

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ФГУП «ВНИИМ

им. Д.И. Менделеева»

А.Н. Пронин

«*10 ноября*» 2023 г.



ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

МИ 3676-2023

Санкт-Петербург,

2023

Предисловие

- | | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 РАЗРАБОТАНА | Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»), разработчики: Медведевских С.В., Пименова А.А., Тетерук Р.А., Фирсанов Н.А. |
| 2 УТВЕРЖДЕНА | ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева»
« 10 » ноября 2023 г. |
| 3 СОГЛАСОВАНА | Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт),
исх. № ЕЛ-15647/05 от « 28 » ноября 2023 г. |
| 4 ЗАРЕГИСТРИРОВАНА | Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГБУ «ВНИИМС»)
« 13 » ноября 2023 г. |
| 5 ВВЕДЕНА | Впервые |

Содержание

Введение	1
1. Область применения	3
2. Нормативные ссылки	4
3. Термины, определения и сокращения.....	6
4. Общие положения	8
5. Заявка на определение МПИ.....	12
6. Содержание методики определения МПИ	13
7. Процедуры определения МПИ	13
7.1. Анализ конструкции СИ.....	14
7.2. Анализ информации о комплектующих изделиях и материалах из состава СИ	15
7.3. Определение номенклатуры декларируемых показателей надежности СИ... 16	
7.4. Анализ производства	16
7.5. Анализ гарантийных обязательств предприятия-изготовителя	19
7.6. Анализ условий эксплуатации СИ	20
7.7. Анализ области применения СИ	22
7.8. Анализ сведений о результатах проверок	28
7.9. Проведение теоретических и экспериментальных исследований поведения НМХ СИ	30
7.10.Обработка результатов исследований	33
8. Выборочная поверка СИ.....	34
9. Алгоритм определения динамических интервалов и критерии их назначения.....	36
10. Определение продолжительности МПИ.....	39
11. Оформление результатов исследований.....	39
Приложение А Программа анализа производства.....	41
Приложение Б Алгоритм обработки результатов экспериментальных исследований с применением регрессионного анализа	50
Приложение В Пример обработки результатов экспериментальных исследований с применением регрессионного анализа	54
Приложение Г Методика определения критичных элементов структурно-сложных СИ.....	58

Государственная система обеспечения единства измерений РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ Основные положения	МИ 3676- 2023
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

Дата введения: 01.12.2023

Введение

Настоящая рекомендация разработана с целью реализации требований Приказа Минпромторга России от 28 августа 2020 г. № 2905 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них, порядка выдачи сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, формы сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения», Приказа Минпромторга России от 28 августа 2020 г. № 2907 «Об утверждении порядка установления и изменения интервалов между поверками средств измерений, порядка установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них, требований к методиками поверки средств измерений» в части определения, установления и изменения интервалов между поверками (МПИ) средства измерений (СИ) конкретных типов, а также определения, установления и изменения МПИ, единого для однотипных СИ.

При определении, установлении и изменении МПИ СИ, требуется учет и соблюдение баланса интересов государства, производителей СИ, хозяйствующих субъектов, потребителей СИ и результатов их измерений в части повышения показателей экономической эффективности и снижения рисков получения недостоверных результатов измерений. Создания равных конкурентных условий для производителей и потребителей СИ, с учетом затрат

на метрологическое обеспечение СИ, обусловленных продолжительностью МПИ СИ.

МПИ СИ является показателем стабильности нормируемых метрологических характеристик (НМХ) СИ в процессе его применения в заданных условиях измерений.

При определении МПИ СИ производится оценивание значения МПИ СИ в виде прогнозируемого значения изменений НМХ СИ во времени, зависящего от большого числа факторов различной природы. Оценка погрешности такого прогнозируемого значения требует значительных (иногда экономически нецелесообразных) временных и материальных затрат на проведение соответствующих метрологических работ.

Результат определения МПИ СИ – значение рекомендуемого МПИ СИ. Обоснование такого значения требует, помимо использования результатов определения МПИ СИ, дополнительного учета различных организационных и экономических факторов, связанных с выполнением работ по поверке СИ.

Настоящий документ содержит методические рекомендации по определению МПИ СИ с применением методик оценивания и обоснованного назначения МПИ СИ, в соответствии положениями, установленными в нормативных правовых актах в области обеспечения единства измерений Российской Федерации, в части касающейся порядка определения, установления и изменения МПИ СИ.

Настоящий документ устанавливает общие требования к содержанию и оформлению методик и результатов определений МПИ для однотипных СИ и СИ конкретного типа в целях единого организационно-методического подхода к определению МПИ СИ.

1. Область применения

1.1. Настоящая рекомендация распространяется на СИ серийного и единичного производства, подвергаемые испытаниям в целях утверждения типа для определения МПИ; СИ утвержденного типа в период действия утверждения их типа, срок действия утвержденного типа которых завершен, при испытаниях СИ в части определения МПИ.

1.2. Рекомендации предназначены для использования организациями – производителями и потребителями СИ; юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, аккредитованными в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации в области обеспечения единства измерений на выполнение испытаний СИ (далее – испытательные центры); юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, аккредитованными в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации в области обеспечения единства измерений на выполнение поверки СИ; комиссиями по видам измерений при Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии; организациями подведомственными Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии (далее – Росстандарт).

1.3. Рекомендации применяют при разработке методик определения МПИ, а также оценки результатов определения МПИ СИ, подлежащих рассмотрению в Росстандарте при принятии решений об установлении или изменении МПИ СИ; а так же установлении МПИ, единого для однотипных СИ (группы СИ).

1.4. Для осуществления единого подхода к подготовке, оформлению и рассмотрению результатов определения МПИ СИ организациям, аккредитованным в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации в области обеспечения единства измерений на проведение испытаний СИ в целях утверждения типа, при подготовке материалов испытаний СИ в целях утверждения типа, а также

при исследовании МПИ СИ, для последующего рассмотрения в рамках испытаний СИ в целях утверждения типа, следует руководствоваться настоящими рекомендациями.

1.5. Рекомендации не распространяются на СИ, применяемые при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации, а также в области использования атомной энергии.

2. Нормативные ссылки

В настоящей рекомендации использованы ссылки на следующие нормативные документы:

Постановление Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» (Постановление Правительства Российской Федерации от 23.09.2010 № 734);

Приказ Минпромторга России от 28 августа 2020 г. № 2905 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них, порядка выдачи сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, формы сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения» (Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 № 2905);

Приказ Минпромторга России от 28 августа 2020 г. № 2907 «Об утверждении порядка установления и изменения интервалов между поверками средств измерений, порядка установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них, требований к методиками поверки средств измерений» (Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 № 2907);

Приказ Росстандарта от 02 июля 2019 г. № 1502 (с изменением от 24.10.2022) «Об утверждении рекомендуемых предельных значений интервалов

между поверками средств измерений» (Приказ Росстандарта от 02.07.2019 № 1502);

ПМГ 06-2019 Порядок признания результатов испытаний и утверждения типа, первичной поверки, метрологической аттестации средств измерений;

ГОСТ 8.395-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования;

ГОСТ Р 54293-2020 Анализ состояния производства при подтверждении соответствия;

ГОСТ Р 50779.70-2018 Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку;

ГОСТ Р 50779.12-2021 Статистические методы. Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции;

ГОСТ Р 8.734-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля;

ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем;

ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей;

РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений;

РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Метрология. Основные термины и определения;

РД 50-690-89 Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным;

МИ 187-86 Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений. Критерии достоверности и параметры методик поверки;

МИ 188-86 Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки;

МИ 3650-2022 (с изм. №1) Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация по оформлению заявок, заявлений и прилагаемых к ним документов при утверждении типа средств измерений и внесении изменений в сведения о них, содержащиеся в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

3. Термины, определения и сокращения

3.1. В настоящей рекомендации применены термины и определения в соответствии с РМГ 74, а также следующие термины и определения.

3.1.1. однотипные средства измерений: Группы средств измерений, предназначенные для измерений одних и тех же величин, имеющие схожую конструкцию и принцип действия, но изготовленные по разной технической документации.

Пример – Датчики давления, предназначенные для измерений абсолютного, избыточного давления, разрежения и разности давлений классов точности от 0,1 до 0,01 и с диапазонами измерений от минус 0,1 до 100 МПа, принцип действия которых основан на упругой деформации чувствительного элемента (измерительной мембраны) в зависимости от воздействующего давления, вызывающего изменение разности емкостей или сопротивления, и последующего преобразования в цифровой код или унифицированный выходной сигнал, являются однотипными средствами измерений.

3.1.2. методика определения интервалов между поверками средств измерений конкретного типа (методика определения МПИ): Совокупность конкретно описанных процедур, выполнение которых обеспечивает получение обоснованных результатов определения МПИ СИ конкретного типа.

Примечание – Методика определения МПИ СИ основывается на применении совокупности различных методов оценки стабильности во времени НМХ СИ.

3.1.3. типовая методика определения МПИ: Совокупность процедур, с описанием общих требований к их перечню и содержанию, выполнение которых обеспечивает получение обоснованных результатов определения МПИ

однотипных СИ по методикам определения МПИ СИ конкретного утвержденного типа или назначению рекомендованного МПИ единого для подгруппы СИ.

3.1.4. прогрессирующая погрешность: Непрерывно возрастающая или убывающая погрешность.

3.1.5. динамические интервалы между поверками: Интервалы между поверками, для которых значение начального МПИ отличается от последующих.

3.1.6. метрологическая восстанавливаемость: Свойство СИ, заключающееся в его способности восстанавливать свои метрологические характеристики после метрологического отказа или в произвольный момент времени без ремонта.

3.1.7. метрологическое восстановление: Комплекс воздействий на СИ, не включающих ремонт, приводящий к восстановлению его МХ. Метрологическое восстановление может включать в себя такие процедуры, как установка ноля, градуировка, сброс настроек СИ и тп.

3.1.8. метрологическая надежность (СИ) [РМГ 29-2013]: Надежность СИ, в части сохранения его метрологической исправности.

3.1.9. выборочная поверка [РМГ 29-2013]: Поверка группы средств измерений, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности всей партии.

3.1.10. сплошная поверка: Поверке подвергаются все образцы СИ.

3.1.11. метрологический самоконтроль: Автоматическая проверка метрологической исправности СИ в процессе его эксплуатации.

3.1.12. средство измерений с метрологическим самоконтролем: Интеллектуальное средство измерений, обеспеченное функцией анализа измеренных данных и самопроверкой метрологической исправности, и (или) получающее дополнительные измерительные данные за счет структурной избыточности.

3.1.13. СИ-свидетели: Группа СИ одного типа, находящаяся в подконтрольной эксплуатации.

3.2. В настоящей рекомендации применены следующие сокращения

3.2.1. **МПИ** – Интервал между поверками.

3.2.2. **СИ** – средство измерений.

3.2.3. **ИО** – испытательное оборудование.

3.2.4. **МХ** – метрологические характеристики.

3.2.5. **НМХ** – нормируемые метрологические характеристики.

3.2.6. **ГНМИ** – государственные научные метрологические институты.

3.2.7. **ГРЦМ** – государственные региональные центры метрологии.

3.2.8. **СМК** – система менеджмента качества.

3.2.9. **ВБР** – вероятности безотказной работы.

3.2.10. **ДО** – дерево отказов.

4. Общие положения

4.1. Рекомендация устанавливает следующие случаи назначения МПИ.

А. СИ подвергается первичной и периодической поверке, а МПИ СИ не превышает рекомендованного предельного значения, утвержденного Приказом Росстандарта от 02.07.2019 № 1502.

Б. СИ подвергается первичной и периодической поверке, а МПИ СИ превышает рекомендованное предельное значение, утвержденное Приказом Росстандарта от 02.07.2019 № 1502, и (или) СИ не включено перечень СИ и не подпадает под группы аналогичных СИ, указанных в Приказе Росстандарта от 02.07.2019 № 1502.

Примечание – В том числе неизвлекаемые СИ (см. п. 7.7 настоящей рекомендации).

В. СИ подвергается выборочной первичной поверке, а периодической поверке подвергаются все образцы СИ, при этом МПИ СИ не превышает рекомендованного предельного значения, утвержденного Приказом Росстандарта от 02.07.2019 № 1502.

Г. СИ подвергается выборочной первичной поверке, а периодической поверке подвергаются все образцы СИ, при этом МПИ СИ превышает

рекомендованное предельное значение, утвержденное Приказом Росстандарта от 02.07.2019 № 1502, и (или) СИ не включено перечень СИ и не подпадает под группы аналогичных СИ, указанных в Приказе Росстандарта от 02.07.2019 № 1502.

Примечания:

1. Рекомендация не распространяется на СИ с неизменными метрологическими характеристиками (например, меры вместимости стеклянные).

2. Для результатов испытаний и утвержденных типов СИ, прошедших процедуру признания на территории Российской Федерации по ПМГ 06. По ПМГ 06 МПИ СИ устанавливается в соответствии с установленным при испытаниях, но не превышающий предельных значений, утвержденных Приказом Росстандарта от 02.07.2019 № 1502.

3. В случае изменения интервала между поверками для СИ, срок действия утвержденного типа которых завершен, проводится анализ сведений о результатах поверки в соответствии с п. 7.8 настоящей рекомендации.

4.2. Для идентификации каждого случая назначения МПИ целесообразно применять таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Обозначение случая	Поверка			МПИ СИ
	Первичная	Выборочная	Периодическая	
А	+	-	+	не превышает ¹⁾
Б	+	-	+	превышает ¹⁾
В	-	+	+	не превышает ¹⁾
Г	-	+	+	превышает ¹⁾

¹⁾ рекомендуемое предельное значение, утвержденное Приказом Росстандарта от 02.07.2019 № 1502

4.3. Для каждого случая выбирается номенклатура процедур из таблицы 4.2, необходимых для включения в методику определения МПИ СИ.

Таблица 4.2

Обозначение случая	Обязательность выполнения процедур в зависимости от выбранного случая								
	п. 7.1	п. 7.2	п. 7.3	п. 7.4	п. 7.5	п. 7.6	п. 7.7	п. 7.8	п. 7.9
А	+	-	+	-	-	-	-	- ¹⁾	-
Б	+	-	+/-	-	+	+	+	- ¹⁾	+
В	+	+	+	+	+	+	+	- ¹⁾	-
Г	+	+	+	+	+	+	+	- ¹⁾	+

Примечания:
«+» - выполнение процедур обязательно;
«-» - выполнение процедур не обязательно (данный раздел может не включаться в методику определения МПИ СИ);
«+/-» - выполнение процедур в необходимом и достаточном объеме.
1) При внесении изменений в сведения в части сведений об МПИ, установленного при утверждении типа, выполнение п. 7.8 становится обязательным.
2) При необходимости назначения выборочной поверки выполняются требования р. 8 настоящей рекомендации.
3) При необходимости назначения динамических интервалов между поверками выполняются требования р. 9 настоящей рекомендации.

4.4. Методики определения МПИ СИ разрабатывают на основе применения совокупности методов теории надежности, включая методы структурного анализа; математической статистики, включая параметрические и непараметрические методы, методы статистического контроля качества продукции; физико-математического моделирования измерительных процессов и систем; теории принятия решений, включая методы экспертных оценок и методы оценки рисков.

Примечание – возможно применение других методов определения МПИ СИ, обеспечивающих обоснованность назначения рекомендуемых МПИ.

4.5. Методики определения МПИ СИ подразделяют на методики для однотипных СИ (типовые методики) и СИ конкретных типов.

4.6. Методики определения МПИ СИ конкретных типов разрабатывают испытательные центры в соответствии со своей областью аккредитации.

4.7. Методики определения МПИ СИ конкретных типов при испытаниях в целях утверждения типа СИ и в период действия утвержденного типа оформляют в виде раздела программы испытаний СИ в целях утверждения типа или в виде отдельного документа, согласуются заявителем и утверждаются испытательным центром, после чего направляются на согласование в Росстандарт.

4.8. Типовые методики определения МПИ разрабатывают ГНМИ.

4.9. Типовые методики определения МПИ оформляют в виде отдельного документа, они утверждаются ГНМИ – разработчиком методики, согласуются и рекомендуются к применению Росстандартом.

4.10. Методики определения МПИ СИ применяют при осуществлении следующих видов деятельности в области обеспечения единства измерений:

- проведении исследований НМХ СИ при утверждении типа в части определения МПИ СИ для назначения рекомендуемого МПИ СИ;
- проведении исследований НМХ в период действия утвержденного типа для определения МПИ СИ, для последующего внесения изменений в сведения в

части сведений об интервале между поверками СИ, установленного при утверждении типа;

- выполнении работ в соответствии с пп. 10, 11 Приложения 1 Приказа Минпромторга России № 2907 по определению нового МПИ СИ, срок действия утверждения типа которых завершен;

- выполнении работ в соответствии с п. 13 Приложения 1 Приказа Минпромторга России № 2907 по определению МПИ единого для однотипных СИ.

4.11. Испытательный центр проводит исследования только по согласованной Росстандартом методике определения МПИ.

4.12. Методики определения МПИ СИ реализуют с использованием эталонов единиц величин, удовлетворяющих требованиям Постановления Правительства Российской Федерации от 23.09.2010 № 734, СИ утвержденных типов и прошедших поверку, стандартных образцов утвержденного типа, аттестованных методик (методов) измерений, сведения о которых размещены в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

5. Заявка на определение МПИ

Заявка на определение МПИ должна содержать следующую информацию о СИ:

- полное наименование СИ, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (при наличии), сведения об изготовителе СИ и (или) сведения о документах, по которым осуществляется изготовление СИ (стандарт предприятия, технические условия и т.д.);

- сведения о комплектности СИ (перечень, предоставляемый на исследования, в том числе составных частей, замена которых предусмотрена в процессе исследований);

- сведения о представляемых СИ (количество, исполнения, модификации, заводские номера) и отобранных (количество, порядок отбора) на исследования серийно изготовленных СИ;

- прочие сведения (протоколы ранее проведенных исследований на надежность, наработка СИ до начала исследований), а также информацию, необходимую для проведения анализа производства СИ, системы менеджмента качества предприятия-изготовителя (при необходимости).

6. Содержание методики определения МПИ

Методики определения МПИ СИ включают следующие разделы:

- область применения;
- нормативные ссылки;
- общие положения;
- условия проведения исследований;
- требования к эталонам, средствам измерений, испытательному и вспомогательному оборудованию (метрологические и технические требования);
- порядок проведения исследований;
- подготовка к проведению исследований;
- методы исследований (процедуры исследований приведены в р. 7 настоящей рекомендации);
- обработка результатов исследований;
- определение МПИ;
- оформление результатов исследований.

7. Процедуры определения МПИ

Методика определения МПИ СИ основывается на применении совокупности различных методов оценки стабильности во времени указанных в описании типа СИ НМХ, и содержит, но не ограничиваясь этим, следующие процедуры:

- анализ конструкции СИ;
- анализ информации о комплектующих изделиях и материалах из состава СИ;
- обоснование показателей метрологической надежности СИ, назначенного срока службы СИ;

- анализ производства СИ;
- анализ порядка предоставления и обеспечения производителем СИ гарантийных обязательств, послегарантийного обслуживания и ремонта СИ;
- анализ условий применения СИ;
- анализ области применения СИ;
- анализ сведений о результатах поверок;
- проведение теоретических и экспериментальных исследований поведения НМХ СИ в зависимости от срока эксплуатации и условий применения СИ;
- обработка информации, в том числе измерительной, для оценивания предельного допускаемого значения МПИ СИ;
- принятие решений об обоснованном назначении рекомендуемого МПИ СИ.

Примечание – Обоснованность рекомендуемого МПИ СИ в данном случае означает, что при реализации методики определения МПИ обеспечено выполнение метрологических правил и норм, установленных законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений; метрологических и технических требований, предусмотренных нормативными и методическими документами, в части определения МПИ СИ, а также типовыми методиками определения МПИ СИ (при их наличии).

7.1. Анализ конструкции СИ

7.1.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.1.2. При анализе конструкции проводят идентификацию образцов и проверку обеспеченности конструкцией образцов СИ ограничения доступа к критически важным элементам (например, чувствительному элементу) в целях предотвращения несанкционированной настройки или вмешательств, которые могут привести к искажению результатов измерений. Проверяется возможность проведения настройки (корректировки нуля) в автоматическом режиме.

7.1.3. В ходе идентификации образцов устанавливается:

- наличие заводского номера и (или) серийного номера, обеспечивающего идентификацию СИ;
- соответствие маркировки приведенной в эксплуатационной документации (руководстве по эксплуатации, паспорте, формуляре или др.) и описании типа (для утвержденного типа СИ);
- соответствие внешнего вида образца приведенному в описании типа (для утвержденного типа СИ) и технической документации;
- отсутствие видимых дефектов, влияющих на работу СИ;
- соответствие комплектности СИ, указанной в описании типа (для утвержденного типа СИ).

7.1.4. При наличии метрологически значимого программного обеспечения (ПО) проводится проверка идентификационных данных ПО СИ.

7.2. Анализ информации о комплектующих изделиях и материалах из состава СИ

7.2.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.2.2. Анализ информации о комплектующих изделиях и материалах из состава СИ следует проводить для выявления вероятных неисправностей комплектующих.

7.2.3. При анализе информации о комплектующих изделиях и материалах из состава СИ оценивается стабильность поставок (поставщиков) и наличие у изготовителя входного контроля качества комплектующих.

7.2.4. При анализе вероятных неисправностей комплектующих могут быть выделены элементы, которые ограничивают срок службы СИ, оценивается их влияние на МХ, восстанавливаемость, ремонтпригодность.

7.3. Определение номенклатуры декларируемых показателей надежности СИ

7.3.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.3.2. При использовании в методах определения МПИ информации о значениях показателей надежности СИ (средняя наработка до отказа, средний срок службы и т.д.) проверяется наличие расчетов надежности и (или) декларации показателей надежности.

7.4. Анализ производства

7.4.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.4.2. Анализ производства, в том числе производственных процессов, предприятия-изготовителя СИ проводится с целью установления наличия необходимых условий для обеспечения постоянного (стабильного) соответствия выпускаемых СИ требованиям, установленным при утверждении типа СИ.

7.4.3. В результате анализа производства определяется корректирующий коэффициент качества производства $k_{\text{пр}}$.

7.4.4. Для подтверждения наличия у изготовителя необходимых условий для обеспечения постоянного (стабильного) производства серийно выпускаемой продукции, проводят анализ производства в соответствии с приложением А, или, в случае наличия сертифицированной СМК предприятия ISO 9001, и (или) ISO/IEC 17025, с областью сертификации, к которой относится тип исследуемого СИ, и (или) аккредитацию на право проведения поверки и (или) испытаний в целях утверждения типа СИ, с областью аккредитации, соответствующей метрологическим характеристикам исследуемого типа СИ, анализ производства допускается не проводить. В этом случае заявителем предоставляются копии сертификатов (свидетельств) и (или) уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц, декларируются данные об изготовителе, а

значение корректирующего коэффициента производства $k_{пр}$ присваивается в соответствии критериями приведенными в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Критерии принятия решения

№ п/п	Наличие СМК предприятия ISO 9001	Опыт производства аналогичных СИ более 10 лет	Аккредитация на право проведения поверки и (или) испытаний в целях утверждения типа СИ или ISO/IEC 17025	Значение коэффициента
1	Да	Да	Да	1,00
2	Да	Нет	Да	0,98
3	Да	Да	Нет	0,98
4	Да	Нет	Нет	0,96
5	Нет	Да	Да	0,90
6	Нет	Нет	Да	0,87
7	Нет	Да	Нет	0,87
8	Нет	Нет	Нет	0,85

7.4.5. Декларируемые данные об изготовителе (производственной площадке):

- наименование юридического лица или индивидуальном предпринимателе (полное и сокращенное);
- ИНН, КПП, ОГРН (для СИ серийного производства, изготавливаемых на территории РФ);
- место осуществления деятельности;
- адрес (юридический адрес);
- регистрационный номер уведомления о начале осуществления деятельности по производству СИ (для СИ серийного производства, изготавливаемых на территории РФ) и (или) дата, с которой начинается осуществление деятельности по производству аналогичных СИ (с приложением подтверждающих документов);
- заключение о подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации, выданного Минпромторгом России (при наличии);

- копии сертификатов (свидетельств) и (или) другие подтверждающие документы.

7.4.6. При проведении анализа производства предприятие-изготовитель СИ декларирует необходимые документы и сведения в соответствии с приложением А (для каждой производственной площадки).

7.4.7. Объектами анализа производства являются:

- техническая документация (проектная и/или конструкторская и/или технологическая и/или эксплуатационная) на СИ, документированные процедуры, записи;
- опыт производства СИ;
- компетентность персонала, выполняющего работы по обеспечению производства, метрологическому обеспечению, поддержанию соответствия установленным требованиям и качеству выпускаемых СИ;
- эталоны единиц величин, СИ, ИО, необходимые для обеспечения соответствия выпускаемых СИ установленным требованиям;
- инфраструктура производства (объекты, находящиеся на территории изготовителя и необходимые для организации производства);
- входной контроль закупленной продукции (сырья, материалов, комплектующих изделий);
- технологические процессы;
- приемочный контроль и периодические испытания выпускаемых СИ, связанные с контролем характеристик, требования к которым установлены техническим регламентом или нормативными документами;
- идентификация СИ, прослеживаемость, маркировка и условия хранения.

7.4.8. По итогам оценки уровня производства принимаются следующие значения коэффициентов $k_{пр}$:

- «низкий уровень» – 0,90;
- «средний уровень» – 0,95;
- «достаточный уровень» – 0,99;
- «высокий уровень» – 1,00.

7.4.9. Результат анализа производства должен содержать выводы о способности производства постоянно (стабильно) выпускать СИ, соответствующие установленным требованиям. По результатам проведения анализа производства принимается решение о возможности назначения выборочной поверки.

7.4.10. В случае отсутствия подтверждающих документов или несогласия подвергать производство оценке, значение коэффициента $k_{пр}$ считают равным 0,85.

7.4.11. В случае выборочной первичной поверки проведение анализа производства проводится в обязательном порядке.

7.5. Анализ гарантийных обязательств предприятия-изготовителя

7.5.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.5.2. При анализе порядка предоставления и обеспечения производителем средства измерений гарантийных обязательств, послегарантийного обслуживания и ремонта СИ рассматривается предоставленная производителем декларация, а также наличие сервисных центров. Возможно предоставление гарантии поставщиком (официальным представителем).

7.5.3. Для проведения анализа гарантийных обязательств изготовителя (поставщика) рассматривают гарантийный срок эксплуатации (хранения) СИ.

7.5.4. По результатам анализа гарантийных обязательств корректирующий коэффициент гарантийного срока рассчитывают по формуле:

$$k_{\text{гар}} = 0,7 + \frac{T_{\text{гар}}}{T_{\text{исп}}} \cdot 0,3, \quad (7.1)$$

где $T_{\text{исп}}$ – определенный в ходе исследований интервал между поверками;

$T_{\text{гар}}$ – гарантийный срок СИ.

$T_{\text{исп}}$ и $T_{\text{гар}}$ должны быть выражены в одинаковых единицах.

7.5.5. Если вычисленное по формуле 7.1 значение превышает 1,3, то корректирующий коэффициент гарантийного срока принимается равным $k_{\text{гар}} = 1,3$.

7.6. Анализ условий эксплуатации СИ

7.6.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.6.2. Анализ условий эксплуатации проводится для оценивания влияющих факторов на процесс измерений.

7.6.3. Воздействующие факторы, в основном, не являются измеряемыми величинами СИ, но оказывают (или могут оказывать) влияние на изменение НМХ.

7.6.4. Технические условия и эксплуатационная документация должны содержать перечень влияющих факторов, в том числе внешних, оказывающих влияние на метрологическую надёжность СИ.

7.6.5. Нормальными условиями для определения НМХ СИ следует считать условия, при которых составляющая погрешности поверяемого СИ от действия совокупности влияющих величин не превышает 35 % от предела допускаемой основной погрешности поверяемого СИ [ГОСТ 8.395].

7.6.6. Внешние влияющие факторы приведены в [ГОСТ 8.395].

7.6.7. В качестве внешних влияющих факторов, рассматривают факторы, вызывающие ограничение или потерю работоспособного состояния изделий, т.е. оказывающие на них вредное воздействие, хотя в ряде случаев они могут

повышать работоспособное состояние, например, низкие температуры повышают работоспособность холодильных установок.

7.6.8. Допускается эксплуатация СИ в условиях, отличных от нормальных условий, где значения влияющих факторов выходят за пределы установленных значений, но в пределах рабочих условий эксплуатации, в таком случае допускается отклонение от сроков службы (в сторону уменьшения) и НМХ СИ (например, нормируется дополнительная погрешность). При этом значения влияющих факторов, допустимость эксплуатации и ее сроки, срок службы, а также (при необходимости) дополнительные требования по обслуживанию СИ устанавливаются в технической и (или) эксплуатационной документации и (или) согласовываются с поставщиком СИ (официальным представителем).

Примеры различных сроков службы и МПИ в зависимости от условий эксплуатации:

1. Термометры цифровые малогабаритные ТЦМ 9410, (рег. № 68355-17). МПИ: 2 года; 6 месяцев - для термометров с ТТЦ в диапазоне температур св. +1100 °С.
2. Датчики температуры КТХА, КТХК, КТНН, КТЖК, КТМК, КТХА Ех, КТХК Ех, КТНН Ех, КТЖК Ех, КТМК Ех (рег. № 75207-19). МПИ: 5 лет - для группы условий эксплуатации I; 2 года - для группы условий эксплуатации II; 1 год - для группы условий эксплуатации III; первичная поверка до ввода в эксплуатацию - для группы условий эксплуатации IV. Группы условий эксплуатации приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2

Группа условий эксплуатации	Вероятность безотказной работы	Средний срок службы	Гарантийный срок эксплуатации
I	0,95 за 40000 часов	10 лет	5 лет
II	0,95 за 16000 часов	4 года	2 года
III	0,95 за 8000 часов	2 года	1 год
IV	Не нормирована	Не нормирован	Не нормирован

7.6.9. При выполнении измерений в нормальных условиях введение поправок на воздействие влияющих факторов не требуется.

7.6.10. Условия проведения исследований НМХ должны соответствовать требованиям, установленным ГОСТ 8.395, а также требованиям технических условий и эксплуатационной документации исследуемого СИ, а также требованиям правил содержания и эксплуатации применяемых эталонов и требованиям эксплуатационных документов применяемых для исследований СИ и вспомогательного оборудования.

7.6.11. В целях обеспечения ускорения исследований в форсированном режиме в перерывах между исследованиями СИ могут находиться в условиях, отличных от нормальных.

7.7. Анализ области применения СИ

7.7.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.7.2. Проводится анализ области применения СИ, с целью отнесения к:

- СИ, применяемым в здравоохранении, экологии, при учете материальных ценностей, а также СИ, метрологический отказ которых может привести к значительным экономическим и экологическим потерям;

- СИ, не связанным со здоровьем и жизнью людей, и СИ, метрологический отказ которых не вызывает большого ущерба;

- СИ, применяемым в качестве эталонов единиц величин.

7.7.3. Кроме того, в некоторых областях применения, при наличии особенностей места эксплуатации СИ и исходя экономической целесообразности, отсутствия возможности извлечения для метрологического обслуживания и проведения периодической поверки, СИ может быть классифицировано как неизвлекаемое.

7.7.4. В свою очередь, неизвлекаемые СИ, в зависимости от способа обеспечения их метрологической исправности в процессе эксплуатации, подразделяются на:

- СИ с прогрессирующей погрешностью;
- СИ-свидетели;

- СИ с метрологическим самоконтролем.

7.7.5. Срок действия поверки неизвлекаемых СИ не может превышать срок службы таких СИ. Срок службы СИ устанавливается в технической и (или) эксплуатационной документации на СИ.

7.7.6. СИ с прогрессирующей погрешностью

7.7.6.1. Прогрессирующая погрешность, как правило, нормируется у СИ, демонтаж которых невозможен или затраты на демонтаж слишком велики и нецелесообразны.

7.7.6.2. Прогрессирующая погрешность нормируется в форме зависимости от времени, прошедшего с момента выпуска СИ из производства. Подтверждается исследованиями в условиях, схожих с условиями эксплуатации СИ в течение времени, достаточного для уверенного определения зависимости дрейфа МХ.

7.7.6.3. Модель зависимости погрешности от времени для СИ с прогрессирующей погрешностью может быть выражена в виде:

$$\Delta = \sum_{k=0}^l a_k t^k, \quad (7.2)$$

где Δ - абсолютная погрешность СИ; l - порядок полинома, описывающего зависимость погрешности от времени; a_k - коэффициенты, определяющие изменение допустимых пределов погрешности в зависимости от продолжительности эксплуатации; t - количество полных лет с момента выпуска СИ из производства, выбирается из ряда 0, 1 ... $T_{сл}$; $T_{сл}$ - назначенный срок службы.

7.7.6.4. Расчетная зависимость погрешности СИ от времени устанавливается производителем. Предпочтительным вариантом является полином первого порядка и линейная зависимость погрешности от времени:

$$\Delta = a_0 + a_1 t \quad (7.3)$$

7.7.6.5. В случае линейной зависимости погрешности от времени коэффициент a_0 представляет собой допустимый предел абсолютной погрешности СИ при выпуске из производства, коэффициент a_1 представляет собой изменение допустимого предела погрешности в абсолютном виде за один

год эксплуатации. Установленные производителем коэффициенты a_k должны соответствовать требованию:

$$\sum_{k=0}^l a_k T_{\text{сл}}^k \leq 5 a_0 . \quad (7.4)$$

$$\Delta_{t \geq T_{\text{сл}}} = \sum_{k=0}^l a_k T_{\text{сл}}^k \quad (7.5)$$

7.7.6.6. Прогрессирующая погрешность может являться основанием для установления МПИ, превышающего рекомендуемое предельное значение МПИ СИ, утвержденного Приказом Росстандарта от 07.02.2019 № 1502. В этом случае проводятся исследования для подтверждения заявленной прогрессирующей погрешности при целевом МПИ $T_{\text{МПИ}}$. В результате исследований должно быть определено уравнение регрессии, описывающее изменение погрешности от времени. С учетом ошибки прогноза определяется значение НМХ в момент $T_{\text{МПИ}}$. Предпочтительный вариант расчета изложен в приложении Б настоящей Рекомендации.

7.7.6.7. Продолжительность исследований для подтверждения прогрессирующей погрешности должна быть не менее $\frac{1}{10}$ срока службы установленного производителем.

7.7.6.8. Пример нормирования прогрессирующей погрешности приведен в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Пример нормирования прогрессирующей погрешности

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений абсолютного давления, МПа ⁽¹⁾	от 0,2 до 34,5
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений абсолютного давления, МПа	$\pm(0,069+0,014 \cdot t)^{(1)}$
Примечание: ⁽¹⁾ t выбирается из ряда: 0; 1... n , где n – количество полных лет с момента выпуска СИ из производства	

Примечания:

1. Срок службы исчисляется с момента выпуска СИ из производства, в формате мм.гггг данных, приведенных на средстве измерений и (или) в эксплуатационном документе (паспорте, формуляре).

2. Количество полных лет с момента выпуска СИ из производства ограничено назначенным сроком службы. В случае продолжения эксплуатации СИ по завершению установленного срока службы, пределы допускаемой погрешности принимаются максимальными.

3. Срок сведений о поверке ограничен сроком службы СИ (т.е. МПИ не может превышать срок службы СИ). По завершению срока службы СИ МПИ устанавливается в соответствии с предельным значением, утвержденным Приказом Росстандарта от 02.07.2019 № 1502.

4. Нормирование прогрессирующей погрешности неприменимо для СИ, применяемых в качестве эталонов.

7.7.7. СИ-свидетели

7.7.7.1. В случаях, когда место и (или) условия эксплуатации не позволяют проводить периодическую поверку на месте, а также демонтаж СИ невозможен или экономически нецелесообразен, допускается для таких СИ проводить периодическую поверку партии СИ, находящихся в эксплуатации, на СИ-свидетелях, находящихся в подконтрольной эксплуатации (контрольная выборка). Данный метод метрологического контроля применим только для групп СИ утвержденных единичными экземплярами (с перечислением заводских номеров).

Примечание – поверка контрольной выборки неприменима для СИ, применяемых в качестве эталонов.

7.7.7.2. В описании типа СИ должно быть подробно описано назначение СИ и условия эксплуатации, доказывающие необходимость применения данного вида периодической поверки.

7.7.7.3. При проведении исследований или испытаний в целях утверждения типа СИ, в данном случае, должна быть проверена однородность дисперсий НМХ, с применением одного из принятых в математической статистике критериев, например, по критерию Кохрена, для каждой исследуемой точки диапазона СИ по каждому испытываемому СИ в рамках одной партии. В

случае отсутствия однородности, применение периодической поверки контрольной выборки невозможно.

7.7.7.4. При разработке методики поверки должны быть учтены особенности периодической поверки СИ-свидетелей – операции периодической поверки будут проводиться на контрольной выборке, а результаты поверки будут распространяться на всю группу СИ. Методикой поверки устанавливается объем контрольной выборки, по которой допускается проводить периодическую поверку. Объем контрольной выборки рекомендуется назначать в соответствии с таблицей 7.4, но должен быть не менее двух образцов.

Таблица 7.4 – Необходимый объем контрольной выборки в зависимости от количества эксплуатируемых образцов СИ

Количество эксплуатируемых образцов СИ, Q , шт.	от 1 до 10 вкл.	св. 11 до 30	от 31 и более
Объем контрольной выборки, шт., не менее	2	3	$Q/10$ (округляя до целого в меньшую сторону)

7.7.7.5. При использовании метода метрологического контроля периодической поверки контрольной выборки в описании типа СИ должны быть перечислены заводские номера как эксплуатируемых СИ, так и контрольных СИ. В документе на методику поверки в разделе «Область применения» также должны быть перечислены как эксплуатируемые СИ, так и контрольные СИ, а основные операции поверки должны относиться только к СИ, составляющим контрольную выборку. На протяжении всего времени эксплуатации СИ контрольная выборка должна находиться под контролем организации, которая будет проводить поверку, при этом контрольная выборка должна подвергаться воздействиям (влияющих факторов и (или) условий окружающей среды), близким к ожидаемым при эксплуатации СИ при помощи специального ИО. Операции первичной поверки должны включать проверку соответствия ИО условиям эксплуатации СИ и опробование. Оформление результатов поверки должно распространяться на все утвержденные заводские номера СИ при положительных результатах поверки по контрольной выборке. Первичной

поверке подвергаются все заводские номера СИ. При отрицательных результатах поверки по контрольной выборке выписываются извещения о непригодности на все заводские номера утвержденного типа СИ. Допускается разделять положительные и отрицательные результаты поверки по заводским номерам СИ. В случае функционального отказа или при отсутствии необходимости в эксплуатации одного из эксплуатируемых СИ, владелец оборудования может запросить на основании акта дефектации или акта вывода из эксплуатации извещение о непригодности на один образец СИ, если это предусмотрено методикой поверки. Функциональный отказ или вывод из эксплуатации одного из эксплуатируемых СИ не влияет на необходимый объем контрольной выборки.

7.7.8. СИ с метрологическим самоконтролем

7.7.8.1. Одним из методов обеспечения метрологической надежности СИ является применение метрологического самоконтроля. Метрологический самоконтроль необходим для контроля МХ СИ, полноценная периодическая поверка которых невозможна. Применение самоконтроля необходимо в первую очередь для таких СИ, которые как правило используются для непрерывного контроля эксплуатационных условий ответственных объектов (например: датчики измерений силы, датчики измерений температуры и т.п.), несвоевременное обнаружение нарушения работы которых может привести к аварии, выводу из строя объекта, нарушению условий обеспечения безопасности и т.п. Таким образом важно проводить оценку метрологической исправности таких СИ без их вывода из эксплуатации.

7.7.8.2. Метрологический самоконтроль обеспечивает оценку метрологической исправности интеллектуального СИ.

7.7.8.3. Метрологический самоконтроль должен опираться на дополнительные данные, получаемые за счет структурной, временной, информационной (функциональной) избыточности, имеющейся в средстве измерений или сформированной в СИ и (или) измерительной системе.

7.7.8.4. Структурная избыточность СИ предполагает использование дополнительных элементов – мер и (или) измерительных преобразователей (как

правило, первичных), число которых превышает минимально необходимое для выполнения измерений.

7.7.8.5. Структурная избыточность измерительной системы предполагает использование дополнительных элементов – мер и (или) измерительных каналов, число которых при осуществлении самоконтроля превышает минимально необходимое для выполнения измерений.

7.7.8.6. Для СИ с метрологическим самоконтролем проводится анализ методик (методов) измерений с применением СИ, содержащих процедуры оперативного и периодического контроля показателей точности результатов измерений в соответствии с ГОСТ Р 8.734.

7.8. Анализ сведений о результатах поверок

7.8.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.8.2. При проведении анализа сведений о результатах поверок для СИ утвержденного типа анализируют всю информацию во ФГИС «АРШИН» от момента утверждения типа СИ до начала (или завершения) исследований или не менее чем за год.

7.8.3. В случае признания по результатам поверки непригодными за год более 10 % СИ от общего числа прошедших поверку, СИ данного типа признают СИ с низкой надежностью. Для СИ с низкой надежностью, в том числе для СИ, срок действия утвержденного типа которых завершен, интервалы между поверками подлежат уменьшению. Изменение проводится в соответствии с порядком предусмотренным пунктами 7-13 Приложения № 1 Приказа Минпромторга России от 28.08.2020 № 2907.

7.8.4. По результатам анализа сведений о результатах поверки корректирующий коэффициент $k_{\text{над}}$ рассчитывают по формуле:

$$k_{\text{над}} = 1 - Z_{P_{\text{м.и.}}} \cdot \frac{N_{\text{и}}}{N}, \quad (7.7)$$

где $Z_{P_{\text{м.и.}}}$ – квантиль нормального распределения (см. таблицу 7.5),

где $N_{\text{и}}$ – количество СИ признанных непригодными (отрицательный результат поверки),

N – общее количество результатов поверки.

$N_{\text{и}}$ и N за один промежуток времени, подвергаемый анализу.

Таблица 7.5 – Значения критериев метрологической исправности

Область применения СИ	Вероятность метрологической исправности $P_{\text{м.и.}}$	Квантиль нормального распределения $Z_{P_{\text{м.и.}}}$
СИ применяемые в здравоохранении, экологии, при учете материальных ценностей, а также СИ, метрологический отказ которых может привести к значительным экономическим и экологическим потерям; СИ, применяемые в качестве эталонов единиц величин	0,99	2,575
	0,98	2,336
	0,95	1,959
СИ не связанные со здоровьем и жизнью людей, и СИ, метрологический отказ которых не вызывает большого ущерба	0,95	1,959
	0,9	1,645
	0,8	1,282

7.8.5. В случае отсутствия сведений о результатах поверок СИ утвержденного типа устанавливают корректирующий коэффициент $k_{\text{над}} = 0,90$. При этом, в случае проведения исследований СИ неутвержденного типа, коэффициент принимается равным 1,00.

7.9. Проведение теоретических и экспериментальных исследований поведения НМХ СИ

7.9.1. Обязательность выполнения процедуры определяется в соответствии с таблицей 4.2 настоящей рекомендации.

7.9.2. Теоретические и экспериментальные исследования поведения НМХ СИ проводятся в зависимости от времени эксплуатации и условий эксплуатации СИ.

7.9.3. Исследования направлены на обоснование достоверности экспериментальных исследований и состоят из следующих этапов:

- анализ информации о НМХ СИ;
- определение номенклатуры и значений показателей, подвергаемых контролю;
- определение наиболее подверженных изменению в зависимости от времени эксплуатации, условий и режимов эксплуатации НМХ СИ.

Включает в себя определение показателей наиболее критичных для метрологической надежности СИ. В случае если НМХ СИ по которым может приниматься решение о непригодности СИ, при отсутствии необходимости их контроля в полном объеме приводится обоснование.

Пример – Для некоторых датчиков давления НМХ являются основная погрешность и вариация показаний, в ходе исследования причин отказов подобных СИ установлено, что выход основной погрешности за нормированные пределы наступает быстрее, чем выход за нормированные пределы вариации показаний.

7.9.4. Выбор плана исследований

7.9.4.1. Проводится определение плана исследований для контроля каждого показателя, последовательность проведения исследований.

7.9.4.2. При выборе плана исследований следует руководствоваться Приложением 3 РД 50-690. Для выбора плана исследований необходимо определить вид объекта из ряда: невосстанавливаемый, восстанавливаемый и произвольный. За невосстанавливаемый и восстанавливаемый объекты можно

принять СИ, градуировка (юстировка) которых не предусмотрена эксплуатационной документацией (или методикой поверки) и предусмотрена. В зависимости от вида СИ и специфики его применения необходимо определить и обосновать необходимость замены или восстановления отказавших СИ и критерии прекращения исследований.

Пример: для современных датчиков давления характерен так называемый дрейф нуля, то есть постепенное изменение выходного сигнала при отсутствии давления (для датчиков избыточного давления). Это свойство проявляется как у датчиков промышленного назначения, так и у датчиков давления в составе СИ применяемых в качестве эталонов. В конструкции подобных датчиков зачастую предусмотрена возможность «обнуления», возврата выходного сигнала к необходимому значению. Для датчиков промышленного назначения в основном «обнуление» происходит как раз во время поверки, а во время эксплуатации зачастую невозможно. Для датчиков в составе эталонных СИ «обнуление» при необходимости производят перед каждым использованием по назначению. При планировании исследований эту специфику нужно учитывать. Дополнительно стоит отметить, что в случае принятия решения о целесообразности замены отказавших СИ речь должна идти о функциональном отказе, а не метрологическом, и должны быть установлены ограничения количества возможных замен. В противном случае при замене после метрологического отказа результаты определения метрологической надежности для типа СИ могут быть искажены, а при частых функциональных отказах может быть ошибочно определена метрологическая надежность, превышающая надежность согласно классической теории, определение которой не является целью исследований.

7.9.5. Обоснование выбора условий и режимов проведения исследований

7.9.5.1. Включает в себя исследование причин изменения НМХ во времени при эксплуатации СИ для определения оптимальных режимов и условий проведения исследований. Может включать в себя теоретическое исследование показателей надежности одного или нескольких узлов СИ,

отвечающих за его функционирование, исследование особенностей применения СИ и исследование условий применения СИ.

Пример: исследование возможных предельно допустимых режимов работы и условий окружающей среды при эксплуатации СИ, их влияние на изменение свойств отдельных узлов СИ.

Примечание – Исследование оптимальных режимов и условий проведения исследований может включать обоснование обеспечения форсированного режима, позволяющего ввести коэффициент ускорения в результат исследований.

7.9.5.2. Обоснование объема экспериментального исследования включает в себя обоснование количества исследуемых образцов СИ, длительности исследования, количества измерений, частоты контроля НМХ. Выборка по количеству СИ должна обеспечивать обоснованное принятие решений о распространении результатов исследований на весь тип испытываемых СИ. Длительность исследований и частота исследования НМХ должны быть достаточными для обеспечения обоснованности возможной рекомендации к установлению МПИ. Может включать в себя обоснование ускорения проведения исследований, например, с учетом прогноза. Обоснованием могут являться статистические методы, методы теории надежности.

Примечание – по результатам экспериментальных исследований могут быть опровергнуты или подтверждены гипотезы поведения НМХ СИ, в данном случае может быть принято решение о корректировке условий и (или) режима исследований.

7.9.6. Экспериментальные исследования

7.9.6.1. Отбор образцов СИ для исследований

Метод отбора образцов должен быть обоснован и учитывать факторы, которые необходимо контролировать, чтобы обеспечить достоверность результатов последующих исследований. План и метод отбора образцов должны быть доступны на месте проведения отбора. Планы отбора образцов должны основываться, когда это целесообразно, на соответствующих статистических

методах. Допускается отбор большего количества образцов СИ, чем необходимо для проведения исследований, с целью использования их в качестве подменных, если принято решение о возможности замены СИ, отказавших во время проведения исследований.

7.9.6.2. Предварительное определение НМХ СИ

Перед проведением исследований должны быть определены действительные значения НМХ каждого образца СИ. НМХ каждого образца при предварительном определении должны находиться в пределах допуска. Условия проведения предварительного определения НМХ должны соответствовать нормальным условиям эксплуатации СИ. Условия проведения предварительного определения НМХ и его результаты в полном объеме для каждого СИ должны быть занесены в протокол произвольной формы.

7.9.6.3. Проведение исследований

В процессе проведения исследований все образцы СИ должны быть подвержены воздействию согласно выбранным и обоснованным режимам работы при выбранных и обоснованных условиях исследований. Через равные выбранные и обоснованные промежутки времени должны исследоваться все выбранные для контроля НМХ каждого СИ. Условия проведения контроля НМХ должны соответствовать нормальным условиям эксплуатации СИ. Условия проведения контроля НМХ и его результаты в полном объеме для каждого СИ должны быть занесены в протокол произвольной формы с указанием даты его проведения. Случаи замены или восстановления СИ, отказавших во время проведения исследований, также фиксируются в протоколе произвольной формы (ведомость отказов).

7.10. Обработка результатов исследований

Обработка результатов должна соответствовать выбранным и обоснованным объемам, видам и номенклатуре исследуемых показателей. Обработка может быть основана на статистических методах и/или методах теории надежности или на их комбинации. Допускается обработка согласно

нескольким алгоритмам, при наличии обоснования необходимости. Приоритетным алгоритмом статистической обработки результатов экспериментальных исследований согласно РМГ 74 является регрессионный анализ. Алгоритм обработки результатов экспериментальных исследований с применением регрессионного анализа приведен в Приложении Б настоящей рекомендации. Промежуточные значения, полученные в ходе обработки результатов экспериментальных исследований, такие как средние значения НМХ, дисперсии, значения критериев, коэффициенты регрессии и т.п. в зависимости от выбранного алгоритма обработки должны быть зафиксированы в протоколе произвольной формы в объеме достаточном для полной проверки полученных данных.

8. Выборочная поверка СИ

8.1. Проведение первичной поверки СИ одного типа при выпуске их из производства осуществляется с применением выборочной поверки, если это предусмотрено методикой поверки. В методике поверки указывают критерии, процедуры по формировании выборки, а также процедуры анализа результатов выборочной первичной поверки. Периодической поверке подвергается каждый экземпляр СИ.

8.2. Критерии достоверности устанавливаются в соответствии с МИ 187 и используются в качестве основных при установлении значений параметров методик поверки.

8.3. В качестве методических указаний при установлении значений параметров методик поверки СИ по заданным критериям достоверности поверки необходимо руководствоваться МИ 188.

Примечание – Выборочная поверка не допускается для СИ, применяемых в качестве эталонов.

8.4. Применение выборочной первичной поверки СИ обосновано в случаях, когда производство СИ осуществляется последовательными

однородными партиями, а контроль качества выпускаемых СИ осуществляется на всех этапах производства.

8.5. Методика выборочной первичной поверки СИ может быть реализована, если каждая партия произведенных СИ состоит из одной модификации и одного варианта исполнения СИ, произведенных в одинаковых условиях в один и тот же период времени.

8.6. Примечание – При выборе плана и схемы выборочного контроля следует руководствоваться стандартами серий ГОСТ Р ИСО 2859 или ГОСТ Р ИСО 3951.

8.7. По итогам определения критериев достоверности в документе на методику поверки устанавливают: приёмочное число, браковочное число, объем выборки (количество предоставляемых в поверку СИ). При этом объем выборки зависит от объема партии.

8.8. Выбор СИ для составления выборки проводят с помощью применения случайных чисел после того, как все единицы продукции сформированы в партию.

8.9. Требования к отбору СИ в выборку при проведении первичной поверки на производстве могут быть оформлены отдельным документом системы менеджмента качества.

8.10. Результаты выборочной поверки распространяются на всю партию. Партию считают соответствующей требованиям описания типа, если число дефектных единиц в выборке меньше или равно приемочному числу, и несоответствующей, если число дефектных единиц в выборке равно или больше браковочного числа.

8.11. Этапы работ при оценке возможности применения выборочной первичной поверки СИ представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Содержание этапов работ

Этапы работ	Результат
<p>1 этап</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ производства СИ (см. п. 7.4 настоящей рекомендации); - Изучение технологического процесса в технологической последовательности по всем операциям с указанием переходов, технологических режимов и данных о средствах технологического оснащения; - Изучение и оценка нормативной и технической документации 	<ul style="list-style-type: none"> - заключение по результатам обследования производства с целью выявления возможности выпускать продукцию со стабильно высоким качеством; - заключение о возможности применения выборочной первичной поверки СИ при выпуске из производства до ввода в эксплуатацию
<p>2 этап</p> <ul style="list-style-type: none"> - Обоснование и опробование возможности применения метода отбора образцов для выборочной поверки; - Разработка проекта методики поверки с возможностью выборочной первичной поверки партии СИ; - Опробование методики поверки 	<ul style="list-style-type: none"> - Методика поверки с выборочной поверкой

9. Алгоритм определения динамических интервалов и критерии их назначения

9.1. Принятие решения о назначении динамических МПИ осуществляется по:

- анализу практики применения динамических МПИ для СИ аналогичной конструкции и принципа действия;
- анализу особенностей конструкции СИ и его структурных элементов;

- анализу зависимости дрейфа МХ от времени.

Динамические МПИ целесообразно назначать в следующих случаях:

- средняя наработка до отказа СИ соизмерима с МПИ;
- для СИ есть ярко выраженный период приработки;
- для СИ аналогичной конструкции и принципа действия установлены

динамические МПИ.

9.2. По результатам анализа конструкции СИ должен быть сделан один из следующих выводов:

1. Не известна точная конструкция СИ, или СИ не является структурно-сложным.

2. СИ является структурно-сложным, известна конструкция, но нет данных о зависимости ВБР элементов СИ от времени.

3. СИ является структурно-сложным, известна конструкция и есть данные о зависимости ВБР элементов СИ от времени.

4. СИ является структурно-сложным, известны критичные элементы и есть данные об их среднем ресурсе.

В случае 1 динамические МПИ могут быть назначены только после проведения соответствующих исследований. Принятие решения происходит по алгоритму рисунка 9.1.

В случаях 2, 3, 4 необходимо выявить критичные элементы СИ с помощью соответствующей методики (Приложение Г).

9.3. Если для критичных элементов известны зависимости ВБР от времени (могут быть получены из справочников), то МПИ назначаются таким образом, чтобы конечный МПИ не вышел за пределы временной шкалы, где ВБР критичного элемента принимает значение ниже минимально допустимого. Если такие зависимости неизвестны, то необходимо определить среднюю наработку до отказа каждого критичного элемента путем исследований.

9.4. Во всех случаях после исчерпания срока службы для СИ назначается минимально возможный МПИ.

9.5. В результате алгоритма рисунка 9.1 могут быть определены следующие варианты назначения динамических МПИ.

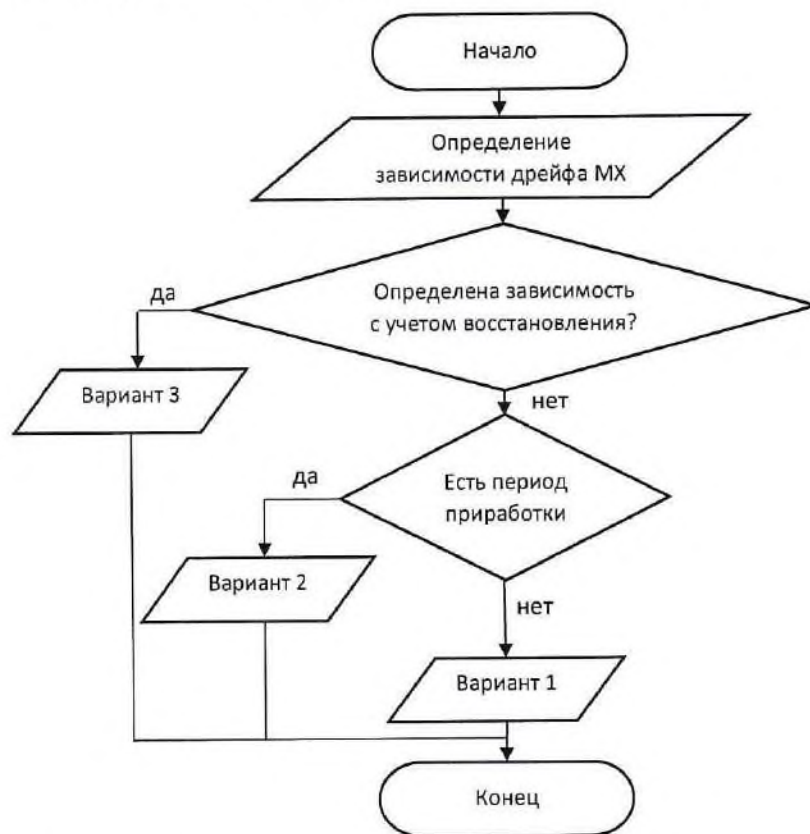


Рисунок 9.1 – Алгоритм выбора варианта динамических МПИ

Вариант 1. Начальный МПИ назначается по результатам испытаний до метрологического отказа, последующие МПИ равны начальному до того момента, пока МХ не выйдут за установленные пределы, корректировка должна происходить по результатам поверки или калибровки.

Вариант 2. Начальный МПИ назначается равным периоду приработки, последующие назначаются равными МПИ, определенному по результатам испытаний до метрологического отказа.

Вариант 3. Кривая дрейфа МХ при наличии метрологического восстановления определяется по результатам испытаний на метрологическую долговечность, закон изменения МПИ от времени эксплуатации определяется на основе анализа полученной кривой дрейфа МХ.

10. Определение продолжительности МПИ

10.1. По результатам исследований МПИ определяется по следующей формуле:

$$T_{\text{МПИ}} = T_{\text{ИСП}} \cdot k_{\text{над}} \cdot k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{гар}}. \quad (10.1)$$

10.2. Допускается устанавливать различные рекомендуемые интервалы между поверками для разных модификаций (исполнений) СИ или для разных диапазонов измерений, погрешностей измерений, в рамках одного типа СИ.

10.3. В случае если выполнение требований процедуры в соответствии с таблицей 4.2 не обязательно и раздел не включался в методику определения МПИ СИ, соответствующий коэффициент принимается равным 1,00.

10.4. Для СИ с низкой надежностью, в том числе для СИ, срок действия утвержденного типа которых завершен, за $T_{\text{ИСП}}$ принимают текущее значение МПИ, а $k_{\text{над}}$ – определённый по результатам п. 7.8 настоящей рекомендации, остальные коэффициенты принимаются равными 1,00.

10.5. В случае определения МПИ расчетным методом по нормированным характеристикам надежности расчет производят в соответствии с рекомендациями, приведенными в РМГ 74 и (или) на основе анализа интервалов между поверками аналогичных средств измерений.

11. Оформление результатов исследований

11.1. В процессе исследований оформляют протоколы исследований, по окончании формируют отчет.

11.2. Титульный лист отчета и (или) каждый протокол должны содержать следующую информацию:

- полное наименование испытуемого СИ;
- наименование и адрес заявителя;
- наименование и адрес (адреса) изготовителя (изготовителей) СИ;
- место проведения исследований;
- заводские номера образцов СИ, представленных на исследования;
- наименование методики;

- количество протоколов в отчете и общее количество листов.

11.3. Отчет оформляется на бумажном носителе, все страницы отчета нумеруются, каждый лист отчета подписывается исполнителем (исполнителями), титульный лист отчета утверждается руководителем организации или уполномоченным лицом, и заверяется печатью, под подписью указывается дата утверждения отчета.

11.4. Общие требования к оформлению протоколов установлены пунктом 24 приложения № 1 к приказу № 2905.

11.5. С учетом требований приказа № 2905 протоколы должны содержать общие сведения о проведении исследований и непосредственно результаты исследований, с учетом особенностей, оговоренных в настоящей рекомендации.

11.6. Общие сведения о проведении исследований, отражаемые в каждом протоколе, включают сведения о сроках проведения исследований, об эталонах единиц величин, СИ, ИО и вспомогательном оборудовании, применяемых при исследованиях, а также сведения о соответствии применяемых для исследований технических средств требованиям методики, сведения о месте и условиях проведения исследований.

11.7. Результаты по исследованию НМХ СИ должны содержать полученные значения НМХ.

11.8. Протокол определения МПИ должен содержать рекомендуемое значение МПИ, определенное по результатам исследований на метрологический отказ.

11.9. Выводы должны содержать:

- рекомендуемое значение МПИ (в том числе вывод о необходимости распространения МПИ на находящиеся в эксплуатации СИ и на вновь изготавливаемые СИ, в случае, если СИ утвержденного типа);
- информацию о соответствии полученного МПИ предельному значению, установленному Приказом Росстандарта от 07.02.2019 № 1502;
- необходимость назначения динамических интервалов между поверками (при необходимости);
- возможность применения выборочной поверки.

Программа анализа производства

Объект проверки	Содержание проверки	Форма предоставления информации	Результат проверки	Оценка в баллах
Документация	Документация в соответствии с требованиями технического регламента или нормативными документами в отношении изготавливаемых СИ или процесса их производства	Нормативная, конструкторская, технологическая, организационно-распорядительная документация. Документированные процедуры, стандарты организации и др.	Есть/ нет	1/0
	Документация, необходимая для поддержания в рабочем состоянии эталонов, СИ, технологического оборудования	Эксплуатационная документация, графики проверок/калибровок/технического обслуживания. Нормативная, конструкторская, технологическая, организационно-распорядительная документация	Есть/ нет	1/0
	Документация, описывающая выполнение специальных процессов и контрольных операций, связанных с формированием и контролем требований к выпускаемым СИ	Операционные карты, технологические инструкции, методики выполнения измерений, графики периодических испытаний. Нормативная, конструкторская, технологическая, организационно-распорядительная документация. Эксплуатационная документация на выпускаемые СИ.	Есть/ нет	1/0

Объект проверки	Содержание проверки	Форма предоставления информации	Результат проверки	Оценка в баллах
	Документация, устанавливающая требования к проведению входного контроля (сырья, материалов, комплектующих изделий)	Документированные процедуры, стандарты организации и др.	Есть/нет	1/0
	Документация, определяющая обязательные требования к персоналу	Организационно-распорядительная документация (инструкции, приказы и т.п.)	Есть/нет	1/0
Опыт производства СИ	Место осуществления деятельности, дата, с которой начинается осуществление заявленного вида (видов) деятельности, выполняемые работы и услуги	Уведомление об осуществлении деятельности и др.	Есть/нет	1/0
Компетентность персонала	Сведения о работниках, выполняющих работы по обеспечению производства СИ	Структура предприятия. Организационно-распорядительная документация (инструкции, приказы и т.п.)	Таблица А.2	от 0 до 3* (см. Таблицу А.2)

Объект проверки	Содержание проверки	Форма предоставления информации	Результат проверки	Оценка в баллах
Эталоны единиц величин, СИ, ИО	Документированные процедуры, стандарты организации и др.	Документируемые процедуры по обращению с эталонами единиц величин. Журнал регистрации условий окружающей среды. График аттестации, поверки, калибровки эталонов единиц величин, СИ, ИО. Подтверждение соответствия условий эксплуатации эталонов единиц величин, средств измерений, ИО, установленным в документации.	Есть/нет	1/0
	Наличие необходимых эталонов единиц величин, средств измерений, используемых для контроля характеристик, изготавливаемых СИ, ИО.	Сведения об аттестации эталонов единиц величин или о поверке (калибровке) СИ. Наличие сведений о праве собственности или ином законном основании, предусматривающем право владения и (или) пользования эталонами единиц величин, СИ, ИО	Таблица А.3	от 0 до 5 (см. Таблицу А.3)
Инфраструктура производства	Объекты, находящиеся на территории изготовителя и необходимые для организации производства (производственные помещения)	Технические регламенты. План территории, планировка помещений. Наличие сведений о праве собственности или ином законном основании, предусматривающем право владения и (или)	Таблица А.4	от 0 до 4 (см. Таблицу А.4)

Объект проверки	Содержание проверки	Форма предоставления информации	Результат проверки	Оценка в баллах
		пользования помещениями.		
Входной контроль закупленной продукции (сырья, материалов, комплектующих изделий)	Документация, устанавливающая требования к проведению входного контроля (сырья, материалов, комплектующих изделий)	Документированные процедуры, стандарты организации и др.	Есть /нет	1/0
Технологические процессы	Выполнение валидации технологических процессов связанных с формированием характеристик СИ, для которых установлены обязательные требования	Документированные процедуры, стандарты организации, программы валидации, протоколы валидации, материалы аттестации технологических процессов	Есть /нет	1/0

Объект проверки	Содержание проверки	Форма предоставления информации	Результат проверки	Оценка в баллах
Приемочный контроль и периодические испытания выпускаемых СИ, связанные с контролем характеристик, требования к которым установлены нормативным и и/или техническими документами	Выполнение установленных требований по проведению приемосдаточных, периодических и типовых испытаний СИ	Конструкторская документация, в т.ч. Технические условия или Техническое задание. Программы испытаний, протоколы испытаний, акты испытаний. Документированные процедуры, стандарты организации	Есть/нет	1/0
	Наличие в структуре предприятия отдела технического контроля. Выполнение требований установленных нормативными, техническими и конструкторскими документами на СИ	Структура предприятия. Эксплуатационная документация на выпускаемые СИ (паспорт, формуляр и др.).	Есть/нет	1/0

Объект проверки	Содержание проверки	Форма предоставления информации	Результат проверки	Оценка в баллах
Идентификация СИ, прослеживаемость, маркировка и условия хранения	Выполнение требований, установленных нормативными, техническими и конструкторскими документами на СИ, к составу маркируемых данных, способам и качеству их нанесения на СИ	Конструкторская документация, в т.ч. Технические условия или Техническое задание. Документированные процедуры, стандарты организации	Есть/нет	1/0

Примечание – допускается дополнение содержания проверки для каждого объекта проверки настоящей программы анализа состояния производства с учетом специфики изготавливаемых СИ, объема и продолжительности производства, стабильности условий производства.

Проводится оценка предоставленных сведений о документировании процессов, оснащенности оборудованием и компетентности персонала. Критерии оценки от «0» до «24», где:

от «0» до «10» - низкий уровень;
от «11» до «15» - средний уровень;
от «15» до «20» - достаточный уровень;
от «21» до «24» - высокий уровень.

Выводы:

«низкий уровень» – отрицательный результат;

«средний уровень» – положительный результат для СИ, не связанных со здоровьем и жизнью людей, и СИ, метрологический отказ которых не вызывает большого ущерба. Однако не достаточен для обеспечения постоянного (стабильного) соответствия серийно выпускаемой продукции для возможности применения выборочной поверки;

«достаточный уровень» и «высокий уровень» – положительный результат для СИ применяемых в здравоохранении, экологии, при учете материальных ценностей, а также СИ, метрологический отказ которых может привести к значительным экономическим и экологическим потерям; СИ применяемых в качестве эталонов единиц величин. «Достаточный» и «высокий» уровни обеспечивают постоянное (стабильное) соответствие серийно выпускаемой продукции для возможности применения выборочной поверки.

Таблица А.2 – Сведения о персонале, выполняющем работы по обеспечению производства, метрологическому обеспечению, поддержанию соответствия установленным требованиям и качеству выпускаемых СИ

№ п/п	Сведения о персонале	Кол-во, чел	Подразделение в соответствии с структурой предприятия	Уровень образования (среднее, среднее специальное, высшее (бакалавр, магистр))	Практический опыт работы (в годах)
	<i>ведущий инженер</i>				
	<i>инженер</i>				
	<i>главный конструктор</i>				
	<i>конструктор</i>				
	<i>главный метролог</i>				
	<i>метролог</i>				
	...				

Проводится оценка соответствия необходимого и достаточного количества работников для обеспечения производства продукции. Критерии оценки от «0» до «3», где:

«0» - сведения о персонале отсутствуют;

«1» - имеется персонал обеспечивающий сборку (производство) СИ;

«2» - имеется персонал обеспечивающий сборку (производство) СИ, имеется персонал по метрологическому обеспечению;

«3» - имеется персонал обеспечивающий сборку (производство) СИ, имеется персонал по метрологическому обеспечению; персонал обеспечивающий поддержание соответствия установленным требованиям и качество выпускаемых СИ.

Таблица А.3 – Сведения по оснащённости эталонами единиц величин, СИ, ИО

№	Эталоны единиц величин, СИ, ИО	МХ СИ (эталона)		Сведения об аттестации эталонов единиц величин или о поверке (калибровке) СИ (номер, дата, срок действия)	Право собственности или иное законное основание, предусматривающее право владения и (или) пользования
		Диапазон измерений	Погрешность и (или) неопределённость (класс, разряд)		
	<i>наименование, тип</i>				

Проводится оценка оснащённости оборудованием необходимого и достаточного для метрологического обеспечения производства. Критерии оценки от «0» до «5», где:
 «0» - оборудование с подтверждённым правом собственности или иным законным основанием, предусматривающим право владения и (или) пользования отсутствует;
 «1» - оборудование обеспечивает контроль характеристик, изготавливаемых СИ, но не в полном объеме и (или) отсутствуют сведения об аттестации эталонов единиц величин или о поверке (калибровке), но оборудование с неподтверждённым правом собственности или иным законным основанием, предусматривающим право владения и (или) пользования;

«2» - предоставлены сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования оборудованием; оборудование обеспечивает контроль характеристик, изготавливаемых СИ, но не в полном объеме и (или) отсутствуют сведения об аттестации эталонов единиц величин или о поверке (калибровке);

«3» - предоставлены сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования оборудованием; оборудование полностью обеспечивает контроль характеристик, изготавливаемых СИ; сведения об аттестации эталонов единиц величин или о поверке (калибровке) предоставлены не в полном объеме;

«4» - предоставлены сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования оборудованием; оборудование полностью обеспечивает контроль, изготавливаемых СИ, предоставлены полные сведения об аттестации эталонов единиц величин или о поверке (калибровке);

«5» - предоставлены сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования оборудованием; оборудование полностью обеспечивает контроль, изготавливаемых СИ, предоставлены полные сведения об аттестации эталонов единиц величин или о поверке (калибровке); есть дублирующее оборудование.

Примечание – оценка «4» или «5» может присвоена только в случае предоставления графиков аттестации (поверки, калибровки) и обеспечения непрерывности (периодичности) сведений о аттестации эталонов единиц величин или о поверке (калибровке).

Таблица А.4 – Сведения по оснащенности помещениями

№	Назначение помещения	Площадь, м ²	Характер и объем выполняемых работ	Право собственности или иное законное основание, предусматривающее право владения и (или) пользования
	<i>производственные</i>			
	<i>измерительная лаборатория</i>			
<p>Проводится оценка оснащенности помещениями необходимого и достаточного обеспечения производства. Критерии оценки от «0» до «4», где:</p> <p>«0» - сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования отсутствуют;</p> <p>«1» - представлены сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования;</p> <p>«2» - имеется собственная производственная площадка; представлены сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования;</p> <p>«3» - имеется собственная измерительная лаборатория; представлены сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования;</p> <p>«4» - имеются производственные площадки и измерительные лаборатории; представлены сведения о праве собственности или ином законном основании, предусматривающим право владения и (или) пользования.</p>				

Алгоритм обработки результатов экспериментальных исследований с применением регрессионного анализа

Первым этапом обработки информации, полученной в ходе испытаний, является обработка результатов предварительного определения НМХ выборки. Для случая НМХ, меняющихся в зависимости от точки диапазона (например – основная погрешность), установленные значения НМХ каждого j -ого СИ ($j = \overline{1, N}$) из выборки в каждой k -ой точке диапазона измерений ($k = \overline{1, n}$) в i -ый момент контроля НМХ ($i = \overline{1, L}$) обозначим $X_{jk}(t_i)$. Для случая НМХ, не зависящей от диапазона (например – скорость опускания манометров грузопоршневых), или для случая однозначных мер установленные значения НМХ каждого j -ого СИ из выборки при каждом k -ом измерении в i -ый момент контроля обозначим $X_{jk}(t_i)$. В каждый момент контроля НМХ, включая предварительное определение ($i = 1$) для каждого j -ого СИ рассчитывают среднее значение НМХ $\overline{X}_j(t_i)$ в момент времени t_i , где $\overline{X}_j(t_i)$ находится по формуле

$$\overline{X}_j(t_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{jk}(t_i). \quad (\text{Б.1})$$

Для дальнейшей реализации методов регрессионного анализа необходимо убедиться в однородности дисперсий среднего значения НМХ. Дисперсия НМХ каждого j -ого СИ в момент времени t_i находится по формуле

$$S_j^2(t_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_{jk}(t_i) - \overline{X}_j(t_i))^2, \quad (\text{Б.2})$$

Для проверки дисперсий на однородность выбран критерий Кохрена. Данный критерий предназначен для выборок равных объемов, значит значение n для каждого j -ого СИ в выборке должно быть одинаковым.

Для проверки дисперсий на однородность по критерию Кохрена рассчитывают

$$G_{max}(t_i) = \frac{\max_{1 \leq j \leq N} S_j^2(t_i)}{\sum_{j=1}^N S_j^2(t_i)}. \quad (\text{Б.3})$$

Если выполняется неравенство

$$G_{max}(t_i) < G_{N,v,p}, \quad (\text{Б.4})$$

где $G_{N,v,p} = G_{N,n-1,1-\alpha}$ – табличное значение критерия Кохрена при $v=n-1$ степенях свободы, уровнем значимости α ($\alpha = 0,05$) для сравнения N дисперсий.

В случае, если неравенство (Б.4) не выполняется – необходимо переходить к другим, более сложным математическим моделям. Например, для случая НМХ, меняющихся в зависимости от точки диапазона можно усложнить план эксперимента, а именно проводить несколько серий измерений и находить коэффициенты регрессии к каждой точке диапазона или к каждому СИ с последующей проверкой гипотезы о неразличимости линейных регрессий. Если нет возможности усложнения плана эксперимента, необходимо использовать другой подход к оценке коэффициентов линейной регрессии, а именно заменить обычный метод наименьших квадратов на взвешенный метод наименьших квадратов, при использовании которого учитывается неоднородность экспериментальных данных.

Выполнение неравенства (Б.4) означает, что дисперсии $S_j^2(t_i)$ и выборку объема N СИ данного рода можно считать однородной. Далее необходимо рассчитать среднее значение НМХ в момент времени t_i $\bar{\bar{X}}(t_i)$ по формуле

$$\bar{\bar{X}}(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{X}_j(t_i) = \frac{1}{nN} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^n X_{jk}(t_i). \quad (\text{Б.5})$$

Методом наименьших квадратов рассчитывают коэффициенты линейной регрессии \hat{a} и \hat{b} по следующим формулам

$$\widehat{\bar{\bar{X}}(t_i)} = \hat{a} + \hat{b}t_i, \quad (\text{Б.6})$$

где

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^L \bar{\bar{X}}(t_i) - \hat{b}t_i}{L}, \quad (\text{Б.7})$$

$$\hat{b} = \frac{L \sum_{i=1}^L t_i \bar{\bar{X}}(t_i) - \sum_{i=1}^L t_i \sum_{i=1}^L \bar{\bar{X}}(t_i)}{L \sum_{i=1}^L t_i^2 - (\sum_{i=1}^L t_i)^2}. \quad (\text{Б.8})$$

Далее необходимо проверить значимость оценок коэффициентов регрессии. Для этого необходимо установить, достаточна ли величина оценки для статистически обоснованного вывода о том, что коэффициент регрессии

отличен от нуля. Для этого проверяют гипотезу о равенстве нулю коэффициента регрессии

$$\hat{b} = 0, \quad (\text{Б.9})$$

Проверяют гипотезу по критерию Стьюдента

$$|\hat{b}| \leq t_{\alpha, L-2} \hat{S}_b, \quad (\text{Б.10})$$

где \hat{b} - по формуле (Б.8); $t_{\alpha, L-2}$ - коэффициент Стьюдента с уровнем значимости α и $L-2$ степенями свободы; \hat{S}_b - оценка среднеквадратического отклонения коэффициента регрессии.

Расчет \hat{S}_b проводится по следующим формулам

$$\hat{S}_b = \frac{S}{S_{\bar{t}} \sqrt{L-1}}; \quad (\text{Б.11})$$

$$S^2 = \frac{1}{L-2} \sum_{i=1}^L (\bar{X}(t_i) - \hat{a} - \hat{b}t_i)^2; \quad (\text{Б.12})$$

$$S_{\bar{t}}^2 = \frac{1}{L-2} \sum_{i=1}^L (t_i - \bar{t})^2; \quad (\text{Б.13})$$

$$\bar{t} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L t_i, \quad (\text{Б.14})$$

Выполнение неравенства (Б.10) обозначает, что коэффициент регрессии незначителен на фоне своих доверительных границ. Это говорит о необходимости изменить период времени контроля стабильности МХ СИ $\Delta T_L = L\Delta t$, путем увеличения значений L или Δt , или обоих - L и Δt вместе.

Если неравенство (Б.10) не выполняется, то проверяют гипотезу об адекватности регрессии (Б.6). Для проверки регрессии на адекватность обычно применяют критерий Фишера. Согласно данному критерию количественной мерой адекватности является отношение дисперсии S^2 , определяемой рассеянием значений $\bar{X}(t_i)$ вокруг линии регрессии, к дисперсии S_X^2 естественного рассеяния значений $X_{jk}(t_i)$ вокруг своих средних $\bar{X}(t_i)$. Для проверки уравнения регрессии на адекватность рассчитывают

$$F = \frac{S^2}{S_X^2}, \quad (\text{Б.15})$$

где S^2 - определяется формулой (Б.12),

$$S_X^2 = \frac{1}{LN} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^N S_j^2(t_i) = \frac{1}{nLN} \sum_{k=1}^n (X_{jk}(t_i) - \bar{X}_j(t_i))^2, \quad (\text{Б.16})$$

где $S_j^2(t_i)$ определяется по формуле (Б.2).

Далее проверяют неравенство

$$F \leq F_{\alpha, L-2, N(n-1)}, \quad (\text{Б.17})$$

где $F_{\alpha, L-2, N(n-1)}$ - квантиль распределения Фишера с уровнем значимости α и $L-2$ и $N(n-1)$ степенями свободы,

Если неравенство (Б.17) не выполняется, то модель (Б.6) неадекватна экспериментальным данным и ее необходимо усложнять, например, квадратичной функцией. Если неравенство выполняется, то модель адекватна и может быть применена для дальнейшего расчета МПИ.

Значение $T_{\text{исп}}$ определяется по формуле

$$T_{\text{исп}} = \operatorname{argmax} \begin{cases} \left| \widehat{\bar{X}}(t) + t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)} \cdot S(\widehat{\bar{X}}(t)) \right| = \Delta_{\text{СИ}} \\ \left| \widehat{\bar{X}}(t) - t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)} \cdot S(\widehat{\bar{X}}(t)) \right| = \Delta_{\text{СИ}} \end{cases} \quad (\text{Б.18})$$

где $t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)}$ - с уровнем значимости α и $LN(n-1)$ степенями свободы;

$\widehat{\bar{X}}(t)$ определяют по (Б.6) при $t_i = t$;

$$S(\widehat{\bar{X}}(T_{\text{ц}})) = S_X \sqrt{1 + \frac{1}{L} + \frac{(t-\bar{t})^2}{\sum_{i=1}^L (t_i - \bar{t})^2}}, \quad (\text{Б.19})$$

где $\bar{t} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L t_i$; S_X - по формуле (Б.16).

**Пример обработки результатов экспериментальных исследований с
применением регрессионного анализа**

Исходные данные:

Количество исследуемых образцов СИ $N = 4$;

Количество измерений при контроле НМХ $n = 12$;

Продолжительность исследований $L = 9$ контрольных промежутков;

Интервал времени между процедурами контроля НМХ $\Delta t = 28$ дней;

Предел допускаемого значения НМХ $X_{\text{доп}} = 0,1$;

Результат обработки одной процедуры контроля на примере предварительного определения НМХ представлен в таблицах 1-2.

Таблица 1 – Предварительное определение НМХ

№ измерения	НМХ образца № 1, $X_{1k}(t_1), \%$	НМХ образца № 2, $X_{2k}(t_1), \%$	НМХ образца № 3, $X_{3k}(t_1), \%$	НМХ образца № 4, $X_{4k}(t_1), \%$
$k = 1$	0,012	0,004	0,009	0,009
$k = 2$	0,027	0,033	0,030	0,035
$k = 3$	0,025	0,038	0,025	0,038
$k = 4$	0,023	0,042	0,023	0,029
$k = 5$	0,023	0,041	0,016	0,016
$k = 6$	0,022	0,035	0,010	0,003
$k = 7$	0,011	0,006	0,012	0,012
$k = 8$	0,032	0,030	0,026	0,042
$k = 9$	0,031	0,038	0,025	0,038
$k = 10$	0,023	0,042	0,023	0,029
$k = 11$	0,023	0,035	0,016	0,016
$k = 12$	0,022	0,035	0,010	0,010
$\bar{X}_1(t_1) = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} X_{1k}(t_1) = 0,0228 \%$; $\bar{X}_2(t_1) = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} X_{2k}(t_1) = 0,0314 \%$; $\bar{X}_3(t_1) = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} X_{3k}(t_1) = 0,0188 \%$; $\bar{X}_4(t_1) = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} X_{4k}(t_1) = 0,0232 \%$; $\bar{\bar{X}}(t_1) = \frac{1}{4 \cdot 12} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^{12} X_{jk}(t_1) = 0,024 \%$.				

Таблица 2 – Расчет дисперсии среднего значения НМХ при предварительном определении НМХ

№ измерения	$(X_{1k}(t_1) - \bar{X}_1(t_1))^2$	$(X_{2k}(t_1) - \bar{X}_2(t_1))^2$	$(X_{3k}(t_1) - \bar{X}_3(t_1))^2$	$(X_{4k}(t_1) - \bar{X}_4(t_1))^2$
$k = 1$	$1,194 \cdot 10^{-4}$	$7,673 \cdot 10^{-4}$	$1,009 \cdot 10^{-4}$	$1,903 \cdot 10^{-4}$
$k = 2$	$1,890 \cdot 10^{-5}$	$1,759 \cdot 10^{-6}$	$1,318 \cdot 10^{-4}$	$1,318 \cdot 10^{-4}$
$k = 3$	$5,640 \cdot 10^{-6}$	$3,880 \cdot 10^{-5}$	$4,077 \cdot 10^{-5}$	$2,106 \cdot 10^{-4}$
$k = 4$	$1,526 \cdot 10^{-9}$	$1,029 \cdot 10^{-4}$	$1,640 \cdot 10^{-5}$	$3,510 \cdot 10^{-5}$
$k = 5$	$6,894 \cdot 10^{-9}$	$1,004 \cdot 10^{-4}$	$5,395 \cdot 10^{-6}$	$4,486 \cdot 10^{-5}$
$k = 6$	$5,613 \cdot 10^{-7}$	$9,641 \cdot 10^{-6}$	$8,535 \cdot 10^{-5}$	$3,946 \cdot 10^{-4}$
$k = 7$	$1,483 \cdot 10^{-4}$	$6,350 \cdot 10^{-4}$	$3,961 \cdot 10^{-5}$	$1,138 \cdot 10^{-4}$
$k = 8$	$8,737 \cdot 10^{-5}$	$1,378 \cdot 10^{-6}$	$5,052 \cdot 10^{-5}$	$3,603 \cdot 10^{-4}$
$k = 9$	$7,439 \cdot 10^{-5}$	$3,880 \cdot 10^{-5}$	$4,077 \cdot 10^{-5}$	$2,106 \cdot 10^{-4}$
$k = 10$	$1,526 \cdot 10^{-9}$	$1,029 \cdot 10^{-4}$	$1,640 \cdot 10^{-5}$	$3,510 \cdot 10^{-5}$
$k = 11$	$6,894 \cdot 10^{-9}$	$1,422 \cdot 10^{-5}$	$5,395 \cdot 10^{-6}$	$4,486 \cdot 10^{-5}$
$k = 12$	$5,613 \cdot 10^{-7}$	$9,641 \cdot 10^{-6}$	$8,535 \cdot 10^{-5}$	$1,853 \cdot 10^{-4}$
$S_1(t_1) = \frac{1}{12-1} \sum_{k=1}^{12} (X_{1k}(t_1) - \bar{X}_1(t_1))^2 = 4,138 \cdot 10^{-5};$ $S_2(t_1) = \frac{1}{12-1} \sum_{k=1}^{12} (X_{2k}(t_1) - \bar{X}_2(t_1))^2 = 1,657 \cdot 10^{-5};$ $S_3(t_1) = \frac{1}{12-1} \sum_{k=1}^{12} (X_{3k}(t_1) - \bar{X}_3(t_1))^2 = 5,624 \cdot 10^{-5};$ $S_4(t_1) = \frac{1}{12-1} \sum_{k=1}^{12} (X_{4k}(t_1) - \bar{X}_4(t_1))^2 = 1,779 \cdot 10^{-4}.$				

$$\sum_{j=1}^4 S_j^2(t_1) = 4,41 \cdot 10^{-4};$$

$$\max_{1 \leq j \leq 4} S_j^2(t_1) = 1,78 \cdot 10^{-4};$$

$$G_{max}(t_1) = \frac{\max_{1 \leq j \leq 4} S_j^2(t_1)}{\sum_{j=1}^4 S_j^2(t_1)} = 0,40;$$

$$G_{4,11,0,05} = 0,554;$$

$G_{max}(t_1)$ меньше табличного значения критерия Кохрена, следовательно, дисперсии однородные. Рекомендуется повторять проверку при каждом t_i .

Таблица 3 – Результаты определения среднего значения НМХ и определения коэффициентов регрессии

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
$\bar{X}(t_i)$	0,024	0,019	0,015	0,013	0,020	0,012	0,012	0,013	0,020
t_i , дн	0	28	56	84	112	140	168	196	224
t_i^2	0	784	3136	7056	12544	19600	28224	38416	50176
$t_i \bar{X}(t_i)$	0,000	0,519	0,826	1,105	2,275	1,636	2,019	2,608	4,497
$t_i - \bar{t}$	-112	-84	-56	-28	0	28	56	84	112
$(t_i - \bar{t})^2$	12544	7056	3136	784	0	784	3136	7056	12544

$$\sum_{i=1}^9 \bar{X}(t_i) = 0,148; \quad \sum_{i=1}^9 t_i = 1008; \quad \sum_{i=1}^9 t_i^2 = 159936; \quad (\sum_{i=1}^9 t_i)^2 = 1016064; \quad \sum_{i=1}^9 t_i \bar{X}(t_i) = 15,485;$$

$$\hat{b} = -0,00002;$$

$$\hat{a} = 0,019;$$

$$\widehat{\bar{X}(t)} = [0,019 - 0,00002 t] \text{ \%}.$$

Таблица 4 – Результаты проверки гипотезы $\hat{b} = 0$

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
$\bar{X}(t_i) - \hat{a} - \hat{b}t_i$	0,0051	0,0002	-0,0030	-0,0039	0,0039	-0,0041	-0,0031	-0,0012	0,0062
$(\bar{X}(t_i) - \hat{a} - \hat{b}t_i)^2 \cdot 10^{-6}$	25,505	0,032	8,780	15,374	15,026	16,845	9,814	1,433	38,599
$S^2 = 1,88 \cdot 10^{-5}; S_t^2 = 6720; \bar{t} = 112;$ $\hat{S}_b = 9,88 \cdot 10^{-10}; t_{0,05,7} = 1,25;$ $t_{\alpha,L-2} \hat{S}_b = 1,23 \cdot 10^{-9} \leq \hat{b};$ гипотеза подтверждена.									

Таблица 5 – Проверка гипотезы об адекватности регрессии

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
$S_f^2(t_i)$	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001
$S^2 = 1,88 \cdot 10^{-5}; S_X^2 = 1,42 \cdot 10^{-4}; F_{0,05,7,44} = 3,23;$ $F = 0,13 \leq F_{\alpha, L-2, N(n-1)},$ следовательно, модель адекватна.									

Определение МПИ по результатам исследований:

$$\widehat{\bar{X}(t)} = [0,019 - 0,00002 t] \%$$

$$\text{При } t = T_{\text{МПИ}}: \bar{X}(T_{\text{МПИ}}) = -0,006 \%; S(\bar{X}(T_{\text{МПИ}})) = 0,055 \%;$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)} = 1,97;$$

$$T_{\text{исп}} = \operatorname{argmax} \begin{cases} \left| \widehat{\bar{X}(t)} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)} \cdot S(\bar{X}(t)) \right| = 0,1 \%, \\ \left| \widehat{\bar{X}(t)} - t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)} \cdot S(\bar{X}(t)) \right| = 0,1 \%, \end{cases} = 2,45 \text{ г.}$$

Вывод: $T_{\text{исп}} = 2,45 \text{ г.}$

Приложение Г

Методика определения критичных элементов структурно-сложных СИ

1. Область применения

Настоящая Методика предназначена для определения критичных элементов структурно-сложных СИ и вероятности безотказной работы элементов СИ на основе анализа ДО.

2. Нормативные ссылки

В методике использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем;

ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей

3. Термины и определения

В Методике применены следующие термины с соответствующими определениями.

Отказ СИ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности СИ, или выход его МХ за установленные пределы.

Дерево отказа – графическое отображение причинно-следственных связей между наступлением отказа СИ с отказами его элементов и другими событиями. В качестве других событий могут, в частности, рассматриваться события, заключающиеся в снижении возможностей системы восстановления технического ресурса (СВТР) (исчерпанием запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП), невозможностью восполнения ЗИП, отсутствием условий для проведения ремонта и т.п.).

Результирующее событие – наступление отказа СИ.

Промежуточное событие – сложное событие с логическим оператором, являющееся одной из возможных причин результирующего события. Его выявляют в ходе анализа причин результирующего события и подвергают дальнейшему анализу. В качестве промежуточных событий, в частности,

могут выступать отказы составных частей СИ, либо комбинации из отказов части элементов и событий, отражающих состояние ЗИП, условий эксплуатации, требований к функционированию и т.п.

Иницирующие (базовое, основное, первичное) событие – простое событие, означающее отказ элемента, которое в дальнейшем не анализируется в связи с наличием достаточного объема данных для расчета вероятности его появления.

Вероятностная функция отказа (ВФО) СИ – вероятность истинности логической функции отказа (ЛФО):

$$P\{y(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) = 1\}, \quad (\Gamma.1)$$

Элементарной конъюнкцией (K_r) ранга r , где a_i – двоичная переменная величина, такая, что $x_i^{a_i} = \begin{cases} x_i, & \text{если } a_i = 1, \\ \bar{x}_i, & \text{если } a_i = 0. \end{cases}$ называется выражение вида

$$x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_r^{a_r}, \quad (\Gamma.2)$$

в силу того, что $x_i \bar{x}_j = 0$ и $x_i x_i \dots x_i = x_i$, все символы в K_r различны.

Дизъюнктивной нормальной формой (ДНФ) называется выражение вида

$$K_1 \vee K_2 \vee \dots \vee K_S, \quad (\Gamma.3)$$

где K_j – элементарные конъюнкции различных рангов.

Если функция $f(X_{<n>})$ записана в ДНФ, причем ранг каждой элементарной конъюнкции равен n , то такая ДНФ называется совершенной.

Две элементарные конъюнкции называются ортогональными (ОДНФ), если их произведение равно нулю.

ДНФ называется ортогональной ДНФ, если все ее члены попарно ортогональны.

Бесповторной ДНФ (БДНФ) называется такая ДНФ, в которой все буквы имеют разные номера.

4. Общие положения

Настоящая Методика определяет порядок построения ДО СИ. Использование ДО предназначено главным образом для моделирования отказа СИ со сложной многокомпонентной структурой. Наступление отказа СИ

является следствием изменения технического состояния его элементов. В общем случае структура модели отказа должна включать два вида начальных событий: отказы собственно элементов СИ и, условно говоря, «отказы» элементов СВТР. Под отказами элементов СВТР, например, понимаются события, связанные с исчерпанием ЗИП, невозможностью его пополнения, невозможностью осуществления каких-либо ремонтных операций и т.п. Исходными данными для расчетов по структурным моделям служат вероятности соответствующих начальных событий, а структура самих моделей отражает в том или ином виде совокупность причинно-следственных связей между различными событиями, приводящими в итоге к отказу СИ.

Построение ДО предполагает наличие формализованного описания условий отказа СИ. Процесс описания условий отказа протекает, как правило, в три последовательных этапа: вербального, графического и аналитического описания.

По результатам аналитического описания происходит преобразование полученной ФАЛ, задающей условия отказа СИ, в ФАЛ, записанной в СДНФ, ОДНФ или в форме неповторной ФАЛ в базисе конъюнкция-отрицание, которые являются ФПЗ.

Результатом практического применения Методики является определение вероятностной функции отказа СИ, вероятность работы СИ на интервале $[0;t]$, а также перечень критичных элементов.

5. Действия инженера-оператора при применении методики

На начальном этапе инженер-оператор должен изучить конструкцию анализируемого СИ, принцип действия, алгоритм штатного функционирования, перечень указанных в конструкторской документации возможных отказов и отказов, имевших место при эксплуатации.

Затем уяснить номенклатуру критериев отказа и спектр возможных критичных элементов данного СИ, сформировать перечень элементов анализируемого СИ, являющихся объектами прогнозирования показателей надежности параметрическими и статистическими методами с использованием соответствующих методик.

На различных этапах формализации условий достижения отказа особое внимание уделить возможности обеспечения исходными данными всего перечня инициирующих событий, сформированного в результате анализа.

6. Входные данные

Условно-постоянные данные:

Номенклатура критериев отказа;
перечни возможных критичных элементов.

Экспериментальная информация:

Результаты морфологического анализа взаимовлияния отказов элементов СИ;

$p_i(t)$ – вероятности появления начального события в ДО (ВО i -го элемента, либо вероятность выполнения заданного условия);

$[0, t]$ – интервал времени, для которого проводится оценка ВБР СИ.

7. Выходные данные

Результатом методики являются:

$P_{\text{ВБР}}(t)$ – вероятность безотказной работы СИ на интервале $[0, t]$;

$Q(t)$ – вероятность отказа СИ на интервале $[0, t]$;

перечень критичных элементов СИ.

8. Методы обработки данных

8.1 Вербальное описание условий отказа

Примером вербального описания является установление критериев отказов в стандартах и конструкторских документах. В дальнейшем номенклатура критериев отказов уточняется исходя из опыта эксплуатации.

Признаки отказа, как правило, перечисляются в таблице, в левой части которой приводятся наименования элементов СИ (или более крупных его составных частей), а в правой перечисляются соответствующие им признаки отказа.

В таблице Г.1 приведен пример вербального описания для многофункционального калибратора.

Таблица Г.1 – Пример словесного описания условий отказа для многофункционального калибратора

Наименование составной части СИ	Критерии отказа
Канал давления 1	Выход МХ за установленные пределы
Канал давления 2 (резервный)	Выход МХ за установленные пределы
Канал температуры	Выход МХ за установленные пределы
...	
Система поддержания давления	Негерметичность пневмосистемы, износ или отказ устройства создания давления
Запорно-регулирующая арматура	Превышение параметров, характеризующих техническое состояние ЗРА (давление срабатывания, время срабатывания и т.д.), предельных значений, установленных в эксплуатационной документации.
Показывающее устройство	Наличие трещин, потеков на экране показывающего устройства.

По мере увеличения сложности анализируемых объектов составление словесного описания отказа становится трудоемким, а вероятность ошибки растет.

8.2 Графическое описание условий отказа

Наиболее эффективным средством анализа логических связей в системе является его представление в виде ДО. Основной принцип построения ДО заключается в последовательной постановке вопроса: по каким причинам

может произойти отказ СИ, т.е. в осуществлении анализа "сверху-вниз". Исходными данными при построении ДО являются перечни критериев отказов составляющих СИ элементов и условий, способствующих переходу элементов (групп элементов) в состояние отказа. Пример ДО для многофункционального калибратора приведен на рисунке Г.1.

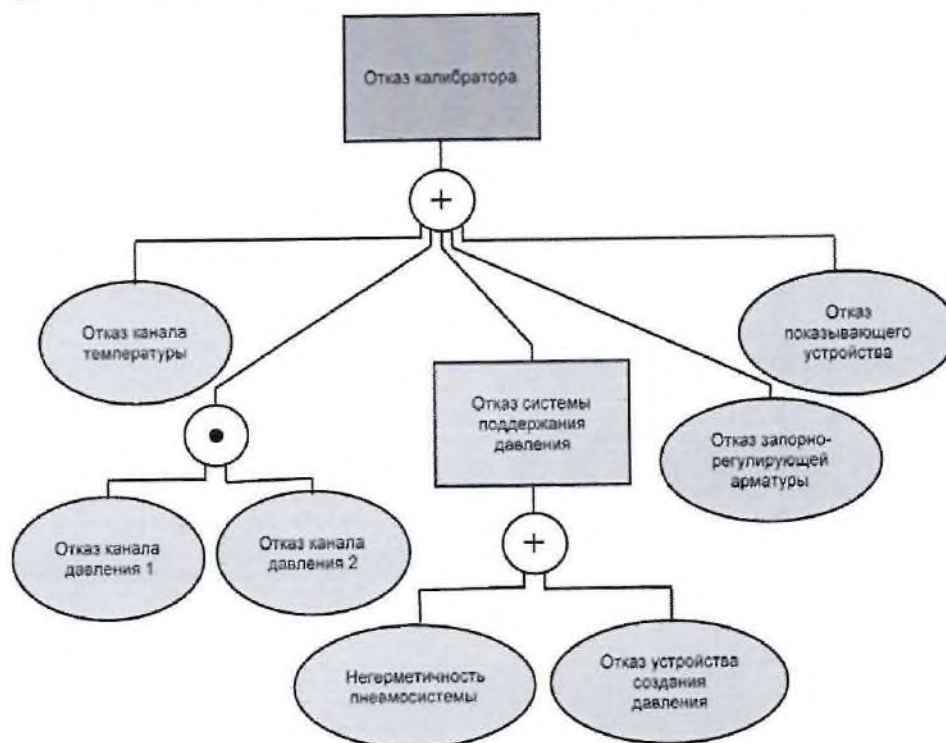


Рисунок Г.1 – Пример ДО

Структурными элементами ДО являются события, связанные между собой логическими операторами. При построении ДО будем различать следующие типы событий: результирующее, промежуточное и инициирующее.

Логические операторы, используемые при построении ДО, могут быть различными. Наиболее часто применяются операторы "И", "ИЛИ" (Рис. 2), менее распространены "НЕ", "N из M", "исключающее ИЛИ", "И с приоритетом", "схема запрета", "схема задержки" и другие.

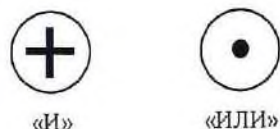


Рисунок Г.2 – Пример логических операторов

Логический оператор "И" означает наличие события на выходе только при наличии события на каждом из его входов. Логический оператор "ИЛИ" означает наличие события на выходе при наличии хотя бы одного события на любом из его входов.

Иницирующие события обозначаются окружностями, промежуточные и результирующие – прямоугольниками.

Процесс построения ДО включает следующие этапы:

- выбор вершинного события ДО и критериев его появления;
- формирование типовых событий верхнего среза ДО;
- детализация событий верхнего среза ДО.

Рассмотрим каждый из этапов формирования ДО на примере составления ДО для калибратора давления.

Выбор вершинного события ДДПС и критериев его появления. Построение начинается с выбора вершинного события, т.е. такого события, вероятность появления которого требуется оценить. Таким событием в рассматриваемом примере является отказ калибратора давления. Далее необходимо определить, что считать отказом калибратора, т.е. необходимо сформулировать критерий отказа. В данном случае отказ может наступить вследствие метрологического отказа измерительных каналов или отказа вспомогательных систем.

Формирование типовых событий верхнего среза ДО. После определения вершинного события и уяснения критерия его появления выделяются основные компоненты дерева отказов, влияющие на появление вершинного события. Составляется список таких событий. Здесь возможны три подхода к формированию верхнего среза ДО калибратора – агрегированный по видам

отказа, дифференцированный по группам составляющих элементов и комбинированный.

Первый подход связан с агрегированным рассмотрением элементов калибратора по видам отказа в рамках всего калибратора в целом. Недостатком данного подхода является значительная размерность каждого из событий верхнего уровня и связанная с этим сложность составления ДО.

Второй подход связан с формированием групп элементов калибратора, дифференцированно влияющих на отказ калибратора, внутри подсистем калибратора (по видам отказа в рамках подсистем калибратора). Во этом случае облегчается процесс анализа (из-за снижения размерности рассматриваемой группы элементов) и, как следствие, уменьшается вероятность пропуска тех или иных элементов, которые должны быть учтены в дереве отказов.

К недостатку подхода можно отнести сложность получения интегральных характеристик по типам отказов.

Комбинированный способ, нивелирующий недостатки двух первых, заключается в выделении критичных элементов калибратора в отдельную группу и дальнейшем её анализе по установленному критерию отказа. Остальные элементы анализируются в рамках своих подсистем.

Следует отметить, что при занесении событий на схему дерева их выходы подсоединяются ко входу логического узла события верхнего уровня. Если любое событие из некоторого списка вызывает событие верхнего уровня, то используется узел «ИЛИ», если же оно наступает только при совместном сочетании событий – узел «И».

Детализация событий верхнего среза ДО. Следующим этапом построения ДО калибратора является детальный анализ типовых событий верхнего среза ДО. К таким событиям относятся: «метрологический отказ канала температуры», «метрологический отказ 1 или 2 канала давления», «отказ системы поддержания давления», «отказ запорно-регулирующей арматуры» и «отказ показывающего устройства».

Из данного списка выбирается конкретное событие и решается, следует ли проводить более детальный структурный анализ данного события или нет. Как правило, необходимо остановиться на том уровне детализации, на котором существует максимально благоприятное сочетание возможностей оценивания вероятности события, т.е. наличие возможностей построения модели возникновения события на другом классе моделей и доступности к источникам исходной информации.

Если событие не подлежит дальнейшему структурному анализу, то оно считается инициирующим (на схеме ДО этот факт отражается окружностью), и переходят к рассмотрению другого события данного списка (если оно есть). Если есть необходимость рассмотреть причинно-следственные связи появления данного события, то оно считается промежуточным и обозначается прямоугольником. Список оставшихся событий ставится в очередь для последующего анализа. Выбранное промежуточное событие переходит в разряд рассматриваемых. Составляется очередной список событий, которые могут вызвать рассматриваемое промежуточное событие, устанавливается логика его формирования, условные обозначения заносятся на схему дерева.

Из вновь образованного списка выбирается событие, если оно инициирующее, то выбирается следующее, если промежуточное, то рассматриваемый список событий ставится в очередь, и начинается анализ данного промежуточного события. Так продолжается до тех пор, пока в очередном списке событий все события не окажутся инициирующими.

Если при рассмотрении очередного списка событий выяснится, что он состоит только из инициирующих событий, то данный список изымается из очереди, и для анализа берётся следующий список из очереди. Вся процедура повторяется до тех пор, пока в очереди не окажется ни одного списка событий. Это будет означать то, что все промежуточные события выражены через инициирующие.

8.3 Аналитическое описание условий достижения отказа

Используя составленное графическое ДО, можно перейти к аналитическому (или формализованному) описанию условия достижения отказа (УДО), которое представляет собой однозначную функциональную зависимость отказа объекта от состояния его элементов и выполнения заданных условий.

Пусть состояние объекта задается некоторой функцией y . Предположим, что объект с точки зрения работоспособности может находиться только в двух характерных состояниях: в работоспособном состоянии ($y=1$) и состоянии отказа ($y=0$).

$$Y = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}. \quad (\Gamma.4)$$

Допустим также, что состояние элементов и выполнение заданных условий описывается некоторым вектором

$$X_{<n>} = \langle x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n \rangle, \quad (\Gamma.5)$$

где x_i – переменная, характеризующая состояние i -го элемента, либо выполнение i -го условия (если i – номер условия), n – общее число элементов объекта и наложенных условий.

Пусть каждая переменная x_i вектора $X_{<n>}$ принимает только два значения $x_i = 1$, либо $x_i = 0$. Равенство $x_i = 1$ означает нахождение i -го элемента в работоспособном состоянии, либо (если i – номер условия) – невыполнение наложенного условия. При $x_i = 0$, i -й элемент находится в состоянии отказа, либо выполнено i -е условие.

Логической функцией недостижения состояния отказа (ЛФНСО) объекта будем называть ФАЛ, связывающую состояние элементов объекта и выполнение (невыполнение) некоторых заданных условий с неопределенным состоянием объекта

$$y(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) = y(X_{<n>}). \quad (\Gamma.6)$$

Функция (Г.6) является аналитическим описанием условий недостижения отказа (УНО).

Функцию $y(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ называют монотонной, если для любых наборов $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ и $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, таких, что $\alpha_i \leq \beta_i$ имеет место соотношение

$$y(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \leq y(\beta_1, \dots, \beta_n), \quad (\text{Г.7})$$

Объекты, удовлетворяющие этим условиям, называют *объектами с монотонной структурой*.

Объект будет обладать монотонной структурой при соблюдении следующих условий:

1) Если все элементы объекта находятся в работоспособном состоянии, а все условия не выполнены, т.е. $x_i = 1, i = \overline{1, n}$, то объект находится в работоспособном состоянии.

2) Если все элементы отказали и все условия выполнены, то объект переходит в состояние отказа.

Все реальные технические объекты с точки зрения перечисленных правил относятся, как правило, к объектам с монотонной структурой.

Для монотонной структуры объекта можно записать ЛФНСО, используя минимальные пути (МП) и минимальные сечения (МС), которые несложно выделить при анализе конкретного дерева отказов.

Путем называется множество элементов $\{x_j\}, x_j \in X_{<n>}$, единичное состояние которых обеспечивает единичное состояние ЛФНСО. Иначе, путь – это набор элементов объекта, находящихся в работоспособном состоянии и невыполненных условий, обеспечивающих работоспособное состояние объекта.

Минимальным путем называется такая конъюнкция элементов и условий, когда ни одну из компонент нельзя изъять, не нарушив работоспособного состояния объекта.

Такая конъюнкция может быть записана в виде следующей ФАЛ

$$R_l = \bigwedge_{i \in K_{R_l}} x_i, x_i \in X_{<n>}, \quad (\Gamma.8)$$

где K_{R_l} — означает множество номеров, соответствующих пути R_l .

Иначе, минимальный путь — это минимальный набор элементов и условий, работоспособное состояние (невыполнение условий) которых обеспечивает работоспособное состояние объекта.

Сечением называется множество элементов $\{x_j\}, x_j \in X_{<n>}$, нулевое состояние которых обеспечивает нулевое состояние ЛФНСО.

Иначе, сечение — это набор элементов объекта, отказ которых, и условий, выполнение которых, обеспечивают отказ объекта.

Минимальным сечением объекта называется такая конъюнкция отрицаний его элементов и условий, когда ни одну из компонент нельзя изъять, не нарушив условия отказа объекта.

Такая конъюнкция записывается в виде следующей ФАЛ

$$S_j = \bigwedge_{i \in K_{S_j}} \bar{x}_i, x_i \in X_{<n>}, \quad (\Gamma.9)$$

где K_{S_j} — множество номеров, соответствующих сечению S_j .

Добавление хотя бы одного элемента к МП или МС лишает их свойств минимальности, а удаление — свойств пути, или, соответственно, сечения.

Известно, что любой объект с конечным числом элементов и наложенных условий имеет конечное число минимальных путей ($l = 1, 2, \dots, d$) и минимальных сечений ($j = 1, 2, \dots, m$).

Тогда УДО объекта может быть записано двумя различными способами:

а) через минимальные пути

$$\overline{y(x_1, \dots, x_n)} = \bigwedge_{l=1}^d \bar{R}_l = \bigwedge_{l=1}^d \left[\bigvee_{i \in K_{R_l}} \bar{x}_i \right] = 1 \quad (\Gamma.10)$$

в виде конъюнкции отрицаний всех имеющихся минимальных путей;

б) через минимальные сечения

$$\overline{y(x_1, \dots, x_n)} = \bigvee_{j=1}^m S_j = \bigvee_{j=1}^m \left[\bigwedge_{i \in K_{S_j}} \bar{x}_i \right] = 1 \quad (\Gamma.11)$$

в виде дизъюнкции всех имеющихся минимальных сечений.

В свою очередь, условия работоспособного состояния (УРС) имеют вид:

а) через минимальные пути

$$y(x_1, \dots, x_n) = \bigvee_{l=1}^d R_l = \bigvee_{l=1}^d \left[\bigwedge_{i \in K_{R_l}} \bar{x}_i \right] = 1 \quad (\Gamma.12)$$

в виде дизъюнкции всех имеющихся минимальных путей;

б) через минимальные сечения

$$y(x_1, \dots, x_n) = \bigwedge_{l=1}^m S_j = \bigwedge_{j=1}^m \left[\bigvee_{i \in K_{S_j}} x_i \right] = 1 \quad (\Gamma.13)$$

в виде конъюнкции отрицаний всех имеющихся минимальных сечений.

Отказ объекта не наступает, если

$$\bigwedge_{l=1}^d \bar{R}_l = 0 \vee \bigvee_{j=1}^m S_j = 0 \vee \bigvee_{l=1}^d R_l = 1 \vee \bigwedge_{l=1}^m S_j = 1. \quad (\Gamma.14)$$

Соответственно, условия отказа объекта

$$\bigwedge_{l=1}^d \bar{R}_l = 1 \vee \bigvee_{j=1}^m S_j = 1 \vee \bigvee_{l=1}^d R_l = 0 \vee \bigwedge_{l=1}^m S_j = 0. \quad (\Gamma.15)$$

Условие (Г.14) означает, что в структуре ДО есть хотя бы один МП, либо нет ни одного МС. Условие (Г.15) означает, что в структуре ДО нет ни одного МП, либо есть хотя бы одно МС.

8.4 Определение вероятности безотказной работы СИ

1. Если ФАЛ является неповторной, т.е. с неповторяющимися номерами переменных, то они преобразуются в ФПЗ по правилу де Моргана (к базису конъюнкция-отрицание)

$$x \wedge y = \bar{x} \vee \bar{y}; \quad (\Gamma.16)$$

$$\overline{x \vee y} = \bar{x} \wedge \bar{y}.$$

2. При повторной форме ФАЛ она преобразуется в ДНФ и анализируется её вид. Если преобразованная ФАЛ имеет вид СДНФ, то ФПЗ получена, и можно формировать ВФНПС по правилам замещения п.4.

3. Полученная ДНФ преобразуется в ОДНФ с использованием метода ортогонализации, который основывается на использовании следующих утверждений.

Отрицание элементарной конъюнкции ранга S $K_i = x_1 x_2 \dots x_S$ эквивалентно дизъюнкции

$$\bar{K}_i = \bar{x}_1 \vee x_1 \bar{x}_2 \vee \dots \vee x_1 x_2 \dots x_{S-1} \bar{x}_S. \quad (\Gamma.17)$$

В матричной форме записи логических функций данное преобразование имеет вид

$$\bar{K}_i = \overline{x_1 x_2 \dots x_S} = \begin{vmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \dots \\ \bar{x}_S \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \bar{x}_1 \\ x_1 \bar{x}_2 \\ \dots \\ x_1 x_2 \dots x_{S-1} \bar{x}_S \end{vmatrix}. \quad (\Gamma.18)$$

Булева функция $y(x_1, x_2, \dots, x_n)$ представляется в ДНФ в виде

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{i=1}^m K_i, \quad i \leq 2^n, \quad (\Gamma.19)$$

и эквивалентна функции

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = K_1 \vee \bar{K}_1 K_2 \vee \bar{K}_1 \bar{K}_2 K_3 \vee \dots \vee \bar{K}_1 \bar{K}_2 \dots \bar{K}_{m-1} K_m, \quad (\Gamma.20)$$

или в матричной форме записи

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{vmatrix} K_1 \\ K_2 \\ \dots \\ K_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} K_1 \\ \bar{K}_1 K_2 \\ \dots \\ \bar{K}_1 \bar{K}_2 \dots \bar{K}_{m-1} K_m \end{vmatrix}. \quad (\Gamma.21)$$

Если вместо каждого выражения \bar{K}_i ($i \leq m$) подставить его представление согласно (Г.17), то после приведения дизъюнкции (20) к ДНФ (раскрытием скобок) получим ОДНФ булевой функции $y(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{i=1}^m K_i = \bigvee_{i=1}^S O_i, \quad (\Gamma.22)$$

где O_i – ортогональные члены функции $y(X_{<n>})$, записанной в ОДНФ; S – число членов ОДНФ.

Преобразовав ЛФО к ОДНФ, можно приступить к формированию ВФО по правилам замещения п.4.

4. Если ФАЛ представлена в ФПЗ, то переход к ВФО осуществляется по следующим правилам:

а) каждая буква в ФПЗ заменяется вероятностью ее равенства единице, причем

$$P[x_i = 1] = p_i, \quad P[\bar{x}_i = 1] = P[x_i = 0] = 1 - p_i; \quad (\Gamma.23)$$

б) отрицание функции заменяется разностью между единицей и вероятностью равенства этой функции единице, например

$$P[f(X_{<n>} = 1] = P[\bar{x}_1(\overline{x_2 \bar{x}_3}) = 1] = (1 - p_1)[1 - p_2(1 - p_3)]; \quad (\Gamma.24)$$

в) операции логического умножения и сложения заменяются операциями арифметического умножения и сложения.

Таким образом вероятность отказа СИ определяется как

$$Q(t) = P[f(X_{<n>} = 1], \quad (\Gamma.25)$$

а вероятность безотказной работы СИ

$$P_{\text{ВБР}}(t) = 1 - Q(t). \quad (\Gamma.26)$$

8.5 Ранжирование элементов

Для определения элементов, которые должны быть подвергнуты более тщательному анализу с целью снижения интенсивности отказов необходимо провести ранжирование элементов по степени влияния на отказ СИ.

Определяются «веса» каждого инициирующего события

$$M = \frac{q(t)}{Q(t)}, \quad (\Gamma.27)$$

где $q(t)$ – вероятность наступления инициирующего события. При отсутствии достоверных данных $q(t)$ принимается равным 0,5.

Все события сортируются по величине рассчитанного значения «веса». Событиям с наивысшим весом присваивается наибольший ранг критичности. Структурные элементы, с которыми связаны наиболее критичные события, считаются наиболее критичными элементами СИ.

9. Список используемых источников

1. *Рябинин И.А.* Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб: Политехника, 2000. – 248 с.
2. *Рябинин И.А., Черкесов Г.Н.* Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981.
3. *Острейковский В.А., Швыряев Ю.В.* Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. – М.: Физматлит, 2008. – 352с.
4. *Миронов А.Н.* Теоретические основы и методы многомодельного прогнозирования долговечности сложных военно-технических систем космического назначения. – МО РФ, 2000. – 430 с.
5. *Хенли Э.Дж., Куamoto Х.* Надежность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.