

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НК И ТД ДЛЯ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ (СЕРТИФИКАЦИИ) СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ю. К. БОНДАРЕНКО, М. Л. РАДЧЕНКО

Разработана система мероприятий по обеспечению качества, которая обеспечивает снижение отрицательного влияния сварочных напряжений и деформаций, возникающих при сварке конструкций. Исследован и разработан алгоритм НК и ТД при мониторинге конструкции в сварочном производстве. Разработана документация по качеству сварных конструкций, которая выполняется в виде процедур испытаний и критериев. Исследована модель корректирующих и предупреждающих действий для решения проблем, возникающих в сварных конструкциях. Проведены исследования и анализ этапов выполнения мониторинга сварной конструкции при НК и ТД. Доказана целесообразность использования концепции и методологии, исключающей возможность негативных последствий от недостоверных результатов измерений. Отклонение от достоверного результата или события сопровождается риском, который должен быть описан в документации.

A system of measures on quality assurance has been elaborated, which ensures a lowering of the adverse influence of welding stresses and strains arising in welding of structures. An algorithm of NDT and TD at monitoring of structures in welding fabrication has been developed and studied. Documentation on welded structure quality has been developed, which is implemented in the form of testing procedures and criteria. A model of corrective and preventive measures has been studied to solve the problems arising in welded structures. Investigations and analysis of the stages of performance of welded structure monitoring at NDT and TD have been conducted. The rationality of using the concept and methodology eliminating the possibility of negative consequences arising from invalid measurement results has been proved. Deviation from a valid result or event is accompanied by a risk, which should be described in the documentation.

При сварке в конструкциях возникают сварочные деформации и напряжения, которые в большинстве случаев существенным образом влияют на их эксплуатационно-технологические показатели [1, 2].

На основе глубокого и всестороннего анализа сложных деформационно-силовых процессов, протекающих при сварке в конструкции, разработана система мероприятий, которая обеспечивает снижение отрицательного влияния сварочных напряжений и деформаций.

В процессе сварки и последующего охлаждения в сварном соединении протекают сложные термдеформационные процессы, обуславливающие образование временных напряжений, которые после охлаждения переходят в остаточные [1, 3]. Одним из важнейших процессов является анализ причин образования остаточных напряжений в сварном соединении (конструкции).

Для обеспечения уверенности в том, что сварная конструкция соответствует требованиям на всех стадиях производства и эксплуатации, определения несоответствий изделий на ранних стадиях, а также разработки корректирующих воздействий и улучшения процессов сварки используется процедура **мониторинга**.

При мониторинге в сварочном производстве применяется следующая последовательность действий.

1. Разработка для каждой из последующей стадии отдельного плана или процедуры:

- входного контроля и испытаний с учетом уровня испытаний, выполняемого поставщиком (рис. 1);
- технологического контроля и испытаний в процессе производства;
- окончательного контроля и испытания.

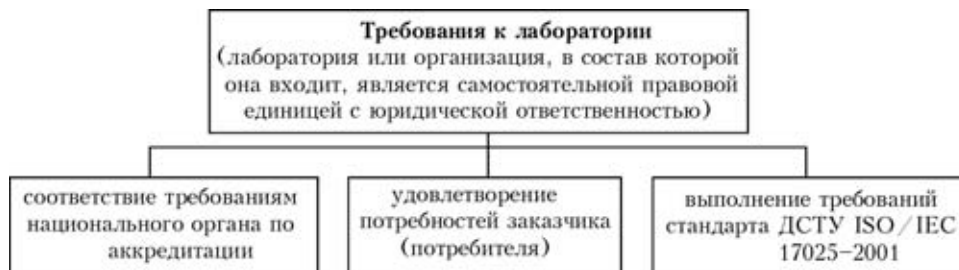


Рис. 1. Требования к испытательной лаборатории согласно ДСТУ ISO/IEC 17025-2001



Рис. 2. Модель корректирующих и предупреждающих действий для решения проблем в сварных конструкциях



Рис. 3. Образцы сварных соединений, полученные при механических испытаниях и применяемые для корректирующих действий при ремонте

2. Разработка политики качества при изменениях.

3. Определение категории сварных конструкций.

4. Определение перечня дефектов для оценки качества конструкции.

5. Разработка процедуры анализа выполнения специальных требований нормативных документов (НД) (рис. 2).

6. Обеспечение наличия в технологическом процессе производства сварной конструкции актуализированных процедур испытаний.

7. Обеспечение идентификации изделий, предназначенных для отправки потребителю и проведение мониторинга, составление протоколов испытаний.

8. Обеспечение выпуска продукции потребителю после завершения испытаний и регистрации результатов в протоколах.

9. Проведение мониторинга и при необходимости пересмотр/улучшение процедуры НК и ТД.

10. Выполнение оценки пересмотра процедур НК и ТД по результатам испытаний.

Необходимая документация по качеству сварных конструкций выполняется в виде процедур испытаний и критериев [4]:

- входного контроля и испытаний;
- контроля и испытания в процессе производства;

– контроля и испытания готовых конструкций (рис. 3, 4).

Необходимые записи по качеству для технического эксперта выполняют в виде протоколов с результатами входного испытания и контроля (технологического) в процессе производства, готовой сварной конструкции.

Для проведения мониторинга измерений (рис. 5) на стадиях ремонта, изготовления сварной конструкции, при НК и ТД для сертификации сварных конструкций необходимо использовать требование стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025–2001. Требованиям стандарта должны соответствовать испытательные лаборатории (рис. 1), которые обеспечат функционирование экспертных систем при НК и ТД сварных конструкций [5].

Систему, объединяющую знания, опыт технического эксперта и возможности анализа (с по-

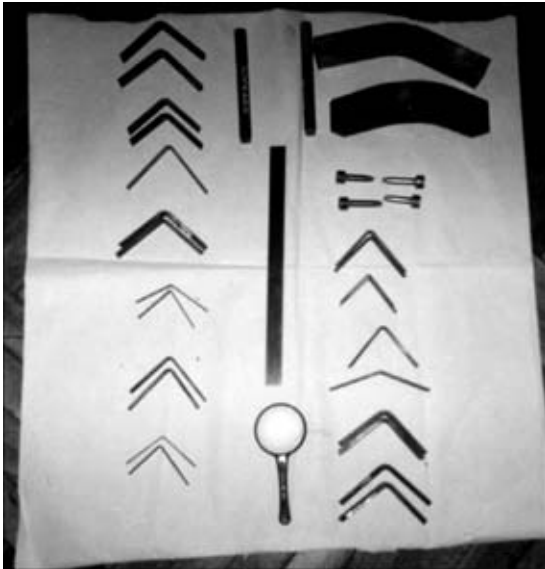


Рис. 4. Результаты испытаний сварных соединений технологических трубопроводов ТЭЦ

мощью персонального компьютера) в форме, которая предлагает рекомендации или решения проблем безопасности для оценки состояния объектов называют экспертной системой [6, 7] (рис. 6).

Основными методами работы технического эксперта, работающего с помощью экспертной системы (оценка объектов, исчерпавших индивидуальный ресурс), являются:

- наблюдение за состоянием сварной конструкции;
- опрос персонала в организации;
- сбор объективных доказательств — испытания (протокол);
- анализ результатов испытаний (составление «Экспертного висновка»).

Главным требованием к экспертному доказательству, полученному после мониторинга, является его **достоверность** и **достаточность**. Доказательство считается достоверным, если оно достойно доверия эксперта и является правдоподобным. Достаточность доказательства определяется его убедительностью, что зависит от компетентности эксперта и испытательной лаборатории [2, 8].

На практике выполнение требования постоянного улучшения при мониторинге сварной конструкции зачастую вызывает затруднения в испытательной лаборатории НК и ТД. В этой ситуации целесообразно использовать концепцию и методологию, исключающую возможности негативных последствий от недостоверных результатов измерений. Возможность отклонения от достоверного результата или события обусловлена риском, который описан в ряде стандартов [9].

Сочетание вероятности события и его последствий является **риском**.

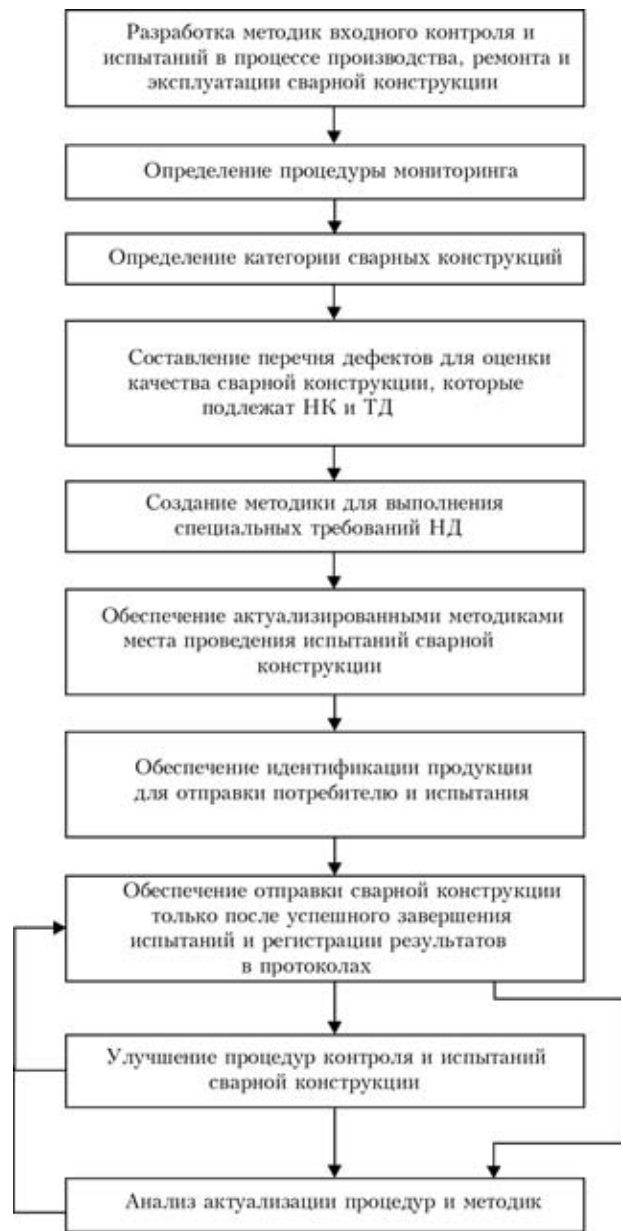


Рис. 5. Последовательность выполнения мониторинга сварной конструкции

Менеджмент риска — скоординированные действия по руководству и управлению в испытательной лаборатории в отношении риска.

Анализ риска — систематическое использование информации при мониторинге для определения источников и количественной оценки риска.

Оптимизация риска — процесс, связанный с риском, направленный на минимизацию негативных и максимальное использование позитивных последствий и соответственно их вероятности.

Цикличный процесс **анализа риска** должен включать шесть следующих этапов [10]:

- определение области применения;
- идентификация опасности и предварительная оценка последствий;
- оценка величин риска каждой опасности;

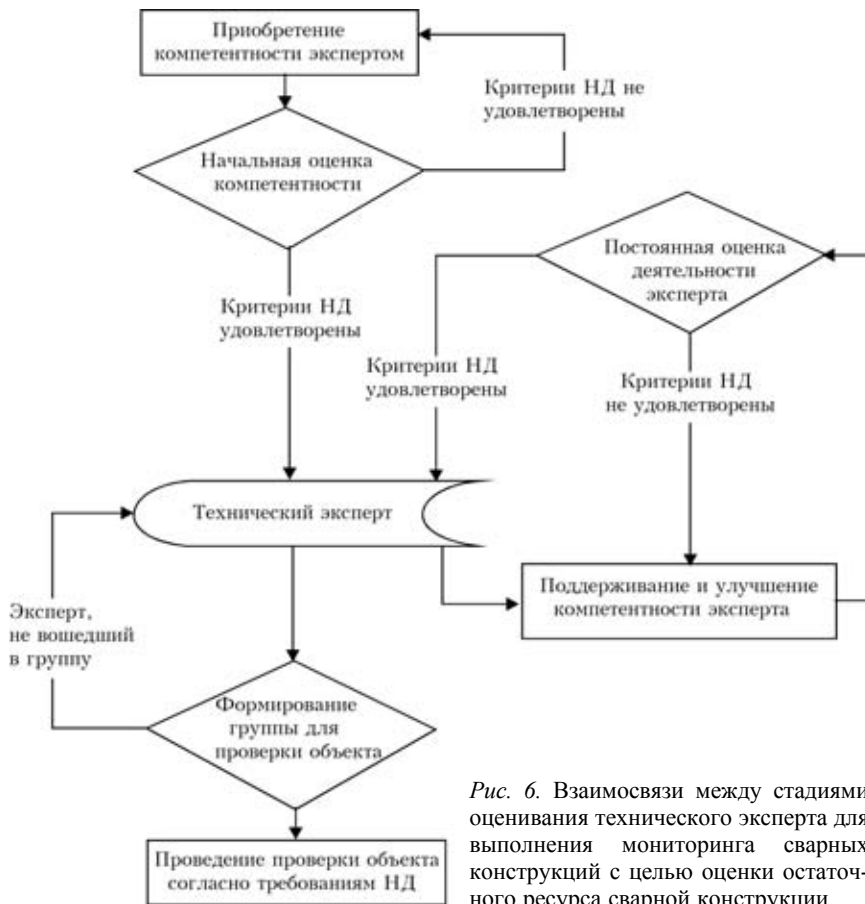


Рис. 6. Взаимосвязи между стадиями оценивания технического эксперта для выполнения мониторинга сварных конструкций с целью оценки остаточного ресурса сварной конструкции

- проверка результатов анализа (испытание объекта);
- документирование полученных результатов (протоколов) и их обоснование;
- корректировка результатов анализа с учетом последних данных измерений, полученных при мониторинге объекта.

При **проведении анализа риска** эксперт выполняет следующие действия:

- определяет в объекте возможные виды дефектов, изучает причины возникновения, механизмы и условия возникновения, развития;
- определяет возможные последствия возникновения дефектов, проводит качественный анализ тяжести последствий дефектов и (или) количественную оценку их критичности;
- составляет и периодически корректирует перечни критичных элементов сварной конструкции и применяемых технологических процессов;
- вырабатывает предложения и рекомендации по внесению изменений в конструкцию и (или) технологию эксплуатации объекта и его составных частей, направленные на снижение вероятности и (или) тяжести последствий от дефектов, оценивает эффективность ранее проведенных ремонтных работ;
- оценивает достаточность предусмотренных контрольно-диагностических и профилактических

ких операций, направленных на предупреждение дефектов в сварной конструкции;

- анализирует правила поведения персонала в аварийных ситуациях, обусловленных возможными дефектами, предусмотренными эксплуатационной документацией. При этом вырабатывает предложения по их совершенствованию или внесению соответствующих изменений в эксплуатационную документацию при отсутствии правил поведения;
- проводит анализ возможных ошибок персонала в системе, оценивает их возможные последствия, вырабатывает предложения по совершенствованию системы и введению дополнительных средств защиты объекта от ошибок персонала, а также по совершенствованию документированных процедур.

Проблема оценки сварных конструкций после длительной эксплуатации решается при мониторинге с помощью алгоритма анализа экспертной системы (рис. 7).

Программа, содержащая алгоритм, обеспечивает оценку состояния объекта на основе требований НД.

В системе общего назначения алгоритм достижения целей разработан для того, чтобы система была также самообучающейся. Она вырабатывает процедуры путем анализа результатов испытаний, полученных в лабораториях НК и ТД на объекте для совершенствования системы оценки соответствия (состояния) сварных конструкций на основе последовательной или параллельной процедур (рис. 8).

Последовательная процедура решения задач в системе (рис. 8, б) позволяет использовать меньше данных об объекте, чем параллельная. Поэтому сначала он кажется более привлекательным. Однако когда очевидна необходимость применения последовательной процедуры, это решение может быть неверно. Даже если хороший эксперт имеет начальную информацию относительно объекта, он не будет абсолютно уверен в том, что сварная конструкция может иметь достаточный остаточный ресурс. Поэтому опытный (компетентный) эксперт должен собрать более полную достоверную информацию об объекте прежде, чем сделать какое-либо окончательное заключение. Именно эти операции и осуществляет **параллельная** процедура (рис. 8, а).

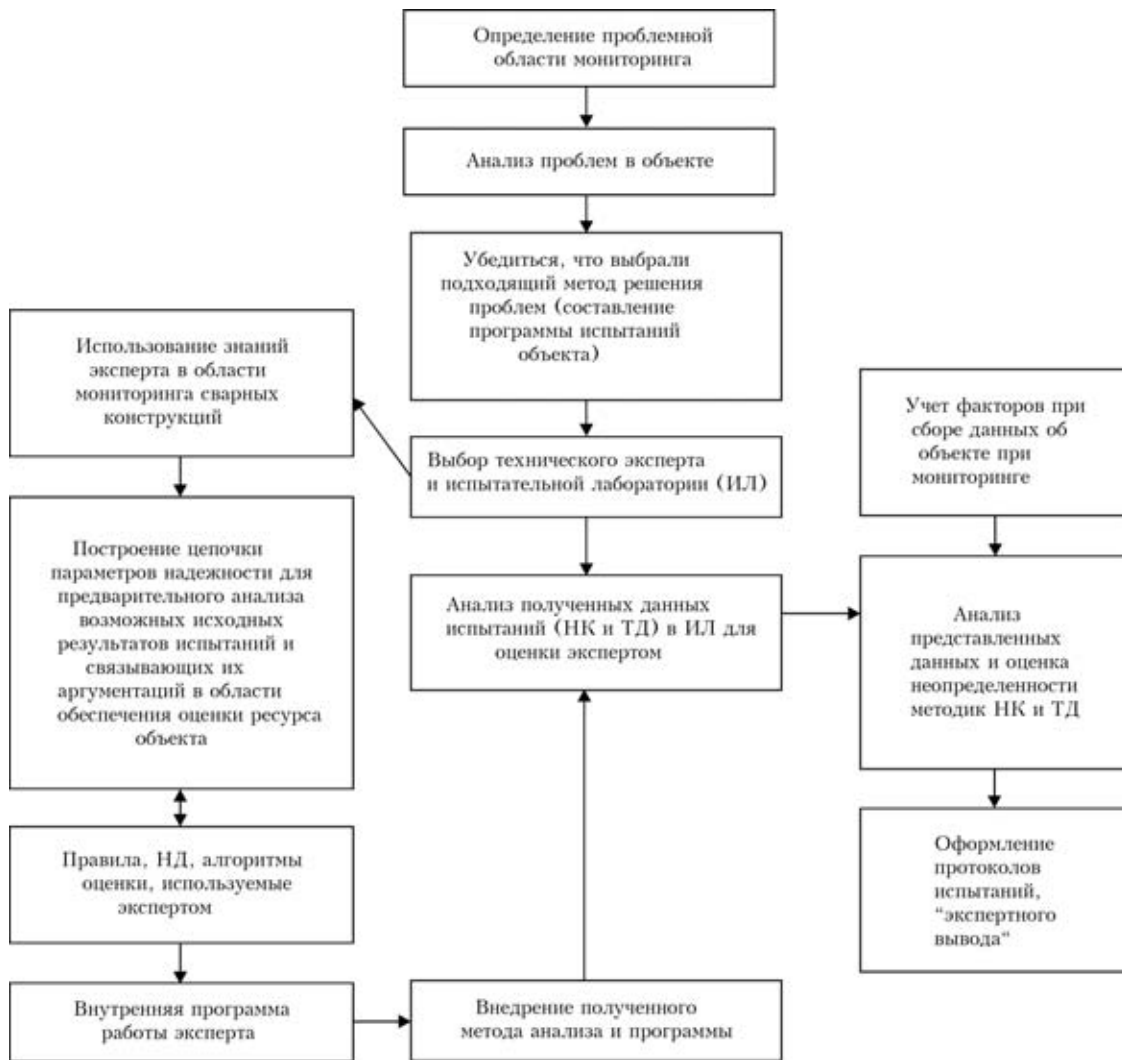


Рис. 7. Алгоритм анализа результатов мониторинга для экспертной системы

При **параллельной** процедуре используется вся информация для выработки решения и, следовательно, система приходит к наиболее достоверным выводам. С помощью **последовательной** процедуры можно путем пошагового прохождения через всю информацию прийти к тем же

выводам, но в процессе поиска решения последнее вырабатывается поэтапно, причем также эффективно, как и при параллельной процедуре (рис. 8, а).

Экспертную систему общего назначения разрабатывают, если известны точные вероятности



Рис. 8. Решения задач экспертной системой: а — параллельные процедуры получения информации об объекте с последующей выработкой решений; б — последовательное получение информации и принятие решений

для каждого результата измерения (рис. 8, б). Эксперт собирает при мониторинге информацию последовательно в результате испытаний. Он просматривает все результаты и находит наиболее достоверные из них. Если такого не происходит, то эксперт принимает решение и не просматривает другие варианты. В противном случае необходима дополнительная информация (испытания объекта).

Анализируя требования стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025-2001 к испытательным лабораториям, необходимо отметить предварительную разработку дополнительных процедур. Например, разработка **процедуры оценки неопределенности измерений** с целью отбора достоверной методики испытаний [8]. **Неопределенность измерения** — это параметр, связанный с результатами измерения и характеризующий рассеивание полученных значений. Они могли бы быть приписаны измеряемой величине [8, 11].

Неопределенность измерения выражает тот факт, что для данной измеряемой величины и данного результата измерения не существует единого значения, а есть нескончаемое количество значений, рассеянных вокруг результата, которые согласовываются со всеми полученными наблюдениями и данными, а также со знаниями физического мира, и которые с разной степенью уверенности могут быть приписаны измеренной величине.

Возможные **источники неопределенности** измерений:

- неполное определение (спецификация) измеряемой величины;
- несовершенная реализация определения измеряемой величины;
- неадекватные знания эффектов от влияющих величин или несовершенное их измерение;
- субъективная погрешность, выполняемая оператором НК и ТД при считывании показаний приборов;
- неточное значение, приписанное эталонам или мерам физических величин;
- неточное значение констант и других параметров, полученных от внешних источников, которые используются в алгоритме обработки данных;
- аппроксимации и допущения, которые используются в методе измерения и в измерительной процедуре;
- случайные изменения внешних действующих величин при повторных наблюдениях и измерениях параметров сварной конструкции.

Для улучшения достоверности при оценке состояния сварных конструкций рекомендуется дополнительно использовать твердометрию в сочетании с другими методами НК и ТД (магнитный, УЗД, рентгеновский, визуально-оптический).

При наличии корреляционных зависимостей между твердостью и другими механическими характеристиками можно судить о прочности и надежности отдельных зон сварных конструкций, степени неоднородности механических свойств сварного соединения при деградации материала [12]. Это является дополнительной информацией для определения остаточного ресурса сварной конструкции.

Требования к испытаниям на твердость содержатся в нормативных документах [13–16]:

СНиП III-18-75 (п. 1.30): «твердость по алмазной пирамиде не выше 350 единицы» (Металлические конструкции);

СНиП 3.03.01-87 (п. 8.68): «на твердость (НВ) металла шва и зоны термического влияния сварного соединения низколегированной стали (не менее чем в четырех точках) — 1» (Несущие и ограждающие конструкции);

ДНАОП 0.00-1.11-98 (п.10.89, 10.90): «П.10.89. Вимірювання твердості основного металу та зварних з'єднань проводиться з метою перевірки якості виконання термічної обробки зварних з'єднань або виробу (напівфабрикату). П.10.90. Вимірювання твердості підлягає основний метал та метал шва зварних з'єднань, виконаних із легуваних теплостійких сталей перлітного та мартенситно-феритного класів, методами та в обсязі, що встановлені НД» (Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води);

ДНАОП 0.00-1.03-02 (п. 5.5.2): «...Сварочные материалы, применяемые для сварки, должны обеспечивать механические свойства металла шва и сварного соединения (предел прочности, относительное удлинение, угол загиба, ударная вязкость, твердость) не менее нижнего предела указанных свойств основного металла конструкции, установленного для данной марки стали стандартами или техническими условиями» (Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов).

Выводы

1. Надежность определяет состояние готовности и влияющих на него факторов: безотказности, ремонтпригодности и поддержки технического обслуживания сварной конструкции и применения стандартов.

2. Стандарты предусматривают систематические методы и инструменты для экспертной оценки надежности и управления надежностью оборудования, услуг и систем на всех стадиях их жизненного цикла.

3. Стандарты охватывают общие типовые аспекты управления программами безотказности и ремонтпригодности, испытательные и аналитические методы, надежность программного обеспечения и системные аспекты надежности, стои-

мость жизненного цикла, анализ технического риска и управление риском проекта. Это направление включает стандарты, относящиеся к изготовлению продукции (от безотказности элементов до руководящих указаний по инженерному обеспечению надежности систем); стандарты, относящиеся к процессу изготовления (от анализа технологического риска до комплексной поддержки материально-технического обеспечения) и стандарты, относящиеся к проблемам менеджмента (от программы управления надежностью до управления деградацией).

4. Применение стандартов помогает решать относящиеся к мониторингу и безопасности проблемы, хотя стандарты не охватывают вопрос безопасности в целом.

5. Существуют различные **виды рисков** в технике:

– **риск** поставщика (изготовителя) и потребителя (заказчика). Их используют в стандартах по статистическим методам при контроле уровня дефектности и показателей надежности сварных конструкций. Они связаны с размером возможного ущерба;

– **риск** как нежелательное обстоятельство, которое возможно при реализации проекта (не уложиться в предусмотренные сроки и/или объемы финансирования);

– **риск** наступления критических последствий при эксплуатации сварных конструкций. При этом учитывается вероятность наступления критических событий и размеры возможного ущерба (под критическим событием понимают критический отказ);

– при анализе рисков могут быть использованы как стандартные методы оценки надежности, так и результаты мониторинга, когда учитывают только критические отказы.

6. При анализе рисков рекомендуется прибегать к результатам теории игр, являющейся более сложной по сравнению с теорией вероятностей и математической статистикой.

7. Для обеспечения эффективности разработки дополнительных процедур мониторинга сварных конструкций необходимо [17]:

– знание проблематики, программы работ и особенностей отдельных разработок сварных конструкций;

– участие в гармонизации международных стандартов;

– наличие научного обеспечения проблемы;

– присутствие на заседаниях рабочих групп Технических комитетов (ТК-44, ТК-78).

1. *Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / Зб. наук. статей. Результати цільової комплексної програми НАН України за 2004–2006 рр. Наук. керівник — акад. Б. Є. Патон. — Київ: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, 2006. — 589 с.*
2. *Забезпечення якості та безпеки в зварювальному виробництві / Зб. наук. статей. — 2 вид. — Київ: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН України, 2007. — 194 с.*
3. *Топор В. М. Оцінка граничного стану трубопроводів, резервуарів і посудин тиску на основі розробленої експертної системи: ... Автореф. дис. док. техн. наук // ІПМ. — Київ, 2006. — 38 с.*
4. *Бондаренко Ю. К., Ковальчук О. В. Забезпечення якості продукції, процесів, послуг зварювального та споріднених виробництв // Обеспечение качества сварных конструкций и изделий в Украине. — Киев: ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАНУ, 2003. — № 1. — 157 с.*
5. *Бондаренко Ю. К., Радченко М. Л., Ковальчук О. В. Проблемы обеспечения качества экспертных систем для оценки сварных конструкций // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики: Материалы 14 ежегодной междунар. конф. (16–20 окт. 2006 г.). — Ялта: Украинский информационный центр «Наука. Техника. Технология», 2006. — 181 с.*
6. *ДСТУ ISO 19011:2003. Настанова щодо здійснення аудитів систем управління якістю і/або екологічного управління. — Київ: Держспоживстандарт України, 2003. — 24 с.*
7. *Нейлор К. Как построить экспертную систему. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 288 с.*
8. *ДСТУ ISO/IEC 17025–2001. Загальні вимоги до компетентності випробувальних лабораторій. — Київ: Держспоживстандарт України, 2003. — 66 с.*
9. *Крюков И., Шадрин А. Менеджмент риска как инструмент постоянного улучшения // Стандарты и качество. — 2006. — № 2. — С. 74–77.*
10. *Скребец В. А. Психологическая диагностика. — Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: МАУП, 2001. — 152 с.*
11. *Коцюба А., Новиков В. Процедура оцінювання невизначеності вимірювання випробувальної лабораторії // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2003. — № 1. — 187 с.*
12. *Марковец М. П. Определение механических свойств металлов по твердости. — М.: Машиностроение, 1979. — 189 с.*
13. *СНиП III-18–75. Металлические конструкции. — М.: Государственный строительный комитет СССР, 1975. — 79 с.*
14. *СНиП 3.03.01–87. Несущие и ограждающие конструкции. — М.: Государственный строительный комитет СССР, 1987. — 93 с.*
15. *ДНАОП 0.00-1.11–98. Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води. — Київ, 1998. — 234 с.*
16. *ДНАОП 0.00-1.03–02. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. — Киев, 2002. — 215 с.*
17. *Бондаренко Ю. К., Радченко М. Л. Мониторинг процесса измерений для оценки соответствия сварных конструкций после длительной эксплуатации // Совр. методы и средства НК и ТД: Мат. 15 Юбил. межд. конф. (1–5 окт. 2007 г.). — Ялта: Укр. информ. центр «Наука. Техника. Технология», 2007. — 78 с.*