / К.Н. Маловик // Сб. докл. XXI Национ. науч. симпозиума с междунар. участием «Метрология и метрологическое обеспечение 2012». – Созополь, Болгария, 2012. – 408 с.
99. V. Loviahin. Analysis of nonparametric tests power while assessment of state critical using objects / V. Loviahin, A. Skatkov, K. Malovik, L. Lugovskaya // 6-th International Conference Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 12). – Ukraine, Sevastopol, 2012.
 100. Александровская Л.Н. Безопасность и надежность технических систем: учеб. пособие / Л.Н. Александровская [др.]. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 376 с.
 101. Маловик К.Н. Унификация динамики состояний ресурсоспособности сложных объектов / К.Н. Маловик // Вісник Інженерної академії України. – К., 2012. – № 3 – 4 – С. 127 – 133.
 102. Стандартизация и управление качеством продукции: учеб. для вузов / В.А. Швандар [и др.]; под ред. проф. В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 487 с.
 103. Голоднова О.С. Основные причины отказов турбогенераторов большой мощности и пути их предупреждения: учеб.-метод. пособие. – М.: ИПК госслужбы, 2005. – 92 с.
 104. Демидюк Б.М. Исследование периода приработки статоров турбогенераторов большой мощности / Б.М. Демидюк, К.Н. Маловик // Сб. науч. трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – Вып. 3 (3). – С. 16 – 20.
 105. ДСТУ 2864 – 94. Надійність техніки. Експериментальна оцінювання та контроль надійності. Основні положення.
 106. ГОСТ 27.003 – 90. Состав и общие правила задания требований по надежности.
 107. ГОСТ 27.310 – 90. Анализ видов, последствий и критичности отказов.
 108. РД 153–34.1–30.608–200. Методические указания по использованию экспертной системы оценки эксплуатационно-ремонтного обслуживания трубопроводов. РАО «ЕЭС России».
 109. Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения: монография / В.А. Акимов, А.А. Быков, Е.Ю. Щетинин // МЧС России. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 524 с.
 110. Ходасевич Г.Б. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ: учеб. пособие / Г.Б. Ходасевич. – СПб.: СПбГТУ, 2002. – Ч. 2. Обработка многомерных данных. – 82 с.
 111. Харламов Б.П. Непрерывные марковские процессы / Б.П. Харламов. – М.: Наука, 2001. – 432 с.
 112. ГОСТ 23554.0 – 02. Экспертные методы оценки качества промышленности.

113. Методология управления старением компонентов атомных электростанций, важных для безопасности // Серия технических докладов. – № 338. – Вена: МАГАТЭ. – 1992. – 38 с.
114. Шпицер В.Я. Динамические модели деградации оборудования атомных станций на этапах эксплуатации и вывода из эксплуатации: Дис. ...д-ра техн. наук: 05.13..18. Волгодонск: РГБ, 2006. – 225 с.
115. Положение о порядке расследования и учета нарушений в работе атомных электрических станций: НП 306.2.100-2005. – К.: НАЭК «Энергоатом», 2005. – 32 с. (Нормативный документ ГП НАЭК «Энергоатом». Положение).
116. Антонов А.В. Оценивание, прогнозирование и управление ресурсными характеристиками оборудования АЭС / А.В. Антонов, А.В. Дагаев // Сб. науч. тр. каф. АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2009. – С. 10 – 16.
117. Маловик К.Н. Анализ остоточной дефектности оборудования АЭС в условиях неопределенности / К.Н. Маловик, А.Н. Мирошниченко // Системи обробки інформації. – Харків, 2013. – Вип. 8 (98).
118. Васильев К.К. Математическое моделирование систем связи: учеб. пособие / К.К. Васильев, М.Н. Служивый. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 170 с.
119. Маловик К.Н. Метод экспертной оценки ресурсных характеристик изделий / К.Н. Маловик // Нові технології: Наук. вісник Кременчуцького ун-ту економіки, інформаційних технологій та управління. – Кременчуг, 2011. – № 3 (33). – С. 19 – 30.
120. ДСТУ 3433 – 96 (ГОСТ 27.005 – 97). Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения.
121. ДСТУ 3942 – 2000 (ГОСТ 27.506 – 2000). Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). – Ч. 2. Диффузионное распределение.
122. Чепурко В.А. Характеристики надежности систем с учетом неоднородности потока отказов / В.А. Чепурко // Сб. науч. трудов каф. АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2007. – № 17. – С. 29.
123. Чумаков И.А. Программное обеспечение обработки данных об отказах оборудования ЯЭУ / И.А. Чумаков, С.В. Соколов, В.А. Чепурко // Сб. науч. трудов каф. АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2010. – С. 59.
124. Маловик К.Н. Математическая формализация задачи оценивания ресурсных характеристик оборудования АЭС / К.Н. Маловик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/4 (58). – С. 4 – 8.
125. Лапа М.В. Системный анализ и классификация экспертных знаний о ресурсоспособности оборудования АЭС / М.В. Лапа, К.Н. Маловик // Вісник Чернігівського держ. технологіч. ун-ту. – Чернігов, 2012. – № 3 (19). – С. 190 – 195.

126. Василевич Л.Ф. Оцінка компетентності експертів на основі нечіткого відношення переваги / Л.Ф. Василевич, К.М. Маловик // Вісник інженерної академії України. – Вінниця, 2011. – № 2. – С. 67 – 72.
127. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
128. Назарычев А.Н. Математическая модель оценки расхода ресурса электрооборудования с учетом режимов его работы / А.Н. Назарычев, Д.А. Андреев, А.Ю. Блудов, Педро Антонио // Вестник ИГЭУ. – 2007. – Вып. 2. – С. 1 – 5.
129. Софийский И.Ю. Оценка и прогнозирование ресурса оборудования сложных систем / И.Ю. Софийский, Н.Н. Шендрик, Н.В. Сацук // Сб. науч. трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – Вып. 4. – С. 53 – 59.
130. Алиев Р.А. Управление производством при нечеткой исходной информации / Р.А. Алиев [и др.]. – М: Энергоатомиздат, 1991. – 238 с.
131. Борисов А.Н. Методы принятия решений в условиях неопределенности / А.Н. Борисов // Межвуз. сб. науч. тр. – Рига: РПИ, 1980. – 160 с.
132. Коренко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практика решения / А.Г. Коренко. – К.: МК–Пресс, 2006. – 320 с.
133. Инфологическое моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rus-lib.ru/book/28/ps/01/027-044.html>.
134. Павлов А.А. Информационные технологии и алгоритмизация в управлении / А.А. Павлов, С.Ф. Теленик. – К.: Техника, 2002. – 344 с.
135. Теория выбора и принятия решений: учеб. пособие / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 328 с.
136. К.М. Маловик. Інфологічне моделювання предметної області для оцінювання ресурсних характеристик обладнання АЕС / К.М. Маловик // Відбір та обробка інформації. – Львів, 2012. – № 36 (112). – С. 110 – 115.
137. Фрейдина Е.В. Исследование систем управления: учеб. пособие / Е.В. Фрейдина. – М.: Омега–Л, 2008. – 367 с.
138. Лапа М.В. Конкурентоспроможність персоналу: навч.-метод. посібник / М.В. Лапа. – Чернігів: ЦППК працівників органів держ. влади, органів місцевого самоврядування, держ. підприємств, установ і організацій, 2009. – 46 с.
139. Ковальчук Т.Г. Особливості реалізації інтелектуальної власності в економіці України: дис. ... канд. екон. наук: 08.01.01 / Т.Г. Ковальчук. – К., 2003. – 207 с.
140. Мікульонок І.О. Основи інтелектуальної власності / І.О. Мікульонок. – К.: Політехніка НТУУ КПІ, 2005. – 230 с.

141. Лапа М.В. Основи інтелектуальної власності: навч. посібник / М.В. Лапа. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2008. – 96 с.
142. Квалиметрия в образовательных услугах высших учебных заведений. – Т. 1. Оценивание и аудит качества образовательных услуг: учеб. пособие / А.Н. Бакулина [и др.]. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – 369 с.
143. Квалиметрия в образовательных услугах высших учебных заведений. – Т. 2. Оценивание эффективности и конкурентоспособности образовательных наук / А.Н. Бакулина [и др.]. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – 392 с.
144. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
145. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ, 2005. – 736 с.
146. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практика решения / А.Г. Корченко. – К.: МК–Пресс, 2006. – 320 с.
147. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 206 с.
148. Литвак Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
149. Гохман О.Г. Экспертное оценивание: учеб. пособие / О.Г. Гохман. – Воронеж: ВГУ, 1991. – 152 с.
150. Хвастунов Р.М. Экспертные оценки в квалиметрии машиностроения: учеб. пособие / Р.М. Хвастунов, О.И. Ячелло, В.М. Корнеева, М.П. Поликарпов. – М., 2002. – 142 с. (Управление качеством, стандартизация и сертификация)
151. Сидельников Ю.В. Экспертология – новая научная дисциплина / Ю.В. Сидельников // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 2. – С. 107 – 126.
152. Баранов Л.Г. Нечеткие множества в экспертной оценке / Л.Г. Баранов, А.В. Птушкин // Социология. – ЧМ. – 2004. – № 19. – С. 142 – 157.
153. Радаев Н.Н. Точность экспертного оценивания состояния объекта методом попарных сравнений с количественной оценкой предпочтения / Н.Н. Радаев // Измерительная техника. – 2007. – № 9. – С. 6 – 11.
154. Скворцова С.А. Преимущество в формировании математических компетенций в начальной и основной школе. Дидактика математики: проблемы и исследования / С.А. Скворцова // Междунар. сб. науч. работ. – Донецк: ДОННУ, 2009. – Вып. 32. – С. 69 – 74.
155. Волівач Л.Л. Удосконалення нормативної бази з експлуатації інженерно-технічних засобів фізичного захисту ядерних об'єктів /Л.Л. Волівач //Дис. магістра. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2010. – 160 с.

156. Лапа М.В. Экспертная оценка показателей долговечности систем внутриреакторного контроля на основе нечеткой логики / М.В. Лапа, К.Н. Маловик // Вісник НУТУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2012. – Вип. 43. – С. 133 – 141.
157. Лапа М.В. Развитие научных основ повышения качества эксплуатации инженерно-технических систем физического защиты ядерных объектов: монография / М.В. Лапа. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2013. – 332 с.
158. Маловик К.Н. Нормирование компетентности экспертов / К.Н. Маловик // Сб. науч. трудов СНУЯЭиП. – Севастополь, 2012. – Вып. 3 (43). – С. 135 – 141.
159. Маловик К.Н. Инструментальное средство для оценивания компетентности экспертов на основе нечеткого отношения преимущества / К.Н. Маловик, И.А. Скатков // Зб. наук. праць Академії ім. П.С. Нахімова. – Севастополь: АВМС ім. Нахімова, 2012. – Вип. 2 (10). – С. 148 – 154.
160. Маловик К.Н. Корреляционно-регрессионный анализ ресурсных характеристик сложных изделий / К.Н. Маловик, И.А. Скатков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/4 (58). – С. 8 – 13.
161. Волівач Л.Л. Вплив дестабілізуючих факторів на засоби виявлення систем фізичного захисту ядерних об'єктів / Л.Л. Волівач, М.В. Лапа // Тези доповідей наук.-техн. конф. „Приладобудування–2011”. – К.: НТУУ”КПІ”, 2011. – С. 100–101.
162. Маловик К.Н. Прогнозирование времени предельного состояния сложных изделий / К.Н. Маловик // Сб. науч. трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2012. – Вып. 4 (44). – С. 153 – 166.
163. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965. – 452 с.
164. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – СПб.: Корона принт; М.: Автекс, 2004. – 384 с.
165. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский. – М.: Физматгиз, 1961. – 480 с.
166. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов; под ред. Большева Л.Н. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
167. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 472 с.
168. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики: в 2-х т. – Т. 1. Теория вероятностей и прикладная статистика: учебник / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.
169. Алиев Т.М. Вероятностные измерительно-вычислительные устройства / Т.М. Алиев, Г.С. Тер-Исраелов, А.А. Тер-Хачатуров. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 168 с.

170. Ловягин В.С. Программный комплекс для исследования чувствительности непараметрических критериев / В.С. Ловягин, К.Н. Маловик, А.В. Скатков // Системы обработки информации: сб. науч. работ. – Харьков, 2011. – Вып. 5 (95). — С. 79 – 83.
171. Задачи и модели исследований операций. – Ч. 3. Технологии имитации на ЭВМ и принятие решений: учеб. пособие / И.В. Максимей, В.Д. Левчук, С.П. Жогаль, В.Н. Подобедов. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 150 с.
172. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем искусство и наука: пер. с англ. / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
173. Бююль А. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: пер. с нем. / А. Бююль, П. Цефель. – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2001. – 608 с.
174. Гаскаров Д.В. Малая выборка / Д.В. Гаскаров, В.И. Шаповалов. – М.: Статистика, 1978. – 248 с.
175. Статистический анализатор малого числа наблюдений / Под ред. И.П. Демакова. – Л.: Ленинград, 1973. – 27 с.
176. Лемешко Б.Ю. О распределениях статистик непараметрических критериев согласия при оценивании по выборкам параметров наблюдаемых законов / Б.Ю. Лемешко, С.Н. Постовалов // Заводская лаборатория. – 1998. – № 3. – С. 61 – 72.
177. Скатков А.В. Анализ мощности непараметрических критериев при оценивании состояния объектов критического применения / А.В. Скатков, К.Н. Маловик, А.П. Луговская, В.С. Ловягин // Радиоэлектронные и компьютерные системы: науч.-техн. журнал.– Харьков: НАУ ХАИ, 2012. – Вып. 6 (58). – С. 271 – 275.
178. Скатков А.В. Принятие решений по управлению рисками при оценке состояния объектов критического применения на основе непараметрических критериев / А.В. Скатков, К.Н. Маловик, В.С. Ловягин // Вестник СевНТУ: сб. науч. трудов. Сер. Информатика, электроника, связь. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – № 131. – С. 55 – 63.
179. Информационные технологии для критических инфраструктур: моногр. / Под ред. А.В. Скаткова. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 306 с.
180. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р.И. Трухаев. – М.: Наука, 1981. – 258 с.
181. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 284 с.
182. Скатков О.В. Прийняття рішень з управління ризиками при оцінці стану об'єктів критичного застосування на основі нечітких суджень / О.В. Скатков, К.М. Маловік, В.С. Ловягін // Вісник Тернопільського

- націон. технік. ун-ту. – Тернопіль: ТНТУ, 2012. – Вип. 3 (67). – С. 261 – 271.
183. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Тэтано, К. Асаи, Сугэно. – М.: Мир, 1993.
 184. Панкевич О.Д. Определение причин появления трещин кирпичных конструкций на основе нечетких баз знаний / О.Д. Панкевич, И.В. Маевская // Известия вузов: Строительство. – 2002. – № 1 – 2. – С. 4 – 8.
 185. Панкевич О.Д. Диагностирование трещин строительных конструкций с помощью нечетких баз знаний / О.Д. Панкевич, С.Д. Штовба. [Электронный ресурс]. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 108 с. – Режим доступа: www.vinnitsa.com/shtovba/doc/mono_@.rar
 186. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
 187. Ротштейн А.П. Извлечение нечетких правил из экспериментальных данных с помощью генетических алгоритмов / А.П. Ротштейн, Ю.И. Митюшкин // Кибернетика и системный анализ. – 2000. – № 3. – С. 45 – 53.
 188. Штовба С.Д. Классификация объектов на основе нечеткого вывода / С.Д. Штовба // Exponenta Pro: Математика в приложениях. – 2004. – № 1. – С. 68 – 69.
 189. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
 190. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов [и др.]. – М.: ЗАО ФИД Деловой экспресс, 2002. – 368 с.
 191. Информационно-управляющие системы АЭС: проблемы безопасности / Под ред. М.А. Ястребенецкого. – К.: Техника, 2004. – 502 с.
 192. Бегун В.В. Культура безпеки на ядерних об'єктах України: навч. посібник / В.В. Бегун [та інш.]. – К., 2009. – 363 с.
 193. Ивашкин С.В. Методы научно-технического прогнозирования процесса развития организации / С.В. Ивашкин // Молодой ученый. – 2011. – № 5. – Т. 1. – С. 186 – 188.
 194. Кончинский Г.А. Безопасность атомных станций. Чернобыль. В прошлом, настоящем и будущем / Г.А. Кончинский, Н.А. Штейнберг. – К.: Основа – Принт, 2011. – 222 с.
 195. Злотин Б.Л. Законы развития и прогнозирования технических систем: метрологические рекомендации / Б.Л. Злотин, А.В. Зусман. – Кишинев: Карта Молдовенясиэ, 1989. – 144 с.
 196. Гугелев А.В. Инновационный менеджмент: учебник / А.В. Гугелев. – М.: Издат.-торг. корпорация Дашков и Ко, 2008. – 336 с.
 197. Острейковский В.А. Старение и прогнозирование ресурса оборудо-

- вания атомных станций / В.А. Острейковский. – М.: Энергоатом-стандарт, 1994. – 288 с.
198. К. Капур. Надежность и проектирование систем: пер. с англ. / К. Капур, Л. Ламсерсон; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
199. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
200. Червонный А.А. Надежность сложных систем / А.А. Червонный, В.И. Лукьяшенко, А.В. Котин. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.
201. Гудремович В.С. Насущная способность и долговечность элементов конструкций / В.С. Гудремович, Е.С. Переверзев. – К.: Наук. думка, 1981. – 284 с.
202. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ): учеб. пособие / В.В. Бегун [и др.]. – К., 2000. – 568 с.
203. Маловик К.Н. Сравнительный анализ принципов системного подхода к управлению качеством / К.Н. Маловик [и др.] // Сб. науч. трудов СНУЯЭиП. – Севастополь, 2002. – Вып. 7. – С. 136 – 142.
204. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции: сокр. пер. с англ. / А. Фейгенбаум; авт. предисл. и науч. ред. А.В. Гличев. – М.: Экономика, 1986. – 471 с.
205. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции / А.В. Гличев. – М.: РИА Стандарты и качество, 2001. – 424 с.
206. Карпов О.В. Индивидуальное прогнозирование параметров элементов и компонентов микросборок и узлов разноэлектронных устройств передачи информации: Дис. ... канд. техн. наук. / О.В. Карпов – Самара, 2005. – 207 с.
207. Куриленко Г.А. Контроль и прогнозирование индивидуального сопротивления усталости деталей машиностроения на основе кинетики пассивных тепловых полей: Дис. докт. техн. наук / Г.А. Куриленко. – Новосибирск, 2000. – 420 с.
208. Бойко Т.Г. Формування теоретичних та нормативно-технічних засад оцінювання якісного рівня продукції: Автореф. дис. ... докт. техн. наук / Т.Г. Бойко. – Львів, 2010. – 34 с.
209. Федін С.С. Розвиток наукових основ забезпечення якості складних виробів в умовах невизначеності: Автореф. дис. ... докт. техн. наук / С.С. Федін. – К., 2010. – 35 с.
210. Маловик К.Н. Методология синтеза автономной системы метрологического обеспечения атомных электростанций / К.Н. Маловик, В.Ю. Каминский // Сб. науч. трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2009. – Вып. 3 (13). – С. 16 – 20.
211. Пат. RU 2014626 с1. МКИ G01R31/28. Способ климатических испытаний электронной аппаратуры / К.Н. Маловик. – Оpubл. 1994, Бюл. № 11.

212. Пат. RU 2054688 с1. МКИ G01R31/30. Камера для электроклиматических испытаний / К.Н. Маловик. – Оpubл. 1996, Бюл. № 5.
213. Сергеев А.Г. Метрология: учеб. пособие для вузов / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. – М.: Логос, 2001. – 408 с.
214. Маловик К.Н. Оценивание вероятности наступления метрологических отказов измерительных каналов / К.Н. Маловик, А.В. Юдин // Системы обработки данных. – Харьков, 2008. – Вып. 4 (71). – С. 143 – 144.
215. Пат. UA 39761 U МПК (2009) H05K 10/00. Спосіб прогнозування технічного ресурсу елементів устаткування систем контролю та керування / К.Н. Маловик, А.В. Юдин. – Оpubл. 2009, Бюл. № 5.
216. Пат. UA 51036 U МПК (2009) H02K 9/19. Спосіб ідентифікації домішок у водяній системі охолодження / К.Н. Маловик, В.В. Никишин. – Оpubл. 2010, Бюл. № 12.
217. Портнягин Н.Н. Применение метода исключения варьируемого параметра при решении задач диагностирования / Н.Н. Портнягин, Г.А. Пюкке. – М: Академия естествознания, 2007.
218. Пат. Российской Федерации 2164344 G 01 M 15/00. Способ контроля и прогнозирования состояния газотурбинных двигателей, преимущественно двигателей с межвальными подшипниками / С.П. Зарицкий, В.Т. Дедеш, Н.А. Донковцев, О.А. Трифонова, Ю.С. Чёрный, Н.С. Вершинина, Ю.И. Калинин. – Оpubл. 20.03.2001.
219. РД ЭО 0419–02. Методические указания по определению технического состояния каналов водяного охлаждения обмоток статоров турбогенераторов.
220. Шинкевич О.К. Проблемы определения среднего срока службы оборудования / О.К. Шинкевич // Матер. науч. конф. молодых ученых и студентов «Инновации в экономике». – М.: ИЦ МГТУ Стенкин, 2007. – С. 21 – 25.
221. Дмитриев В.Ф. Оценка остаточного ресурса нефтепровода и планирования его капитального ремонта / В.Ф. Дмитриев, Г.Х. Мирзохонов, Г.А. Филиппов // Строительство трубопроводов. – 1997. – № 3. – С. 21 – 24.
222. Kopnov V.A. Intrinsic Fatigue Curves Applied to Damage Evaluation of Laminate and Fabric Materials / V.A. Kopnov // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 1997. – 26. – P. 169 – 176.
223. Абдулин И.Г. Коррозионно-механическая стойкость нефтегазовых трубопроводных систем: диагностика и прогнозирование долговечности / И.Г. Абдулин, А.В. Гареев, А.В. Мостовой. – Уфа: Гилем, 1997. – 177 с.
224. Белов В.П. Способы оценивания остаточного ресурса систем обеспечения безопасности / В.П. Белов, А.Д. Поляков, В.А. Сычев // Сб. докл. Междунар. конф. «Конструкционная прочность материалов и ресурс оборудования АЭС». – К., 2003.

225. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технологии неразрушающего контроля. Термины и определения: справ. пособие. – Сер. 28. – Вып. 4. – М.: Гос. предприятие «Научно-исследовательский центр по безопасности в промышленности Ростехнадзора России», 2003.
226. Попов И.А. Новые методы измерения теплогидравлических параметров в ядерной энергетике / И.А. Попов, Е.Н. Сычев // Сб. науч. трудов СНИЯЭиП. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2003. – Вып. 8. – С. 77 – 84.
227. Герлига В.А. Пузырьковые кипящие потоки в энергооборудовании АЭС / В.А. Герлига, В.И. Скалозубов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 432 с.
228. Измайлов А.В. Методы проектирования и анализа эффективности систем физической защиты ядерных материалов и установок: учеб. пособие / А.В. Измайлов. – М.: МИФИ, 2002. – 52 с.
229. Nuclear Security Recommendations on Radioactive Material and Associated Facilities. IAEA Nuclear Security Series 14. Vienna, IAEA, 2011.
230. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Оценка ущерба. Термины и определения». – ГОСТ Р 22.10.01–2001. – М.: Госстандарт России, 2001. – 12 с.
231. Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников. – МАГАТЭ. – Вена, 2004. – 24 с.
232. Nuclear Security Culture. IAEA Nuclear Security Series 7. Vienna, IAEA, 2008.
233. НП 083-07 Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов. – Москва.- НТЦ ЯРБ.- 2007 – 34с.
234. Лапа М.В. Методы оптимизации и модели принятия решений при гибком проектировании технологических процессов / М.В. Лапа // Открытые информационные и компьютерные технологии: Сб. науч. тр. – Вып. №28. – Харьков: Нац. аэрокосмич. ун-т, 2005. – С. 109 – 113.
235. Маловик К.Н. Развитие научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов: монография / К.Н. Маловик. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2013. – 332 с.
236. Карпова Т.С. Базы данных: модели, разработка, реализация: учебн. для вузов / Т.С. Карпова. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.
237. Поспелов Б.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Б.А. Поспелов. – М.: Наука. – 1986. – 32 с.
238. Математическая статистика: учебник / В.М. Иванова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1981. – 371 с.
239. ГОСТ Р 52860-2007 Технические средства физической защиты. Общие технические требования.- Москва.- Стандартинформ.- 2008 – 61с.

240. ГОСТ Р 50009-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства охранной сигнализации. Требования и методы испытаний. – М.: Издательство Стандартов, 2001. – 7 с.
241. ГОСТ Р 50016-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерений и контроля. – М.: Издательство Стандартов, 1993. – 60 с.
242. ГОСТ Р 50657-94 Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народнохозяйственного применения. Требования к допустимым отклонениям частоты. Методы измерений и контроля. – М.: Издательство Стандартов, 1994. – 23 с.
243. ГОСТ Р 50746-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства для атомных станций. Требования и методы испытаний. – М.: Издательство Стандартов, 2001. – 35 с.
244. НП-083-07. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к системам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов. – 2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/NP08307Trebovaniyaksistem.html>.
245. ГОСТ Р 51558-2000 Системы охранные телевизионные. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Издательство Стандартов, 2001. – 35 с.
246. ДСТУ 2860 – 94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ruk.at.ua/load/standarty/dstu/dstu_2860_94/41-1-0-358.
247. Лапа М.В. Шляхи підвищення конкурентоспроможності фахівців в галузі водневої енергетики / М.В. Лапа, О.М. Олейніков, В.В. Вишневецький //Тези доповідей наук. – звітної сесії Цільової комплексної програми наукових досліджень „Фундаментальні проблеми водневої енергетики”. – К.: НАНУ, 2010. – С. 87.
248. Авария на Чернобыльской АЭС: опыт преодоления. Извлеченные уроки/А.В. Носовский, В.Н. Васильченко, А.А. Ключников, Б.С. Пристер; Под ред. А.В. Носовского. – К: Техніка, 2006. – 264 с. + цв.вкл. на 32с. – (Безопасность атомных станций).
249. Закон Украины «О генеральной схеме планирования территории Украины». Киев, 2002. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uazakon.ru/zakon/zakon-o-sheme-planirovaniya-territorii.html>.
250. Закон Украины "О правовом режиме территории, которая подверглась радиоактивному загрязнению вследствие Чернобыльской катастрофы". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0-12>.

251. Нормативно-правовая база профориентационной работы / Информационный бюллетень – Самара: Изд-во ЦПО, 2010. – 68 с.
252. Закон України "Про охорону праці" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.
253. Закон України "Про захист навколишнього природного середовища" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/T126400.html.
254. Закон України "Про охорону атмосферного повітря" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>.
255. Закон України "Про екологічну експертизу" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/45/95-%D0%B2%D1%80>.
256. Закон України "Про пожежну безпеку" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/3745-12>.
257. Закон Украины "Об использовании ядерной энергии и радиационной защите" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/Z950039.html.
258. Закон Украины "О защите человека от воздействия ионизирующих излучений" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/Z980015.html.
259. Закон Украины "Об охране окружающей природной среды" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.kp-limit.kharkov.ua/laws.php?news_id=13&lang=2&loc=ua.
260. ДБН А.3.1-5-2009 "Управление, организация и технология. Организация строительного производства". – Киев: Минрегионстрой, 2011. – 67 с.
261. НПАОП 45.2-7.02-80 "Техніка безпеки в будівництві"
262. НП 306.2.141-2008 "Загальні положення безпеки атомних станцій" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08>.
263. НПАОП 0.03-1.76-89 "Правила радіаційної безпеки при експлуатації атомних станцій (ПРБ АС-89)".
264. ВБН А -342.002.000.001-01 "Нормативно-технічне забезпечення робіт на Об'єкті "Укриття". Основні положення".
265. НРБУ-97 "Норми радіаційної безпеки України"[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>.
266. НРБУ-97/Д-2000 "Доповнення до НРБУ-97. Радіаційний захист від джерел потенційного випромінювання". – Київ, 1997. – 127 с.
267. ДСП 6.177-2005-09-02 "Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>.

268. НПАОП 0.00-1.01-07 "Правила влаштування та безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів"[Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.bazismd.ru/kod000/oths/zu/npaot/k000/npaor-0-00-1-01-07>.
269. НПАОП 0.00-1.07-94 "Правила влаштування та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <http://document.ua/pravila-ustroistva-i-bezopasnoi-yekspluatacii-sosudov-rabota-nor5030.html>.
270. ГКД 34.20.507-2003. Правила технічної експлуатації електростанцій та теплових мереж. –Київ, 2003. – 476 с.
271. НПАОП 0.00-1.30-01 Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями. – Київ, 2001. – 168 с.
272. 8 П-С "Положение об оценке поставщиков услуг для Чернобыльской АЭС". – ГСП «ЧАЭС», 2002. – 50с.
273. "Вимоги до сторонніх підрядних організацій, які планують виконувати роботи на ДСП ЧАЕС" (инв.№ 12 от 07.04.2011 ПТС). – ГСП «ЧАЭС», 2011.
274. 18 П-С "Положение о допуске персонала сторонних организаций к выполнению работ (оказанию услуг) по снятию с эксплуатации энергоблоков и преобразованию объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему на территории и объектах ГСП ЧАЭС ". – ГСП «ЧАЭС», 2011. – 23с.
275. 48 П-С "Положение о проведении внешних аудитов систем (программ) качества поставщиков продукции, работ и услуг для ГСП "Чернобыльская АЭС". – ГСП «ЧАЭС», 2011. – 16с.
276. Положение о взаимодействии подразделений РБ Заказчика и Подрядчика при осуществлении радиационно-дозиметрического контроля работ по Контракту № SIP08-1-001. – ГСП «ЧАЭС», 2011. – 12с.
277. Программа качества ГСП "ЧАЭС" при реализации Плана осуществление мероприятий на объекте "Укрытие" . – ГСП «ЧАЭС», 2006. – 43с.
278. Жариков Э.С. Вступающему в должность: научно – популярный справочник для начинающего руководителя. – М., 1985.
279. Щекин Г.В. Как эффективно управлять людьми: психология кадрового менеджмента. – К.: МАУП, 1999.- 400 с.
280. Лапа М.В. Підвищення якості освітніх послуг з перепідготовки та підвищення кваліфікації / М.В. Лапа // Науково-технічний журнал «Стандартизація, сертифікація, якість». – 2011 – № 5 (72) – С. 41 – 48.
281. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
282. Лапа М.В. Конкурентоспроможність персоналу: навч.-метод. посібник / М.В. Лапа. – Чернігів: ЦППК працівників органів держ. влади,

- органів місцевого самоврядування, держ. підприємств, установ і організацій. – 2009. – 45 с.
283. Лапа М.В. Правові чинники та економічні стимули розвитку інтелектуальної власності в Україні: навч. посібник / М.В. Лапа. – Чернігів: ЦППК працівників органів держ. влади, органів місцевого самоврядування, держ. підприємств, установ і організацій. – 2008. – 83 с.
284. Славгородська О.Ю. Класифікація конкурентних переваг персоналу / О.Ю. Славгородська, В.Г. Щербак // Наукові праці ДонНТУ. Серія: економічна. – 2005. – Вип. 97. – С. 94 – 100.
285. ДСТУ ISO 10011-1-97 "Настанови щодо перевірки системи якості. Частина 1. Перевірка".
286. М.В.Лапа, І.А.Терещенко, І.В.Моспан. Облік та аналіз показників надійності технічних засобів фізичного захисту АЕС//Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції „Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем”. – Чернігів:ЧНТУ, 2014. – С. 273 – 276.
287. М.В.Лапа, І.А.Терещенко, І.В.Моспан. Прогнозирование остаточного ресурса технических средств физической защиты атомных электростанций Украины//Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : науковий збірник / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2014. – № 1 (71). – с.207-215.
288. Билык М.А., Лапа М.В. Управление строительством промышленных объектов в зоне радиационного загрязнения. Чернігівський науковий часопис Чернігівського державного інституту економіки і управління. Серія 2, Техніка і природа : електронний збірник наукових праць. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2012. – №1(3). – С.128 –137.
289. Програма мобілізації SIP.CSN.A1050.PM1.00.
290. План охорони труда и техники безопасности SIP.CSN.A1080.PM4.00
291. ППР Подготовительные работы по организации и устройству общестроительной площадки SIP.CSN.A3060.1D1.00.
292. ППР на монтаж и демонтаж основного крана SIP.CSN.A3010.2D1.00.
293. НПАОП 0.00-1.01-07 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ohrantruda.com/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=1815&Itemid=9.
294. ГОСТ 12.3.033-84. Система стандартов безопасности труда. Строительные машины. Общие требования безопасности при эксплуатации. – 2001. – 5 с.
295. ГОСТ 12.1.046-2014. ССБТ. Строительство. Нормы освещения строительных площадок. – Москва: Стандарт Информ, 2015. – 20 с.

296. М.В.Лапа, І.С. Печонкін, Сташкевич Н.М.Управління документацією при виконанні ремонтно-будівельних робіт//Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції „Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем”. – Чернігів:ЧНТУ, 2015. – С.192 – 194.
297. Білик М.О. Усовершенствование нормативной базы организации строительства промышленных объектов в зоне радиационного загрязнения: дис. магістра: 05.01.02 / Білик Марія Олександрівна. – Севастополь, 2012. – 169с.
298. ДБН Д.2.2-9-99. Збірник 9. Металеві конструкції [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroynote.com.ua/construction-regulations/document-534.html>.
299. М.В.Лапа, М.А. Цезарук, І.С. Печонкін, Є.В.Мирошниченко. Підвищення якості планування та проведення поточних і капітальних ремонтів виробничих будівель, споруд на АЕС//Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2013. – №(4)36. – С.156-163.
300. Бойцов Б.В.Антология русского качества/Б.В.Бойцов, Ю.В.Крянев, М.А.Кузнецов, В.Н.Азаров, Т.П.Павлова. Под ред.Бойцова, Ю.В.Крянева. – 4-е изд. Испр. И доп. – М.:Академия проблем качества, 2007. – 580с.: ил.
301. План ГСП ЧАЭС реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rbc.ua/rus/news/gsp-chernobylskaya-aes-razrabotalo-plan-deystviy-otnositelno-05072011130100>.
302. Закон України «Про підтвердження відповідності» від 17.05.2001р. №2406-111 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2406-14>.
303. Закон України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії» від 11.01.2000 №1370-XIV. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1370-14>.
304. Закон України «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності» від 01.12.2005 №3164-IV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/3164-15>.
305. Закон України «Про пожежну безпеку» від 17.12.1993 №3745-XII [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/3745-12>.
306. Закон України «Про радіочастотний ресурс України» від 01.06.2000 № 1770-III [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1770-14>.
307. Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 01.02.2005 №28 «Перелік продукції, що

- підлягає обов'язковій сертифікації в Україні» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0466-05>.
308. Постанова КМУ від 29.06.2004 № 816 «Про затвердження Тимчасового порядку підтвердження відповідності продукції іноземного походження, яка поставляється в рамках проектів міжнародної технічної допомоги для зняття з експлуатації енергоблоків Чорнобильської АЕС і перетворення об'єкту "Укриття" в екологічно безпечну систему» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-КМУ/type-Постанова/816-2004-п-29.06.2004.htm.
309. Закон України «Про захист прав споживачів» від 12.05.1991р. № 1023-12 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1023-12>.
310. Декрет КМУ «Про стандартизацію і сертифікацію» від 10.05.1993р. № 46-93 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/46-93>.
311. Постанова КМУ від 20.12.2006 р. N 1764 «Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-КМУ/type-Постанова/1764-2006-п-20.12.2006.htm.
312. Постанова КМУ «Про затвердження Правил підтвердження придатності нових будівельних виробів для застосування» від 1.03.2006 р. № 240 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/240-2006-п>.
313. Наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 20 березня 2006 року № 69 «Про затвердження Порядку проведення роботи з підтвердження придатності нових будівельних виробів для застосування в будівництві та Переліку нових будівельних виробів, що підлягають перевірці та підтвердженню придатності для застосування в будівництві» (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18 травня 2006р. за № 577/12451) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0577-06>.
314. Перелік регламентних технічних умов і будівельних норм, відповідність вимогам яких свідчить про відповідність вимогам Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/docs/tdoc12174.php>.
315. ДСТУ ISO 9000-2007 «Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/docs/tdoc12174.php>.
316. ДСТУ/ІЕС 17000:2007 «Оцінювання відповідності. Словник термінів і загальні принципи». – К.: Держпоживстандарт України, 2008. – 20 с.

317. ДСТУ 3413-96 «Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/sistema-sertifikaciyi-ukrsepro.-porjadok-provedennja-sertifi-nor9247.html>.
318. ДСТУ 1.3-2004 «Правила побудови, викладання, оформлення, погодження, прийняття та позначення технічних умов» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/docs/tdoc3874.php>.
319. ДСТУ 3414-96 «Система сертифікації УкрСЕПРО. Атестація виробництва. Порядок здійснення» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/docs/tdoc9238.php>.
320. ДСТУ 3415-96 «Система сертифікації УкрСЕПРО. Реєстр Системи» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/docs/tdoc9252.php>.
321. ДСТУ 3417-96 «Система сертифікації УкрСЕПРО. Процедура визнання результатів сертифікації продукції, що імпортується» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/docs/tdoc9254.php>.
322. ДСТУ 3498-96 «Система сертифікації УкрСЕПРО. Бланки документів. Форма та опис» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/docs/tdoc9249.php>.
323. ДСТУ/ISO/IEC 17050-1:2006 «Оцінювання відповідності. Декларація постачальника про відповідність. Часть 1. Загальні вимоги» [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
324. Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 01.02.2005 № 28 «Перелік продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0466-05>.
325. Постанова КМУ від 13.03.2002 № 288 «Про затвердження переліків центральних органів виконавчої влади, на які покладаються функції технічного регулювання у визначених сферах діяльності та розроблення технічних регламентів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=14280.
326. Постанова КМУ від 12.12.2002 № 1863 «Про затвердження Порядку ведення Української класифікації товарів зовнішньоекономічної діяльності» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://kodeksy.com.ua/norm_akt/source-КМУ/type-Постанова/1863-2002-п-12.12.2002.htm.
327. ДБН В. 1.2-6-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/docs/tdoc14286.php>.

328. ДБН В. 1.2-7-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека» [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dnaop.com/html/45254/doc-sistema-zabezpechennya-nadijnosti-ta-bezpeki-budivelnyih-objektiv-osnovni-vimogi-do-budively-i-sporudpozhezhna-bezpeka-dbn-v12-7>.
329. ДБН В. 1.2-8-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека життя і здоров'я людини та захист навколишнього природного середовища» [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://document.ua/docs/tdoc14288.php>.
330. ДБН В. 1.2-9-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації» [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energodom.org/zakonodatelno-normativnaya-baza-proektov/16-ukr/normuukr/74-dbn-9-2008>.
331. Мартыненко В.А. Разработка методики подтверждения соответствия продукции иностранного производства, закупаемой для реализации проекта «Новый Безопасный Конфаймент» /В.А.Мартыненко. – Севастополь, СНУЯиП. – 2012. – 106 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А.1 – Измерение параметров прибора Пион-В во время ТО за 2014 г.

Месяц	ПРИЕМНИК					ПЕРЕДАТЧИК				
	U _{пит.} , В	-20	U _{ус}	без АРУ	-10дБ	U _{пит.} , В	-20	I _{стаб}	U _{гпи}	I _{ген}
январь	24.5	19	4,7	5	8	24,5	20	4,3	27	5
февраль	24.5	20	4,8	5	9	24,5	21	4,3	27	5
март	25	20	4,8	5	8	25	21	4,2	27	6
апрель	24	20	4,6	5	8	24	21	4,2	28	5
май	25	20	4,7	6	8	25	20	4,2	27	6
июнь	25	20	4,8	7	8	25	20	4,2	27	5
июль	25	20	4,8	7	8	25	20	4,2	27	5
август	24	19	4,7	7	8	24	20	4,2	27	5
сентябрь	24.5	20	4,7	7	9	24,5	20	4,2	28	6
октябрь	24.5	20	4,8	7	9	24,5	20	4,2	28	6
ноябрь	24	20	5	7	9	24	20	4,2	28	6
декабрь	24	20	5	7	9	24	20	4,2	28	6

Таблица А.2 – Измерение параметров прибора Радиан-М при ТО за 2014 г.

Месяц	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Частота сигнала антенной системы, кГц	Сопротивление антенного кабеля, кОм	Напряжение стабилизатора, В	Напряжение баланса, В	Напряжение порогового устройства, В
январь	24	74	43,44	900	16	4	14
февраль	24	74	43,44	900	16	4	14
март	24	74	43,44	900	16	4	14
апрель	25	75	43,44	1500	16	4	14
май	25	75	43,44	1500	16,5	5	15
июнь	25	75	43,44	1500	16,5	5	15
июль	25	75	43,44	1500	16,5	5	15
август	25	75	43,44	1500	16,5	5	15
сентябрь	24	74	43,44	900	16	4	14
октябрь	24	74	43,44	900	16	4	14
ноябрь	24	74	43,44	800	16	4	14
декабрь	24	74	43,44	900	16	4	14

Приложение Б

Оценка состояния средств связи ядерного объекта

Таблица Б1 – Состояние средств связи

Показатель качества	Оценка			
	«отлично»	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
1 Обеспеченность исправными абонентскими устройствами, %	100	100	≥ 95	< 95
2 Обеспеченность исправными средствами тревожной сигнализации, %	100	90	≥ 80	< 80
3 Расстояние между абонентскими устройствами (метры)	≤ 120	≤ 150	≤ 200	> 200
4 Обеспеченность исправными стационарными устройствами, %	100	100	≥ 95	< 95

ЗАДАНИЕ
на практическое занятие

ТЕМА: расчет экономического эффекта от продления срока эксплуатации СИТ

ЦЕЛЬ: научить студентов рассчитывать экономический эффект от продления срока эксплуатации СИТ

Основной задачей, ставящейся при выполнении данной работы является определение затрат и источников образования экономического эффекта от продления срока эксплуатации СИТ. Работа носит расчетный характер.

Перечень вопросов подлежащих закреплению
на практическом занятии:

1. Показатели надежности приборов.
2. Метрологические и неметрологические отказы.
3. Необнаруженные отказы.
4. Показатели долговечности СИТ. Факторы, влияющие на долговечность СИТ.
5. Методы оценивания остаточного ресурса СИТ.
6. Источники формирования экономического эффекта от продления срока эксплуатации СИТ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход /Ф. Байхельт, П. Франкен: пер.с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 394 с.
2. Антонов А.В. Оценивание, прогнозирование и управление ресурсными характеристиками оборудования АЭС /А.В. Антонов, А.В. Дагаев //Сб. науч. тр. кафедры АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2009. – С. 10 – 16.
3. Маловик К.Н. Системное исследование ресурсных характеристик компонентов энергоблоков АЭС// Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП. – 2011. – № 4. – С. 40-41.

Практическое занятие

ТЕМА: Расчет экономического эффекта от продления срока эксплуатации СИТ

ЦЕЛЬ: научить студентов выполнять расчет экономического эффекта от продления срока эксплуатации СИТ.

ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

1. Вводная часть 5 мин.

Для обеспечения функционирования системы эксплуатации необходимо оснащение метрологических и ремонтных органов соответствующим оборудованием, ЗИП, создание обменных фондов, выделение требуемого количества оперативного персонала. В связи с этим общие среднегодовые затраты на эксплуатацию необходимого количества СИТ N_m с требуемым уровнем метрологической надежности вычисляется по формуле:

$$C_{\Sigma} = \frac{N_m}{K_2} \left(\frac{C_{cu}(1-K_2)}{T_{cl}} + C_3 \right) + C_n + C_p + C_{зд} + C_{он} + C_m,$$

где C_{cu} – стоимость СИТ;

N_m – количество СИТ;

K_2 – коэффициент использования оборудования;

T_{cl} – срок службы СИТ;

C_3 – среднегодовые затраты на ЗИП к одному СИТ;

C_n, C_p – соответственно среднегодовые затраты на поверочное и ремонтное оборудование;

$C_{зд}$ – среднегодовая стоимость амортизации основных и подсобных помещений метрологических и ремонтных органов;

$C_{он}$ – среднегодовые затраты на содержание персонала метрологических и ремонтных органов;

C_m – среднегодовые затраты на транспортирование СИТ к местам проверки и ремонта.

Среднегодовые затраты на поверочное и ремонтное оборудование могут быть определены по формуле

$$C_n + C_p = \sum_{i=1}^{\Phi} \left(\frac{C_i}{T_{cli}} + 8760 \times C_{эл} P_{эi} K_{ui} \right) f_i,$$

где Φ – число видов оборудования, необходимое для обеспечения технической эксплуатации СИТ;

C_i – стоимость единицы i -го оборудования;

T_{cli} – срок службы i -го оборудования;

$C_{эл}$ – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии;

$P_{эi}$ – количество электроэнергии, потребляемой в час единицей i -го оборудования;

K_{ui} – коэффициент использования i -го оборудования;

f_i – требуемое количество i -го оборудования.

Среднегодовая стоимость амортизации помещений рассчитывается по формуле:

$$C_{зд} = C_{см} / T_{сл.з} ,$$

где $C_{см}$ – затраты на строительство зданий метрологических и ремонтных подразделений на АЭС;

$T_{сл.з}$ – срок службы зданий.

Среднегодовые затраты на ЗИП к одному СИТ рассчитываются по формуле:

$$C_{зип} = C_{ки} / T_{зип} ,$$

где: $C_{ки}$ – стоимость ЗИП для одного СИТ;

$T_{зип}$ – срок, на который рассчитывается комплект ЗИП, 10 лет.

Среднегодовые затраты на содержание работников, выполняющих работы по продлению ресурса рассчитываются по формуле:

$$C_{он} = 12 \sum_{i=1}^n C_{oi} N_i \left(1 + \frac{C_{вз} + D_з}{100} \right) ,$$

где: n – количество видов специалистов, участвующих в i -х работах по поверке (ремонту);

C_{oi} – месячный оклад специалиста i -го вида;

N_i – количество специалистов i -го вида;

$D_з$ – премии, обычно (8-10)%;

$C_{вз}$ – начисление на социальное страхование.

Среднегодовые затраты на транспортировку СИТ к местам поверки и ремонта оцениваются по формуле

$$C_m = \sum_{i=1}^n L_i C_{ci} ,$$

где: L_i – общая продолжительность транспортирования СИТ i -м видом транспорта;

C_{ci} – стоимость одного часа транспортирования СИТ i -м видом транспорта.

Экономический эффект от продления срока службы составляет:

$$\Delta = C_{\text{э}1} - C_{\text{э}2};$$

где $C_{\text{э}1}$ – общие среднегодовые затраты на эксплуатацию СИТ при сроке службы x лет;

$C_{\text{э}2}$ – общие среднегодовые затраты на эксплуатацию СИТ при сроке службы y лет.

Для выполнения работы Вам в соответствии с номером бригады будут выданы варианты 1-4 для выполнения.

2. Основная часть

- 2.1. Опрос студентов по вопросам задания и разбор материала предложенного на самостоятельную подготовку 20 мин.
 2.2. Выдача вариантов задания 5 мин.
 2.3. Выполнение практической части ПЗ 25 мин.
 2.4. Выводы 5 мин.
 2.5. Защита отчетов по практическому занятию 15 мин.

ХОД РАБОТЫ.

Исходные данные для расчета экономического эффекта от продления срока эксплуатации СИТ приведены в таблице В8.

Таблица В8

Наименование показателя	Обозначение	Единицы измерения	Вариант			
			1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7
1. Стоимость СИТ	$C_{\text{си}}$	грн	59000	57200	555	158
2. Количество СИТ	N_m	шт	1	2	80	300
3. Коэффициент использования оборудования	K_z		0,1	0,1	0,1	0,1
4. Сроки службы СИТ	$T_{\text{сл}}$	лет	10; 12	10,13	12; 14	10;11
5. Стоимость ЗИП для одного СИТ	$C_{\text{ки}}$	грн	335	330	50	25
6. Срок, на который рассчитывается комплект ЗИП	$T_{\text{зип}}$	лет	10	10	10	10

Наименование показателя	Обозначение	Единицы измерения	Вариант			
			1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7
7. Число видов оборудования, необходимое для обеспечения технической эксплуатации СИТ	Φ	шт	7	5	2	3
8. Стоимость единицы i -го оборудования	C_i	грн	470,6	440	455,4	200
9. Срок службы i -го оборудования	T_{cni}	лет	10	10	10	10
10. Стоимость 1 кВт/ч электроэнергии	$C_{эл}$	грн	Согласно существующих тарифов			
11. Количество электроэнергии, потребляемой в час единицей i -го оборудования	$P_{эi}$	кВт	2	2,5	0,5	0,1
12. Коэффициент использования i -го оборудования	K_{ui}		0,12	0,12	0,12	0,12
13. Требуемое количество i -го оборудования	f_i	шт	1	2	1	2
14. Затраты на строительство зданий метрологических и ремонтных подразделений	$C_{зд}$	грн	6000000	5500000	5000000	4000000
15. Срок службы зданий	$T_{сл.зд}$	лет	50	50	50	50
16. Количество категорий специалистов, участвующих в i -х работах по поверке (ремонту)	n	3	3	3	2	1
17. Месячный оклад специалиста i -й категории	C_{oi}	грн	По статистическим данным для отрасли и региона			
18. Количество специалистов i -й категории	N_i	чел	1	1	1	1
19. Общая продолжительность транспортирования СИТ i -м видом транспорта	L_i	ч	3	2	2	1
20. Стоимость одного часа транспортировки СИТ i -м видом транспорта.	$C_{чи}$	грн	Согласно существующих тарифов			

ВЫВОД

Приведенные выше критерии оценки эффективности технической эксплуатации СИТ и способы определения их значений дают возможность количественно оценить целесообразность проведения тех или иных мероприятий по совершенствованию процессов поверки, технического обслуживания и восстановления средств измерительной техники. Благодаря этому появляется возможность объективно взвешивать и обосновывать различные варианты организации поверочных и ремонтных работ, эффективность внедрения новых методов и средств обслуживания СИТ. Некоторые из возможных путей совершенствования метрологического обеспечения эксплуатации СИТ анализируются с помощью вышеприведенных критериев.

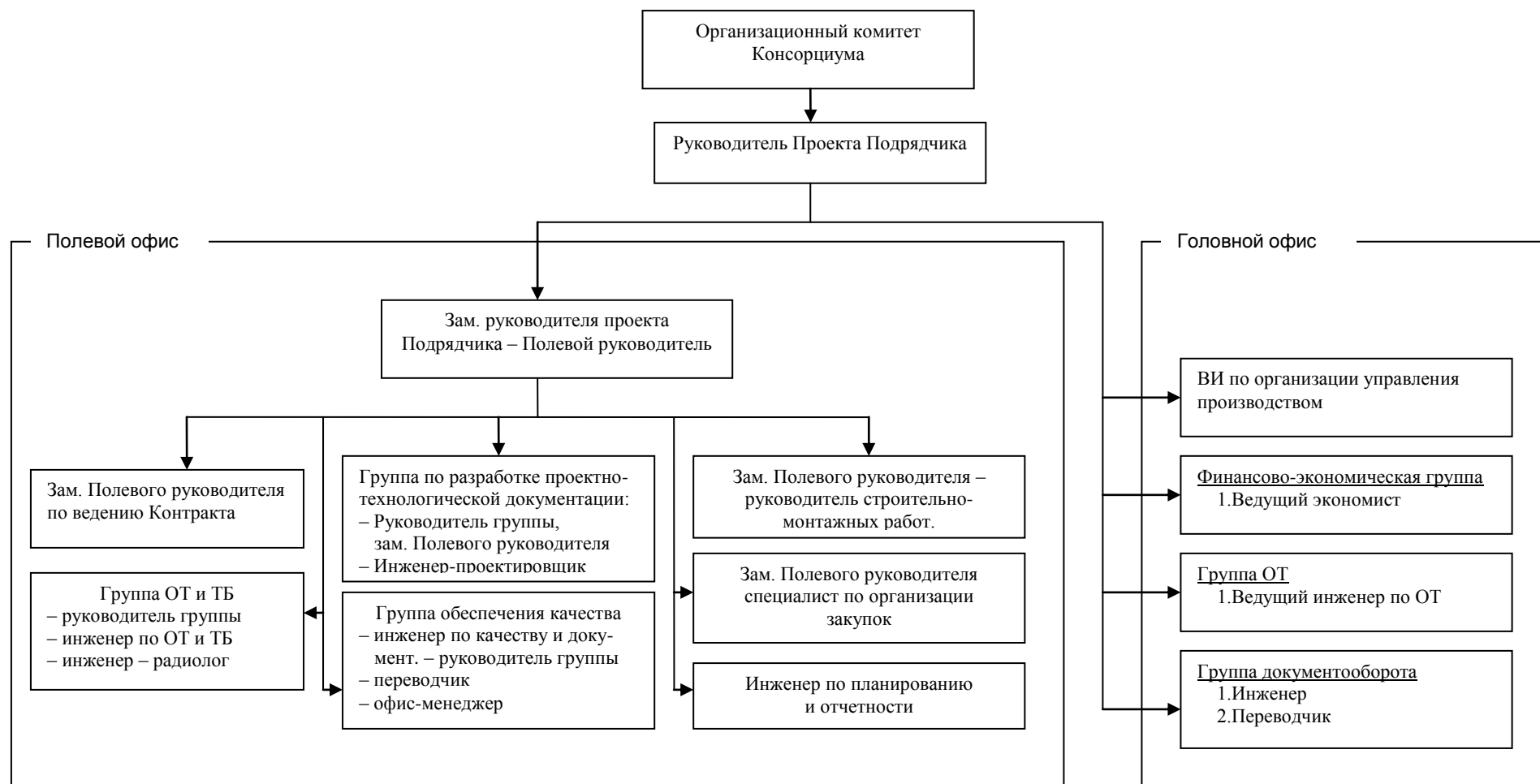
Исходя из формулы для вычисления общих среднегодовых затрат на эксплуатацию СИТ, можно сделать вывод, что затраты на эксплуатацию находятся в обратной зависимости от срока службы СИТ. Чем больше назначенный срок службы СИТ, тем меньше затраты на его эксплуатацию. Отсюда вытекает экономическая эффективность выполнения работ по увеличению срока службы или продлению назначенного ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маловик К.Н. Системное исследование ресурсных характеристик компонентов энергоблоков АЭС// Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – Севастополь: СНУЯЭиП. – 2011. – №4. – С.40 – 41.
2. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход /Ф. Байхельт, П. Франкен: пер.с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 394 с.
3. Антонов А.В. Оценивание, прогнозирование и управление ресурсными характеристиками оборудования АЭС /А.В. Антонов, А.В. Дагаев //Сб. науч. тр. кафедры АСУ. – Обнинск: ИАТЭ, 2009. – С. 10 – 16.
4. Лапа М.В. Розвиток наукових основ підвищення якості експлуатації інженерно-технічних засобів систем фізичного захисту ядерних об'єктів: монографія / М.В. Лапа. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2013. – 332 с.

Приложение Г

Организационная структура для управления проектом



Стандартизованная методика оценки конкурентоспособности руководителей. Инструкция

1. Внимательно читая стандартизованные высказывания методики (таблицы Д.1-Д.8), сравните их с особенностями, способностями, умениями, качествами человека, который характеризуется Вами, и интуитивно определите частоту их проявления в его работе (РК). Результаты зафиксируйте в соответствующих графах. Например, Вы считаете, что умение отличать мысль от фактов у оценивающего определяется средней частотой (С). Это значит, что в соответствующей графе бланка "Мнение руководителя" Вы должны отметить именно эту частоту (0,4 или 0,6).

2. Исполняете те же действия, что и в п. 1, только с той разницей, что теперь оцените не частоту проявления особенностей исследуемого в реальной практической работе, а его потенциальные возможности (ПВ).

3. Действуйте так же, как и в п. 1, оцените требования в работе, которую приходится (придется) исполнять исследуемому (ТР).

Примечание. Оценки трех этапов должны быть использованы разными цветами или разными знаками.

Условные обозначения: Н (никогда), Р (редко), С (средне), Ч (часто), В (всегда), СБ (средний бал).

Таблица Д.1 – Бланк «Мышление руководителя»

Мышление руководителя												
При решении управленческих задач характеризуемый мыслит:	Частота проявления											
	Н	Р			С			Ч			В	СБ
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Проблемно (способен "в зародыше" обнаруживать трудности и определять пути их преодоления)												
Системно (умеет охватывать объект со всех сторон, учитывать все факторы, влияющие на достижение поставленных целей)												
Опережающе (предвидит последствия принимаемых решений)												
Профессионально (применяет знания в соответствии с деловой необходимостью независимо от наличия или отсутствия заданий)												
Антиномично (способен использовать в интересах дела предложения, противоположные своей точке зрения)												
Протоколно (умеет отличать мнение от фактов)												
Безынерционно (накопленный опыт и знания не мешают ему принимать оригинальные решения при рассмотрении новых проблем)												
Кибернетично (способен ставить задачи для человеко-машинных комплексов)												
Оперативно (быстро реагирует на изменение производственной обстановки)												
Методично (умеет последовательно, не отклоняясь от намеченной цели, осмысливать производственные ситуации)												
РК= ПВ= ТР=												

Таблица Д.2 – Бланк «Умение принимать решения»

Умение принимать решения													
Руководитель:	Частота проявления												
	Н		Р			С			Ч			В	СБ
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0		
Для подготовки важных решений привлекает коллектив													
Ответственность за реализацию ключевых решений в целом берет на себя													
Право принимать решения в подразделениях и ответственность за их реализацию делегирует руководителям подразделений													
Решения принимает для преодоления реальных проблем производства													
Решения по крупным проблемам принимает на основе превентивного (прогнозного) анализа производственных проблем													
Решения принимает быстро													
Для подготовки управленческих решений использует современную технику													
Решения принимает смело													
При подготовке решений применяет экономико-математические методы													
Принимает на себя ответственность за неприятые решения по не порученным руководством, но полезным для производства вопросам													
РК= ПВ= ТР=													

Таблица Д.3 –Бланк «Компетентность руководителя»

Компетентность руководителя												
В процессе управленческой работы использует:	Частота проявления											
	Н	Р			С			Ч			В	СБ
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Знание директивных документов, связанных с развитием производства и управления												
Профессиональные знания												
Знания в области теории управления												
Знания в области социальной психологии												
Знания в области научной организации труда												
Знания, получаемые в результате социально-психологических обследований своего коллектива												
Юридические знания												
Информацию из периодической печати												
Зарубежный технический опыт												
Зарубежный опыт управления												
РК=												
ПВ=												
ТР=												

Таблица Д.4 – Бланк «Функциональные особенности руководителя»

Функциональные особенности руководителя													
Руководитель:	Частота проявления												
	Н	Р			С			Ч			В	СБ	
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0		
Работает по плану (умеет противостоять текучке)													
Использует право на изменение структуры управляющей системы в соответствии с изменениями функций													
Умеет организовывать людей на выполнение принятых решений													
Отменяя какие-либо решения подчиненных, предлагает более совершенные решения													
Обеспечивает высокие показатели в использовании фактического рабочего времени													
Выполнение решений способен проводить в жизнь как реализацию воли коллектива													
Умеет обеспечить синхронность в работе всех производственных подразделений предприятия													
Обеспечивает высокую эффективность процесса сменности оборудования													
Оценивает результаты работы коллектива не только по выполнению плановых заданий, но и по потенциалу													
Умеет менять стиль управления в зависимости от условий													
РК=													
ПВ=													
ТР=													

Таблица Д.5 – Бланк «Стимулы»

Стимулы												
Побуждения руководителя:	Частота проявления											
	Н	Р			С			Ч			В	СБ
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Стимулы материального обеспечения												
Стремление повысить уровень комфорта												
Заинтересованность в результатах труда												
Потребность в управленческой работе												
Стремление к славе												
Привычка выполнять определенную работу												
Чувство ответственности перед людьми												
Стремление к самоутверждению												
Осознание своих способностей успешно осуществлять управленческую работу												
Стремление занять определенное место в социальной структуре общества												
РК= ПВ= ТР=												

Таблица Д.6 –Бланк «Отношение руководителя к работе»

Отношение руководителя к работе												
Руководитель:	Частота проявления											
	Н	Р			С			Ч			В	СБ
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Готов работать сверх нормированного времени, если в этом есть необходимость												
Срывы и неполадки в работе воспринимает как личные неудачи												
Поддерживает любые начинания, способствующие повышению уровня развития производства												
Не прекращает работу, пока она не завершена												
Заботится как о количественных, так и о качественных результатах труда												
При решении любых управленческих вопросов на первое место ставит интересы дела												
Умеет работать продуктивно на неинтересном участке работы												
Если выдается свободное время в течение рабочего дня, активно ищет работу												
Делает больше, чем требуют должностные инструкции												
Систематически воспитывает коллектив в духе добросовестного отношения к работе												
РК= ПВ= ТР=												

Таблица Д.7– Бланк «Психические особенности руководителя»

Психические особенности руководителя												
Руководитель:	Частота проявления											
	Н	Р			С			Ч			В	СВ
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Настойчив (напорист) в достижении целей												
Способен к разумному риску												
Терпелив (готов долго и качественно выполнять однообразную трудную работу)												
Инициативен (способен без внешнего побуждения выдвигать и реализовывать конструктивные решения)												
Консервативен (не дает увлечь себя нереальными предложениями)												
Способен к эмпатии (умеет видеть свои действия и их результаты глазами других людей)												
Адаптивен (способен приспосабливаться к изменяющимся условиям)												
Управляет собой (умеет сдерживаться в сложной эмоциональной обстановке и настаивать на любую работу)												
Надежен (внутренне настроен на выполнение своих обязательств)												
Практически здоров												
Выдержан и вежлив с людьми												
РК=												
ПВ=												
ТР=												

Таблица Д.8 – Бланк «Этические характеристики»

Этические характеристики													
Руководитель:	Частота проявления												
	Н		Р			С			Ч			В	СБ
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0		
В конфликтной ситуации остается на принципиальных позициях													
Замечания о недостатках в работе делает по мере их обнаружения													
Требую выполнения каких-либо норм и правил, стремится строго соблюдать их сам													
Самокритичен													
Не пользуется сомнительными источниками информации о сотрудниках													
Оценку предложений сотрудников дает независимо от личных симпатий и антипатий													
Вовремя отказывается от своих неверных решений													
Оценивая людей, отделяет случайное (наносное) от главного, существенно-													
Ни публично, ни один на один не повторяет критических замечаний в адрес человека, исправившего ошибку													
Бдительно относится к тем, кто его хвалит. Ищет мотивы их действий													
РК= ПВ= ТР=													

Приложение Е

Протокол входного контроля знаний

Подразделение _____

Должность, на которую будет проводиться подготовка _____

Кандидат _____

Ф.И.О. кандидата на должность

Метод проведения входного контроля _____

письменное тестирование, устный опрос, др.

В процессе проведения входного контроля знаний кандидату на должность были заданы вопросы по следующим темам:

название темы

Рассматриваемые вопросы:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

Заключение: _____

указать необходимость разработки индивидуальной программы подготовки

Рекомендуется: _____

Лицо, проводившее входной контроль _____ / И.О.Фамилия /

подпись

« _____ » _____ 201_ г.

С протоколом ознакомлен _____ / И.О.Фамилия /

подпись

« _____ » _____ 201_ г.

Блок-схема ПВУ «Управление человеческими ресурсами»



ПВУ «Управление человеческими ресурсами» включает:

1. Определение потребностей в персонале

Анализ, оценивание устойчивости и временных параметров:

- новых видов продукции;
- новых показателей качества продукции;
- рынка продукции;
- новых технологий;
- возможности расширения рынка продукции;
- рынка труда;
- ресурсов.

2. Подбор нового персонала

Поиск новых сотрудников с помощью:

- газет;
- интернета;
- информации от сотрудников;
- биржи труда и агентств;
- предварительное оценивание квалификации;
- решение тестовых контрольных заданий;
- определение статуса сотрудника (постоянный или временный);

3. Определение потребностей в подготовке персонала:

- планирование подготовки;
- сфера подготовки;
- количество специалистов.

4. Обеспечение подготовки:

- курсы;
- стажировка в Украине;
- зарубежные стажировки;
- учебные заведения;
- аттестация персонала в органах Гостехнадзора;
- проверка аккредитации и лицензий учебного заведения;
- подготовка заявки.

5. Ведение учёта подготовки:

- предмет обучения;
- место обучения;
- список обучаемых кадров;

- продолжительность обучения;
- тип документа выдаваемого после обучения.

6. Оценка эффективности подготовки:

- установление периода оценивания;
- наличие сертификатов, дипломов и свидетельств;
- проведение периодического тестирования и аттестации персонала;
- отчёты специалистов о деятельности за период.

7. Непрерывное обеспечение осознания:

- важности соответствия политике в области качества и требования к системе менеджмента качества;
- влияние деятельности на качество продукции;
- увеличение прибылей от улучшения работы персонала;
- потенциальных последствий отклонения.

8. Аспекты управления персоналом:

- стимулирование персонала;
- разработка и установление критериев стимулирования персонала;
- установление связи «качество продукции – стимул»;
- решение социальных вопросов;
- мотивация персонала;
- соблюдение профессиональных этических норм.

9. Ведение документации по подготовке, уровню мастерства и опыта:

- отчёт по кадровой политике;
- планы подготовки персонала;
- копии дипломов, сертификатов, удостоверений и т.д.

Наукове видання

**Марина Володимирівна Лапа
Костянтин Миколайович Маловик**

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕСУРСОСПРОМОЖНОСТІ
КРИТИЧНО ВАЖЛИВИХ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ**

М о н о г р а ф і я

(російською мовою)

Відповідальний за випуск *Г. Є. Лискова*
Комп'ютерна верстка *Л. Г. Джугань*

Підписано до друку 17.06.2016 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Times.
Ум. друк. арк. 20,23. Тираж 300 прим. Зам. № 16060001

ТОВ «Видавництво «ІНДУСТРІЯ»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців ДК № 2761 від 14.02.2007 р.
61070 м. Харків, а/с 10070, тел.: (057) 75-65-069
