

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

<u>Раздел 1. Организация испытаний РЭСИ и основа теории испытаний.....</u>	<u>10</u>
1.1 <u>Факторы, воздействующие на РЭСИ и их характеристика.....</u>	<u>10</u>
1.1.1 <u>Испытания как средства повышения качества изделий.....</u>	<u>10</u>
1.1.2 <u>Классификация воздействий и воздействующих факторов.....</u>	<u>11</u>
1.1.3 <u>Климатические воздействия и их характеристики.....</u>	<u>13</u>
1.1.3.1 <u>Формирование естественных климатических воздействий.....</u>	<u>13</u>
1.1.3.2 <u>Характеристика климатических факторов.....</u>	<u>15</u>
1.1.4 <u>Механические воздействия и их характеристики.....</u>	<u>19</u>
1.1.5 <u>Биологические воздействия и их характеристика.....</u>	<u>24</u>
1.1.5.1 <u>Биофактор как источник биоповреждения.....</u>	<u>25</u>
1.1.6 <u>Космические воздействия и их характеристика.....</u>	<u>27</u>
1.1.7 <u>Радиационные воздействия их характеристика.....</u>	<u>30</u>
1.2 <u>Основы теории испытаний РЭСИ.....</u>	<u>33</u>
1.2.1 <u>Классификация испытаний РЭСИ.....</u>	<u>33</u>
1.2.1.1 <u>Испытания на этапах проектирования, изготовления и</u> <u>выпуска изделий.....</u>	<u>36</u>
1.2.2 <u>Методы проведения испытаний РЭСИ.....</u>	<u>41</u>
1.2.3 <u>Общий подход к планированию испытаний.....</u>	<u>42</u>
1.2.4 <u>Основные положения программы испытаний.....</u>	<u>45</u>
1.2.4.1 <u>Содержание основных разделов программы испытаний и</u> <u>рекомендации по их выполнению.....</u>	<u>46</u>
1.2.5 <u>Основные требования и содержания методики испытаний.....</u>	<u>49</u>
1.3 <u>Испытания РЭСИ на климатические воздействия.....</u>	<u>52</u>
1.3.1 <u>Общая методология организации климатических испытаний.....</u>	<u>52</u>
1.3.2 <u>Испытания на воздействие тепла и холода.....</u>	<u>53</u>
1.3.2.1 <u>Испытательное оборудование.....</u>	<u>62</u>
1.3.3 <u>Испытания на воздействие повышенной влаги.....</u>	<u>64</u>
1.3.3.1 <u>Испытательное оборудование.....</u>	<u>69</u>
1.3.4 <u>Испытания на воздействие инея с последующим его оттаиванием.....</u>	<u>70</u>
1.3.5 <u>Испытания на воздействие пониженного и повышенного</u> <u>атмосферного давления.....</u>	<u>71</u>
1.3.5.1 <u>Испытательное и контрольно-измерительное оборудование.....</u>	<u>73</u>
1.3.6 <u>Испытания на статическое и динамическое воздействие пыли.....</u>	<u>75</u>
1.3.6.1 <u>Процесс проведения испытаний.....</u>	<u>76</u>
1.3.6.2 <u>Испытательное и контрольно-измерительное оборудование.....</u>	<u>78</u>
1.3.7 <u>Испытания на воздействие солнечной радиации.....</u>	<u>81</u>
1.3.7.1 <u>Испытательное и контрольно-измерительное оборудование.....</u>	<u>82</u>
1.3.8 <u>Испытания на воздействие соляного тумана.....</u>	<u>84</u>
1.3.9 <u>Испытания на воздействие повышенного гидростатического</u> <u>давления.....</u>	<u>87</u>
1.3.10 <u>Испытания на водонепроницаемость.....</u>	<u>87</u>

<u>брызгозащищенность и каплезащищенность</u>	88
1.4 <u>Испытания РЭСИ на механические воздействия</u>	89
1.4.1 <u>Общая методология организации испытаний на механические воздействия</u>	89
1.4.2 <u>Испытания на обнаружение резонансных частот</u>	89
1.4.3 <u>Испытания на вибропрочность и виброустойчивость</u>	91
1.4.3.1. <u>Проведение испытаний на виброустойчивость и вибропрочность</u>	92
1.4.3.2 <u>Метод широкополосной случайной вибрации (ШСВ)</u>	94
1.4.3.3 <u>Испытательное оборудование для испытаний на воздействие вибраций</u>	96
1.4.4 <u>Испытания на ударную прочность и устойчивость</u>	99
1.4.4.1 <u>Испытание на воздействие одиночных ударов</u>	100
1.4.4.2 <u>Оборудование для испытаний</u>	101
1.4.5 <u>Испытания на воздействие линейных нагрузок</u>	102
1.4.6 <u>Испытания на воздействие акустического шума</u>	104
1.4.6.1 <u>Испытательное оборудование</u>	105
1.5 <u>Испытания на биологические, коррозионно-активные и технологические воздействия</u>	107
1.5.1 <u>Испытание на грибоустойчивость</u>	107
1.5.1.2 <u>Испытательное оборудование</u>	108
1.5.2 <u>Испытание на устойчивость материалов к воздействию термитов</u>	111
1.5.3 <u>Испытание изделий и материалов на устойчивость к воздействию грызунов</u>	111
1.5.4 <u>Коррозионно-активное воздействие</u>	112
1.5.5 <u>Испытание ЭС на воздействие сернистого газа</u>	113
1.5.6 <u>Испытание на паяемость</u>	114
1.5.6.1 <u>Испытание на теплостойкость при пайке</u>	118
1.5.7 <u>Испытание прочности выводов и их креплений</u>	119
1.5.8 <u>Испытание выводов (выводных концов) на воздействие растягивающей силы</u>	119
1.5.9 <u>Испытание гибких проволочных и ленточных выводов на изгиб</u>	119
1.5.10 <u>Испытание гибких лепестковых выводов на изгиб</u>	120
1.5.11 <u>Испытание гибких проволочных выводов на скручивание</u>	120
1.5.12 <u>Испытание резьбовых выводов на воздействие крутящего момента</u>	120
1.6 <u>Испытания электронных средств на космические и радиационные воздействия</u>	122
1.6.1 <u>Воздействие ультранизких давлений</u>	122
1.6.2 <u>Воздействие криогенных температур</u>	125
1.6.3 <u>Специальные виды космических испытаний</u>	127
1.6.4 <u>Испытания ЭС на влияние невесомости</u>	129
1.6.5 <u>Радиационные воздействия</u>	131
1.6.5.1 <u>Источники радиоактивного излучения</u>	134

1.6.5.2	<u>Организация защиты от радиационных излучений</u>	142
Раздел 2. Организация испытаний РЭСИ на надежность		
2.1	<u>Теоретические сведения о надежности</u>	144
2.1.1	<u>Характеристика РЭСИ как объекта теории надежности</u>	144
2.1.2	<u>Номенклатура и классификация показателей надежности.</u> <u>Характеристика основных показателей надежности и их</u> <u>статистическое определение.</u>	150
2.1.2.1	<u>Основные показатели безотказности для</u> <u>невосстанавливаемых объектов</u>	151
2.1.2.2	<u>Основные показатели безотказности для</u> <u>восстанавливаемых объектов</u>	155
2.1.2.3	<u>Основные показатели долговечности</u>	156
2.1.2.4	<u>Основные показатели ремонтпригодности</u>	157
2.1.2.5	<u>Основные показатели сохраняемости</u>	159
2.1.2.6	<u>Комплексные показатели надежности</u>	159
2.1.3	<u>Основные математические модели, используемые в теории</u> <u>надежности</u>	161
2.1.3.1	<u>Распределение Вейбулла</u>	161
2.1.3.2	<u>Экспоненциальное распределение</u>	162
2.1.3.3	<u>Распределение Рэля</u>	162
2.1.3.4	<u>Нормальное распределение (распределение Гаусса)</u>	162
2.1.4	<u>Определение закона распределения и выбор числа</u> <u>показателей надежности</u>	163
2.1.4.1	<u>Определение закона распределения</u>	163
2.1.4.2	<u>Выбор числа показателей надежности</u>	164
2.1.5	<u>Точность и достоверность статистической оценки</u> <u>показателей надежности</u>	167
2.1.6	<u>Особенности программ на надежность</u>	168
2.1.7	<u>Случайные величины и способы их описания</u>	169
2.1.8	<u>Требования к содержанию программы испытаний на</u> <u>надежность (ГОСТ 21317-87)</u>	173
2.1.9	<u>Основные понятия теории вероятности применяемые при</u> <u>испытаниях РЭСИ</u>	175
2.1.10	<u>Определение объёма выборки</u>	176
2.2	<u>Методы оценки показателей надежности</u>	178
2.2.1	<u>Методы оценки надежности</u>	178
2.2.2	<u>Понятие испытаний на надежность РЭСИ, унификация испытаний</u>	179
2.2.3	<u>Стадии испытаний, задачи унифицированных методик испытаний</u>	180
2.2.4	<u>Классификация испытаний</u>	181
2.3	<u>Организация определительных испытаний на надёжность</u>	183
2.4	<u>Статистические оценки критериев надежности</u>	189
2.4.1	<u>Определение оценок параметров экспоненциального</u> <u>распределения</u>	193
2.4.2	<u>Определение доверительных границ для параметров</u>	

экспоненциального распределения	193
2.4.3 Распределение Пуассона	195
2.5 Методы планирования и проведения контрольных испытаний на надежность	196
2.5.1 Общие положения	196
2.5.2 Испытания на безотказность	197
2.5.2.1 Одноступенчатый метод с ограниченной продолжительностью испытания	197
2.5.2.2 Двухступенчатый метод с ограниченной продолжительностью испытания	199
2.5.3 Метод последовательных испытаний (ГОСТ 17331-71)	200
2.5.4 Метод непрерывных испытаний	202
2.5.5 Графический метод	202
2.5.6 Испытания на ремонтпригодность	204
2.5.6.1 Одноступенчатый с ограниченной продолжительностью испытания	206
2.5.6.2 Двухступенчатый метод с ограниченной продолжительностью испытания	207
2.5.7 Испытания на сохраняемость	208
2.5.8 Испытания на долговечность	209
2.5.9 Испытания и оценка их результатов	211
2.5.10 Оформление результатов испытаний	211
2.5.11 Влияние точности измерительных средств на результаты испытаний	212
2.5.12 Критерии исключения выбросов ПКГ при статистической обработке результатов испытаний	215
2.5.13 Графические методы представления экспериментальных данных	218

Раздел 3. Технический контроль РЭСИ. Автоматизация и метрологическое обеспечение испытаний и контроля	221
3.1 Технический контроль РЭСИ	221
3.1.1 Классификация методов контроля качества РЭСИ	221
3.1.2 Методы неразрушающего контроля РЭСИ	225
3.1.3 Акустические методы	227
3.1.4 Капиллярные методы	229
3.1.5 Электрохимические методы	230
3.1.6 Оптический контроль	238
3.1.7 Электрические методы	247
3.1.8 Магнитные методы	252
3.1.9 Электромагнитные методы	258
3.1.10 Тепловые методы	259
3.1.11 Радиоволновый метод	268
3.1.12 Радиационные методы	272

3.1.13	<u>Методы электронной микроскопии (ЭМ)</u>	273
3.1.14	<u>Рентгеновские методы (РМ)</u>	283
3.2	<u>Автоматизация и обеспечение испытаний электронных средств</u>	287
3.2.1	<u>Принцип построения центральной испытательной станции</u>	287
3.2.2	<u>Структура, состав и критерии оценки АСИ</u>	288
3.2.3	<u>Основные цели, принципы и этапы разработки АСИ</u>	289
3.2.4	<u>Техническое обеспечение АСИ</u>	291
3.2.5	<u>Информационное обеспечение АСИ</u>	292
3.2.6	<u>Организационное обеспечение АСИ</u>	293

Раздел 4. Качество продукции. Статистические методы контроля и управления качеством продукции.....294

4.1	<u>Общие понятия об управлении качеством продукции</u>	296
4.2	<u>Методы оценки уровня качества промышленной продукции</u>	304
4.2.1	<u>Дифференциальный метод оценки уровня качества продукции</u>	304
4.2.2	<u>Комплексный метод оценки уровня качества продукции</u>	305
4.2.3	<u>Смешанный метод оценки уровня качества продукции</u>	307
4.3	<u>Сущность и задачи статистических методов управления качеством продукции</u>	309
4.3.1	<u>Основные статистические методы управления качеством продукции</u>	310
4.3.1.1	<u>Схема Исикава</u>	311
4.3.1.2	<u>Диаграмма Парето</u>	311
4.3.1.3	<u>Диаграмма разброса (корреляция)</u>	314
4.3.1.4	<u>Гистограмма</u>	316
4.3.1.5	<u>Расслоение</u>	318
4.3.1.6	<u>Контрольный листок</u>	320
4.3.1.7	<u>Контрольные карты</u>	321
4.3.2	<u>Способы представления продукции на контроль</u>	323
4.3.3	<u>Методы отбора единиц продукции в выборку</u>	323
4.3.4	<u>Классификация выборок</u>	324
4.4	<u>Статистические методы контроля и регулирования технологических процессов</u>	326
4.4.1	<u>Виды контрольных карт, применяемых для статистического регулирования технологических процессов</u>	330
4.4.2	<u>Статистическое регулирование технологических процессов с помощью простых контрольных карт</u>	332
4.4.2.1	<u>Построение простой контрольной карты средних арифметических значений и медиан</u>	334
4.4.2.2	<u>Построение простой контрольной карты средних квадратических отклонений</u>	337
4.4.2.3	<u>Построение простой контрольной карты числа дефектных единиц продукции</u>	339
4.4.2.4	<u>Виды контрольных карт</u>	341
4.5	<u>Статистические методы приёмочного контроля качества</u>	

<u>продукции</u>	344
4.5.1 <u>Понятие уровня дефектности</u>	345
4.5.2 <u>Оперативная характеристика плана выборочного контроля</u>	348
4.5.3 <u>Планы и схемы контроля</u>	350
4.5.3.1 <u>Усеченный контроль</u>	353
4.5.4 <u>Виды контроля и корректировка плана контроля</u>	354
4.5.4.1 <u>Уровень контроля</u>	355
4.6 <u>Организация статистического приёмочного контроля по альтернативному признаку</u>	357
4.7 <u>Организация статистического приёмочного контроля по количественному признаку</u>	364
4.8 <u>Общие вопросы работ по оценке соответствия</u>	368
4.8.1 <u>Общие положения Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь (НСПС РБ)</u>	368
4.8.2 <u>Структура НСПС РБ и основные функции ее органов</u>	372
4.8.3 <u>Аккредитованные испытательные лаборатории (центры)</u>	378
4.8.4 <u>Заявители на подтверждение соответствия</u>	379

Введение

Широкое использование радиоэлектронных средств измерений (РЭСИ) в различных областях науки и техники приводит к необходимости обеспечения высокой надежности их работы при разнообразных климатических и механических воздействиях. Трудность выполнения данного требования связана с различным назначением РЭСИ, местом их установки и условиями эксплуатации.

Об уровне надежности принято судить по способностям РЭСИ безотказно (исправно) работать в течение заданного времени в определенных условиях. Поэтому для оценки надежности и степени соответствия РЭСИ предъявляемым к ним требованиям осуществляют технический контроль и испытания на всех этапах конструирования и производства. Полученная при этом информация о качестве работы РЭСИ и о причинах отказов совместно с данными реальной эксплуатации позволяет принять своевременные меры по совершенствованию схемы электрической принципиальной и конструкции, а также технологии производства.

Правильно организованный технический контроль и испытания способствуют значительному повышению надежности РЭСИ. Осуществляя технический контроль и испытания, необходимо анализировать не только характер статистических функций распределения количества отказов в зависимости от воздействия различных факторов, но и исследовать физико-химические процессы, происходящие в РЭСИ на различных этапах их производства и эксплуатации.

РАЗДЕЛ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ РЭСИ И ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИСПЫТАНИЙ

1.1 ФАКТОРЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА РЭСИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.1.1 Испытания как средство повышения качества изделий

Испытания как основная форма контроля РЭСИ представляют собой экспериментальное определение при различных воздействиях количественных и качественных характеристик изделий при их функционировании. При этом как сами испытываемые изделия, так и воздействия могут быть смоделированы. Цели испытаний различны на различных этапах проектирования и изготовления РЭСИ. К основным целям испытания, общим для всех РЭСИ, можно отнести: выбор оптимальных конструктивно-технологических решений при создании новых изделий; доводку изделий до необходимого уровня качества; объективную оценку качества изделий при их постановке на производство, в процессе производства и при техническом обслуживании; гарантирование качества изделий при международном товарообмене.

Испытания служат эффективным средством повышения качества, так как позволяют выявить недостатки конструкции и технологии изготовления РЭСИ, приводящие к срыву выполнения заданных функций в условиях эксплуатации; отклонения от выбранной конструкции или принятой технологии, допущенные в производстве; скрытые случайные дефекты материалов и элементов конструкции, не поддающиеся обнаружению существующими методами технического контроля; резервы повышения качества и надежности разрабатываемого конструктивно-технологического варианта изделия. По результатам испытаний изделий в производстве разработчик РЭСИ устанавливает причины снижения качества. Если эти причины установить не удается, совершенствуют методы и средства контроля изделий и ТП их изготовления.

Для повышения качества выпускаемых РЭСИ на конечных операциях ТП их изготовления проводят предварительные испытания, позволяющие выявить изделия со скрытыми дефектами. Режимы этих испытаний выбирают такими, чтобы они обеспечивали отказы изделий, содержащих скрытые дефекты, и в то же время не вырабатывали ресурса тех изделий, которые не содержат дефектов, вызывающих при эксплуатации отказы. Такие предварительные испытания часто называют технологическими тренировками (термоточковая тренировка, электротренировка, тренировка термоциклами и др.).

Программа и методы проведения испытаний определяются конкретными видом и назначением РЭСИ, а также условиями эксплуатации. При испытаниях и оценке их результатов, предприятия, организации и отдельные должностные лица выступают как изготовители, испытатели, потребители РЭСИ. Нормальное взаимодействие между ними возможно только в том случае, если разработаны: единый технический язык (терминология, классификация

методов и устройств испытаний); форма и содержание специальных технических документов (стандартов, методик, программ, графиков, заключений, протоколов и т.п.); общие требования к методам и устройствам для испытаний в зависимости от видов испытаний и РЭСИ; порядок проведения испытаний, определяемый соответствующей стадией «жизненного цикла» РЭСИ; положения о правах и обязанностях предприятий, подразделений и отдельных должностных лиц при проведении испытаний.

Все перечисленные организационные требования являются объектами стандартизации. Стандарты и методики, распространяющиеся на них, образуют группу основополагающих организационных нормативно-методических документов. Эти документы разрабатывают, прежде всего, на общегосударственном межотраслевом уровне, а затем уже развивают и дополняют на уровне отраслей и в случае необходимости - на уровне отдельных предприятий. При существующей типовой организации и технологии проведения испытаний стандартизации подлежат:

- требования к испытаниям продукции;
- процесс организации испытаний;
- методы и устройства испытаний;
- планирование испытаний, что оговаривается в частных и общих технических условиях на электронные средства.

Учитывая необходимость оптимизации стоимости РЭСИ, следует находить разумный компромисс между объемом испытаний и эффективностью контроля ТП изготовления изделий.

1.1.2 Классификация воздействий и воздействующих факторов

Все воздействия на РЭСИ можно разделить на внешние и внутренние. *Внешние воздействия* не связаны с режимом эксплуатации РЭСИ и определяются условиями хранения, транспортировки и эксплуатации изделий. Внешние воздействия подразделяют на естественные воздействия и воздействия объекта, в составе которого находятся данные РЭСИ. Под *естественными воздействиями* понимают совокупность климатических, биологических, космических и механических воздействий, обусловленных состоянием окружающей среды в месте нахождения объекта. *Воздействия объекта*, на котором установлены РЭСИ, связаны с его функционированием. К таким воздействиям относятся климатические, механические, радиационные и др., электрические и магнитные поля. Наиболее важными из перечисленных являются климатические и механические воздействия.

Внутренние воздействия определяются режимами работы РЭСИ и характеризуются нагрузками, например электрическими и механическими, связанными с функционированием РЭСИ. Электрические нагрузки, обусловленные необходимостью формирования и преобразования электрических сигналов в цепях РЭСИ, вызывают тепловые, электрические и электрохимические процессы, приводящие к старению. Механические нагрузки

связаны с наличием в РЭСИ соединений материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения. В процессе эксплуатации указанные компоненты подвергаются износу.

Под *условиями эксплуатации РЭСИ* понимают совокупность внешних и внутренних воздействий, оказывающих влияние на работоспособность изделий.

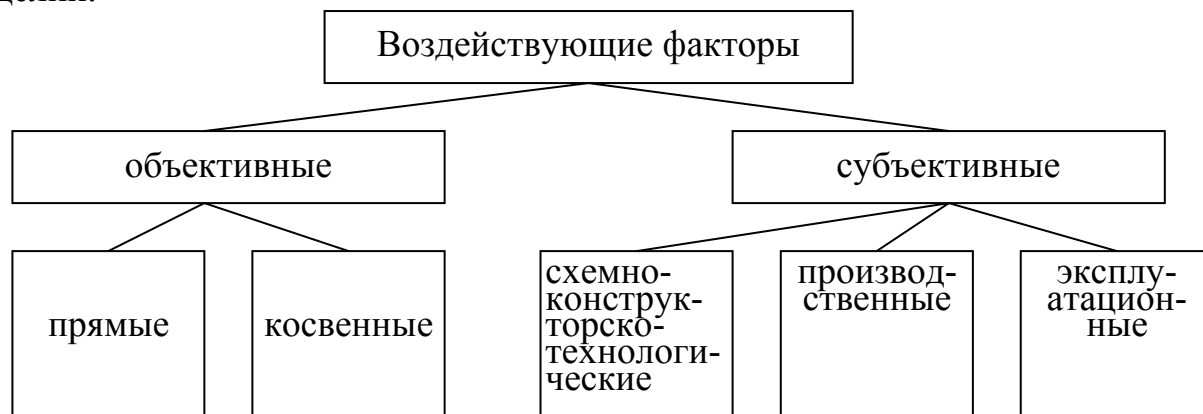


Рисунок 1.1 – Классификация воздействующих факторов

Все воздействующие факторы по их происхождению разделяют на две группы: объективные и субъективные (рисунок 1.1).

Объективные факторы характеризуют воздействие внешних условий, в которых осуществляют хранение, транспортировку и эксплуатацию РЭСИ. Различают *прямые* и *косвенные* объективные факторы. Первые характеризуют естественные воздействия, вторые - воздействия объекта.

Субъективные факторы характеризуют человеческую деятельность на этапах проектирования, производства и эксплуатации РЭСИ. Результатом воздействия этих факторов являются ошибки проектирования, производства и эксплуатации, приводящие к дефектам изделий, которые при воздействии объективных факторов приводят к частичной или полной потере работоспособности РЭСИ.

К ошибкам проектирования относятся недостатки электрических и функциональных схем и конструктивно-технологических решений, переоценка возможностей операторов, обслуживающих спроектированные РЭСИ, и недостаточно эффективная система контроля работоспособности изделий. Ошибки производства обусловлены, прежде всего, нарушениями ТП, применением некачественных комплектующих элементов и материалов, отсутствием достаточно жесткого контроля на отдельных стадиях производства РЭСИ. Ошибки эксплуатации связаны в основном с нарушениями обслуживающим персоналом эксплуатационных требований, предусмотренных соответствующими нормативными документами на РЭСИ.

Влияние объективных и субъективных факторов на работоспособность РЭСИ существенно различно. Результат воздействия объективных факторов зависит от их числовых значений. Так, физико-химические процессы в структуре изделия, приводящие к отказам РЭСИ, протекают, как правило, при

повышенных значениях объективных факторов. Из-за наличия субъективных факторов снижается устойчивость разрабатываемых изделий к воздействию объективных факторов, в результате чего уменьшаются предельно допустимые значения последних, а, следовательно, снижаются качество и надежность РЭСИ. Негативные последствия влияния субъективных факторов, как правило, скрыты от разработчиков и изготовителей конкретных изделий. Для их выявления на всех этапах «жизненного цикла» РЭСИ применяют различные виды контроля и испытаний.

1.1.3 Климатические воздействия и их характеристики

Климатические воздействия при эксплуатации РЭСИ подразделяют на естественные и искусственные. *Естественные климатические воздействия* определяются погодными условиями, включающими температуру, влажность, ветер, атмосферное давление и др. *Искусственные климатические воздействия* создаются вследствие функционирования РЭСИ и расположенных рядом объектов.

1.1.3.1 Формирование естественных климатических воздействий

При составлении технических условий на РЭСИ, а также программы и методики испытаний естественные климатические воздействия, обычно называемые климатом, учитывают в виде усредненных климатических факторов в тех или иных частях земной поверхности за продолжительный период времени. Формирование климата на определенной территории происходит под влиянием *радиационного процесса, циркуляции атмосферы и влагооборота*, определяющих тепловой и водный баланс поверхности Земли в природной географической среде.

Радиационный процесс характеризуется распределением радиационного баланса R , учитывающего приход/расход энергии солнечной радиации. Составными частями радиационного баланса являются прямая (Q) и рассеянная (q) солнечная радиация, а также эффективное излучение (E) Земли, под которым понимают разность противоположно направленных потоков излучения земной поверхности и атмосферы. Отношение отраженной энергии солнечной радиации к падающей характеризуется числом k , называемым «альбедо» и выражаемым обычно в процентах. Уравнение радиационного баланса:

$$R = (Q + q) \cdot (\alpha - 1) \cdot E \quad (1.1.1)$$

На основании многочисленных исследований радиационных процессов в отдельных районах Земли разработаны мировые карты составляющих радиационного баланса. Установлено также, что солнечная суммарная радиация при безоблачном небе имеет сравнительно устойчивые среднемесячные суточные значения, которые определяются в основном широтой местности и временем года.

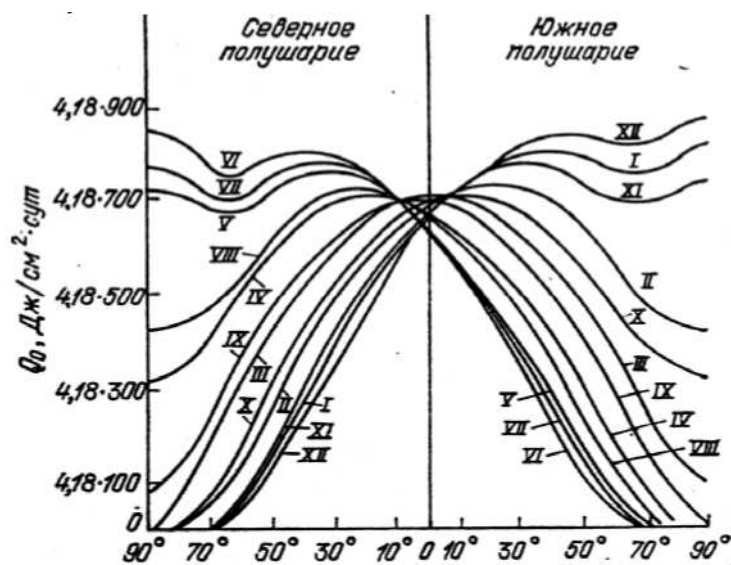


Рисунок 1.2 – Среднемесячные суточные значения суммарной солнечной радиации при безоблачном небе в зависимости от широты местности и времени года (I-XII- месяцы года)

Суточный ход и часовые суммы солнечной радиации зависят от места расположения климатической области и характерных для нее погодных условий. Изменение солнечной радиации оценивается отношением ее максимального значения к минимальному и выражается в процентах. Наименьшее изменение суточных сумм радиации наблюдается в пустынных районах Земли. Наибольшее различие между максимальным и минимальным значениями солнечной радиации имеет место в прибрежных районах умеренных широт в связи с частой переменой погодных условий. Наличие паров воды и пыли в воздухе существенно уменьшает интенсивность солнечной радиации.

Циркуляция атмосферы — это перемещение воздушных масс (течений с различным содержанием теплоты и влаги), а также изменение их свойств, сопровождающееся образованием поверхностей раздела между разными воздушными массами. Основные причины общей циркуляции атмосферы — неодинаковое нагревание Солнцем поверхности Земного шара и вращение Земли. Кроме того, на общую циркуляцию атмосферы влияет изменение ландшафта поверхности Земли, вызывающее постоянно действующие турбулентные потоки отраженного тепла, которые приводят к изменению температуры и плотности воздуха в тропосфере.

Влагооборот — это ряд последовательных физических процессов, происходящих с водой (испарение, конденсация, образование облаков, выпадение осадков), а также перенос влаги.

Влагооборот между сушей и океаном называют внешним, а в пределах ограниченной территории — внутренним.

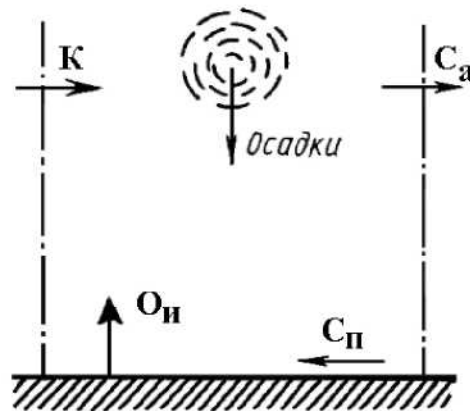


Рисунок 1.3 – Внутренний влагооборот на ограниченной территории

Внутренний влагооборот (рисунок 1.3) определяется количеством внешней влаги (K), которая частично выпадает на территорию в виде осадка O , а частично выносится за ее пределы атмосферным стоком C_a . Часть выпавших осадков $O_{и}$ испаряется, а часть образует поверхностный сток $C_{п}$. При гидрометеорологических наблюдениях измеряют количество выпавших осадков и испарившейся влаги. Остальные составные части влагооборота не учитывают.

Одним из основных процессов влагооборота является испарение, которое зависит от радиационного баланса (энергетических ресурсов) и увлажнения поверхности Земли. С увеличением широты местности и снижением солнечной радиации испарение уменьшается.

1.1.3.2 Характеристика климатических факторов

Температура - один из наиболее важных климатических факторов. Для различных климатических поясов Земли она колеблется от -75 до $+50$ °C. Однако большое число изделий работает в условиях нагрева (до 500 °C и выше) или охлаждения (-100 °C и ниже) их элементов. Тепловое воздействие может быть *стационарным, периодическим и аperiodическим*. Установившийся режим теплообмена как внутри изделия, так и изделия с внешней средой создает стационарное тепловое воздействие. Периодическое тепловое воздействие происходит при повторно-кратковременной работе изделий, суточном изменении температуры окружающей среды, регулярном солнечном облучении и т.д.; аperiodическое тепловое воздействие вызывается единичными или сравнительно редкими случайными действиями тепла и холода.

Изменение температуры окружающей среды может изменить физико-химические свойства материалов. При повышении температуры ускоряется развитие некоторых дефектов в материалах, понижающих прочность соединений конструкций, ухудшаются функциональные и электрические

характеристики изделий. При одновременном воздействии тепла и механических нагрузок многие материалы легко деформируются. У ряда материалов при нагреве происходит химическое разложение и ускоряется старение, что приводит к изменению их характеристик.

В зонах с холодным климатом могут быть резкие колебания температуры изделий, вызываемые их нагревом в период работы и охлаждением после выключения. При резком изменении окружающей температуры на поверхности и внутри изделия конденсируется влага. Периодические расширения и сжатия, соприкасающихся металлических и пластмассовых деталей могут вызывать нарушение герметичности изделия и разрушение деталей. Резкие колебания температуры приводят к разрушению паяных, сварных, клепаных и других соединений, отслоению и растрескиванию покрытий, появлению утечки наполнителей.

Влажность - один из наиболее опасных воздействующих климатических факторов. Она ускоряет коррозию материалов, изменяет электрические характеристики диэлектриков, вызывает тепловой распад материалов, гидролиз, рост плесени и многие другие механические повреждения изделий.

Воздействие влажности на изделия существенно зависит от свойств воды, которая может находиться в трех состояниях: жидком, твердом (лед) и газообразном (пар). В жидком состоянии вода характеризуется следующими основными физическими параметрами: плотностью, вязкостью и поверхностным натяжением. При увеличении температуры от 20 до 100°C значения всех перечисленных факторов уменьшаются: плотность от 0,998 до 0,985 г • см⁻³; вязкость от 10 до 2,5 Па • с; поверхностное натяжение от 76 • 10⁻³ до 60 • 10⁻³ Н • см⁻¹. Абсолютно чистой воды в природе не бывает. Она представляет собой химически активное соединение, легко вступающее в реакции со многими веществами.

Для характеристики содержания водяного пара в воздухе и других газах, т.е. *оценки влажности*, пользуются следующими основными параметрами:

1) *Абсолютная влажность*, под которой понимают выраженную в граммах массу водяного пара ($M_{в.п.}$, г), содержащегося в единице объема ($V, м^3$) влажного воздуха:

$$E = M_{в.п.} / V \quad (1.1.2)$$

В большинстве случаев абсолютную влажность воздуха выражают давлением упругости водяного пара (парциальным давлением $p_{в.п.}$), содержащегося в воздухе, т. к. возникает сложность определения массы водяного пара. Упругость водяного пара выражают в единицах давления (в паскалях, в миллиметрах ртутного столба или в миллибарах).

2) *Влагосодержание* d , т.е. отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха (газа), в том же объеме:

$$d = M_{в.п.} / M_{с.в.} \quad (1.1.3)$$

При этом d пропорционально барометрическому давлению и является функцией только парциального давления пара.

3) *Температура точки росы*, т.е. температура, которую будет иметь влажный воздух (газ), если охладить его до полного насыщения по отношению к плоской поверхности воды.

4) *Относительная влажность φ* - отношение давления $p_{в.п.}$ водяного пара, содержащегося в воздухе, к давлению $p_{н.пт}^0$ насыщенного пара при данной температуре или отношение действительной влажности E к максимально возможной E_n при данной температуре. Относительная влажность выражается в относительных единицах ($\varphi = E/E_n \leq 1$) или в процентах ($\varphi \leq 100\%$).

Относительная влажность характеризует степень насыщения газа водяным паром.

Влажность воздуха следует рассматривать во взаимосвязи с другими параметрами, характеризующими состояние газа (давлением, температурой, плотностью). При постоянной относительной влажности абсолютная влажность является функцией температуры.

Атмосферные конденсированные осадки, такие, как роса, иней, изморозь и гололед, оказывают существенное влияние на различные изделия; для оценки атмосферных конденсированных осадков рекомендуется пользоваться такими характеристиками, как толщина отложения, плотность осадков, продолжительность воздействия и ряд других.

Если температура падает ниже точки росы, при которой абсолютная влажность равна 100%, и содержащийся в воздухе водяной пар достигает состояния насыщения, то выпадают осадки в виде воды, снега, росы, инея, тумана.

Осадки воздействуют своей механической энергией, понижают температуру изделий, повышают влажность.

Наличие осадков и тумана обычно ухудшает условия работы изделий. Осадки и туман действуют на материалы и изделия так же, как и повышенная влажность воздуха. Влага, оставшаяся на изделии после дождя, может способствовать коррозии металлов, так как в дождевой воде содержится некоторое количество растворенных кислот и солей. Резкие перепады температур, возникающие при внезапном выпадении дождя на разогретые солнцем поверхности изделия из керамики или стекла, могут привести к их растрескиванию.

Особенно сильное разрушающее воздействие на изделия могут оказывать морская вода и морской туман, резко ускоряющие коррозию вследствие содержащихся в них солей хлора, магния и других элементов. Туман с капельками морской воды также усиливает коррозию металлов и может ухудшить электрические свойства изоляционных материалов.

Интенсивно протекает коррозия металлов, вызываемая попаданием на них морской воды в виде брызг, а также при периодическом его погружении в морскую воду. В связи со свободным доступом кислорода воздуха коррозия в этих условиях идет значительно быстрее, чем при постоянном погружении изделия в воду.

Примеси в воздухе. Примеси в воздухе могут вызывать нарушения функционирования электрических элементов, изменять режимы теплообмена,

вызывать механические повреждения (пыль, песок), усиливать коррозионные процессы и т.п.

Пыль - смесь твердых частиц в воздухе. Естественная пыль состоит из космической и земной частей. В свободную атмосферу осаждается 120 - 150 мм пыли за 100 лет. Техническая пыль образуется при сжигании топлива, износе и обработке деталей. Технической пыли осаждается на два порядка больше, чем естественной. Серьезную проблему представляют для больших городов дымовые газы, содержащие в сравнительно больших количествах серу, из которой образуются в итоге сернистая и серная кислоты, соединения фтора, пары ртути и другие активные вредные химические соединения.

Неорганическая пыль представляет собой частицы, имеющие форму пластинок, иголок, круглых чешуек, размеры которых в среднем колеблются от 5 до 200 мкм. В состав неорганической минеральной пыли в основном входят кварц, полевой шпат, а также иногда слюда, хлориды и доломиты.

Частицы пыли, имеющие острые грани, могут быть абразивными, а иногда и гигроскопичными.

Органическая пыль представляет собой споры растений, плесневые грибы, бактерии, частицы волокон шерсти и хлопка, мельчайшие остатки насекомых и растений. В городах органическая пыль содержит около 40 % веществ, состоящих из сажи и смол. Особенностью органической пыли является ее способность при наличии влаги служить хорошей питательной средой для развития плесени.

Помимо пыли в воздухе содержатся *дым* и *индустриальные газы*. Мельчайшие частицы дыма способны достигать высоты более 5.000 м и перемещаться на большие расстояния. Дымовые газы индустриальных предприятий содержат углерод, смолы и значительный процент золы (до 90%). Наиболее вредными и распространенными составными частями дымовых газов являются сера и ее соединения (в частности, сернистый ангидрид SO_2). В воздухе сернистый ангидрид окисляется, превращаясь в серный ангидрид SO_3 , который, соединяясь с водой, образует сернистую кислоту H_2SO_3 и серную кислоту H_2SO_4 . Разрушающим действием характеризуются угарный газ CO , ненасыщенные углеводороды (этилен C_2H_4 , ацетилен C_2H_2 и др.), хлор Cl_2 , соединения фтора, паров ртути и другие.

Солнечное излучение представляет собой электромагнитные волны с длинами 0,2-5 мкм. На ультрафиолетовую область (длина волны до 0,4 мкм) приходится 9% энергии, на видимую (длина волны 0,4 - 0,7 мкм) -41% и на инфракрасную область с длинами воли 0,72мкм - 50% солнечной энергии. Влияние солнечного излучения на изделие заключается в его нагреве и химическом разложении некоторых органических материалов. Наибольшее воздействие оказывают ультрафиолетовые лучи, которые обладают высокой энергией. Под действием этих лучей происходит поверхностное окисление материалов частичное разложение полимеров, содержащих хлор, расщепление органических молекул, быстрое старение пластмасс, изменение важнейших органических компонентов и цвета у некоторых типов термореактивных пластмасс, образование корки на поверхности резины и ее растрескивание.

Атмосферное давление создается массой воздуха в данном месте. Колебания атмосферного давления вследствие изменения погоды $\pm 7\%$, а при тропических бурях превышают 10 %. Ряд изделий по своему функциональному назначению может работать в условиях резко повышенного и резко пониженного атмосферного давления, что следует учитывать при проведении соответствующих испытаний. Изменение давления вызывает опасность пробоев воздушных промежутков электрических установок в связи с изменением диэлектрической проницаемости воздуха, может изменять диаграмму направленности излучения электромагнитных антенн, влияет на режим теплообмена изделия, нарушает в ряде случаев герметичность изделий и расположение подвижных деталей. Выше 11 км располагается так называемая *стандартная атмосфера*, в пределах которой температура считается постоянной.

Плотность атмосферы N_m характеризуется числом молекул, содержащихся в 1 см^3 воздуха на данной высоте над уровнем моря. Она пропорциональна давлению лежащего выше слоя. Если предположить состав атмосферы однородным, а температуру постоянной, то плотность и давление будут равномерно изменяться с высотой. При этом давление определяется по барометрической формуле

$$p = p_0 \cdot e^{\frac{-Mgh}{RT}} \quad (1.1.4)$$

где p_0 - давление вблизи поверхности Земли;

M - масса грамм-молекулы газа;

g - ускорение свободного падения;

h - высота над поверхностью моря;

$R = 8,32 \text{ Дж}/(\text{град} \cdot \text{моль})$ - универсальная газовая постоянная;

T - абсолютная температура.

Плотность атмосферы на данной высоте

$$N_m = P/(kT), \quad (1.1.5)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{град}$ - постоянная Больцмана.

Состав воздуха и температура изменяются с высотой, что приводит к отклонению распределения плотности и давления от значения, определяемого по формулам. При подъеме на первые 1000мм в пределах тропосферы давление убывает на 133,32 Па на каждые 10м подъема. Дальнейшее увеличение высоты приводит к убыванию давления примерно в геометрической прогрессии.

1.1.4 Механические воздействия и их характеристики

При эксплуатации и транспортировке РЭСИ подвергаются механическим воздействиям: вибрационным, ударным и линейным нагрузкам, а также звуковому давлению (акустическим шумам). К изделиям, предназначенным для

функционирования в условиях воздействия механических нагрузок, предъявляют требования по прочности и устойчивости при воздействии этих нагрузок. К изделиям, не предназначенным для функционирования в условиях воздействия механических нагрузок, предъявляют требования только по прочности при воздействии этих нагрузок. Уровни вибрационных воздействий показаны на рисунке 1.4.

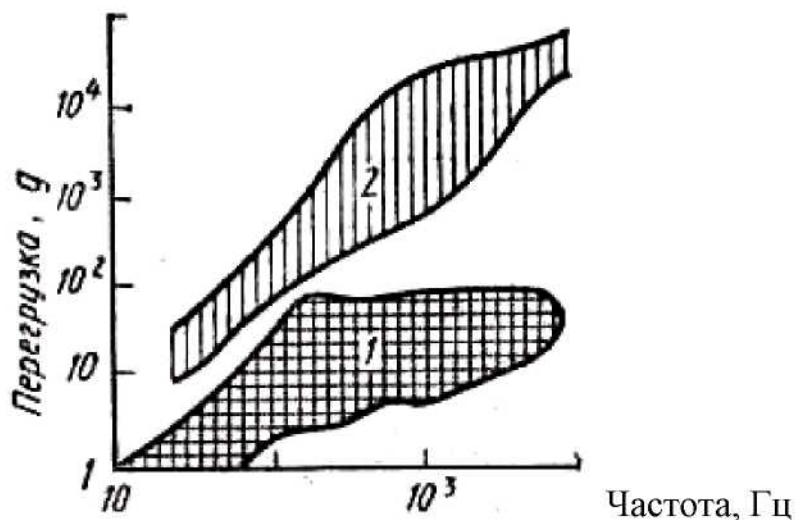


Рисунок 1.4 – Уровни вибрационных воздействий, которым подвергаются РЭСИ:

1 - вибрация; 2 - вибрация, возбуждаемая ударом

Вибрация — один из самых опасных и наиболее часто встречающихся на практике видов механических воздействий. В общем случае под вибрацией понимают, колебания самого изделия или каких-либо частей его конструкции. Вибрации приводят к поломкам конструкции, обрывам проводов и кабелей, нарушению герметичности, к механическим напряжениям и деформациям в РЭСИ. Наиболее часто вибрационные нагрузки возникают на самолетах и ракетах.

Механическая прочность, необходимая для нормального функционирования РЭСИ во время и после воздействия на них различных вибрационных нагрузок, должна быть заложена на этапе проектирования изделий. Для этого РЭСИ рассматривают как механические системы и применяют аналитические методы расчета их механических характеристик. Далее приведен простой пример, когда изделие может быть представлено в виде механической колебательной системы с одной степенью свободы (рисунок 1.5)

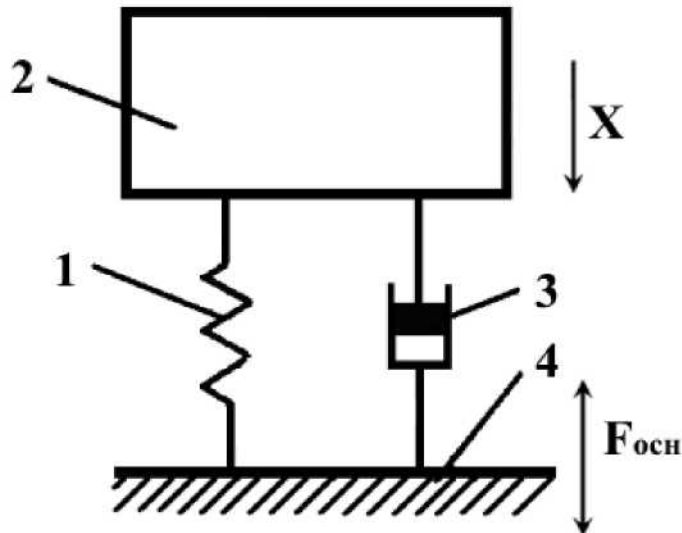


Рисунок 1.5 – Схема линейного осциллятора с вязким трением:
1 - пружина; 2 - груз; 3 - демпфер; 4 - стол вибростенда

Система состоит из груза массой m , пружины с жесткостью C и демпфера вязкого трения с коэффициентом демпфирования η . Движение массы m определяется изменением только одной координаты x под действием возбуждающей силы $F_{осн}$. Уравнение движения системы может быть получено на основе принципа Даламбера, согласно которому в каждый момент времени все силы, действующие на систему, находятся в равновесии, если в их число входит сила инерции. В общем случае дифференциальные уравнения движения любой колебательной механической системы могут быть составлены на основе уравнения Лагранжа в обобщенных координатах. На систему, изображенную на рисунке 1.5, действуют:

1) возбуждающая сила, приводящая к колебаниям опорного основания (например, стола вибростенда) с частотой ω и амплитудой A :

$$F_{осн} = A \sin(\omega t), \quad (1.1.6)$$

2) сила инерции T_{x_2} (x_2 — ускорение); сила вязкого демпфирования η_{x_1} (x_1 — скорость), пропорциональная мгновенной скорости массы и направленная в сторону, противоположную этой скорости;

3) сила упругости пружины C_x (x — координата центра масс груза).

Уравнение движения массы m от относительно положения статического равновесия имеет вид:

$$m_{x_2} + \eta_{x_1} + C_x = A \cdot \sin \cdot \omega t. \quad (1.1.7)$$

Разделив правую и левую части уравнения (1.1.7) на m после преобразования получим:

$$X_2 + 2 \cdot \delta_o \cdot \omega_o \cdot x + \omega_o^2 \cdot x = \omega_o^2 \cdot X_{CT} \cdot \sin(\omega t), \quad (1.1.8)$$

где $\delta_0 = \eta / (2 \sqrt{nC})$ — параметр, пропорциональный коэффициенту демпфирования;

$\omega = \sqrt{mC}$ — угловая частота собственных недемпфированных колебаний системы;

$X_{CT} = A/C$ — удлинение пружины, которое она получила бы под действием статической силы, равной амплитуде L возбуждающей силы.

Решение уравнения (1.1.8) может быть представлено в виде суммы свободных и вынужденных колебаний:

$$X = A \cdot e^{-\delta_0 \omega_0 t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t - \varphi_0) + \mu \cdot X_{CT} \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi), \quad (1.1.9)$$

где φ_0 и φ — начальные фазы

$$\mu = (\sqrt{4\delta_0^2 v^2 + (1 - v^2)^2})^{-1}, \quad (1.1.10)$$

μ — коэффициент динамичности, показывающий, во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний при действии возбуждающей силы вида (1.1.6) больше статического отклонения пружины;

$v = \omega / \omega_0$ — безразмерный параметр, пропорциональный частоте возбуждающей силы.

Из первого слагаемого уравнения (1.1.9), представляющего выражение для свободных колебаний системы при наличии демпфирования, видно, что даже при малом значении δ_0 множитель $Ae^{\delta_0 \omega_0 t}$ с течением времени t стремится к нулю и, следовательно, свободные колебания затухают.

Установившиеся вынужденные колебания определяются вторым слагаемым (1.1.9). Особенность этих колебаний состоит в том, что их амплитуда зависит не только от параметров системы и возбуждающей силы, но от частоты.

При $v = \sqrt{1 - \delta_0^2}$ коэффициент динамичности максимален:

$$\mu_{\max} = 1/2\delta_0 \sqrt{1 - \delta_0^2} = Q / \sqrt{1 - \delta_0^2}, \quad (1.1.11)$$

где $Q / \sqrt{1 - \delta_0^2}$ — добротность механической колебательной системы, зависящая от количества энергии, рассеиваемой при вибрации.

Чем выше добротность, тем меньше затухание колебаний и тем острее пик резонансной кривой. Если частота ω возбуждающей силы совпадает с собственной частотой ω_0 механической системы без трения ($\delta_0 = 0$, $v = 1$), то происходит резонансное колебание. В этом случае нагрузки на РЭСИ возрастают в несколько раз. При нулевых начальных условиях (в отсутствие трения) уравнение для предельного случая резонансного состояния рассматриваемой системы принимает вид:

$$X_2 = -(\omega_0 X_{CT} \cos \omega_0 t) / 2 \quad (1.1.12)$$

Из формулы (1.1.12) видно, что амплитуда резонансных колебаний линейно зависит от времени t и частоты ω_0 собственных колебаний. При наличии трения в механической системе резонансный пик будет тем выше, чем большее время изделие находится в резонансном режиме и чем выше

собственная частота конструкции.

Время достижения установившейся амплитуды резонансных колебаний реальных изделий измеряется, как правило, долями секунды. Ширина $2\Delta f$ резонансной полосы частот определяется разностью частот f'' и f' ($f'' > f'$), при которых амплитуда A колебаний уменьшается до 0,7 своего значения при резонансе.

Так как

$$f' = f_0(1/20Q), f'' = f_0(1+1/2Q), \quad (1.1.13)$$

где f_0 — резонансная частота, то

$$2\Delta f = f'' - f' = f_0 / Q. \quad (1.1.14)$$

$$\text{Отсюда} \quad Q = f_0 / 2\Delta f \quad (1.1.15)$$

Для расчета добротности изделия необходимо после настройки на резонанс измерить амплитуду колебаний, затем уменьшать частоту до тех пор, пока амплитуда колебаний не станет равной 0,7 амплитуды при резонансе. Полученная частота будет соответствовать частоте f' . Аналогичные действия следует провести, увеличивая частоту до значения f'' . Тогда, вычислив $2\Delta f$ по (1.1.14) и зная f_0 , можно по (1.1.15) найти добротность Q .

Удар. Ускорения, возникающие при резком изменении скорости или направления движения объекта, в котором применяются РЭСИ, вызывают механическое воздействие на них в виде удара. Вследствие удара возникают силы, деформирующие конструктивные элементы изделий и приводящие к образованию в них механических напряжений. Последние могут служить причиной разрушения изделий. Удар, как правило, сопровождается возбуждением затухающих колебаний, т.е. неустановившейся вибрацией на частотах собственных колебаний конструктивных элементов изделий. Уровни разрушающих усилий возрастают, если элементы конструкции резонируют на частотах возмущений, вызванных ударом. Если на РЭСИ действует серия ударов в виде импульсов, следующих один за другим, то возникающую вибрацию называют тряской.

Акустический шум. Особый интерес представляют так называемые баллистические волны, образующиеся от артиллерийских или реактивных снарядов, а также от самолетов, пролетающих через рассматриваемую среду со сверхзвуковой скоростью. Некоторые виды вибрации также сопровождаются выделением энергии звуковой частоты. Это явление принято называть *акустическим шумом* или *акустической вибрацией*.

Выделение энергии колебаний звуковой частоты сопровождается механическими колебаниями частиц среды воздуха, которые приводят к изменению давления по сравнению с атмосферным (статическим). Разность между статическим давлением и давлением в данной точке звукового поля называется звуковым давлением. Колебательное движение частиц среды при

распространении звуковой волны характеризуется также колебательным смещением их от положения покоя. Скорость распространения звуковых волн в воздухе зависит в основном от температуры среды по закону $c = 331\sqrt{T/273}$. При нормальном атмосферном давлении $p = 101300$ Па и $T = 273$ К (0°C) скорость звука равна 331 м/с. С повышением температуры до 290 К она увеличивается до 340 м/с.

На распространение звуковых волн в атмосфере большое влияние оказывают ее неоднородности. При этом скорость звука зависит не только от температуры воздуха, но и от его влажности, а также направления и силы ветра.

1.1.5 Биологические воздействия и их характеристика

Биологические воздействия, в которых находятся ЭС, определяются совокупностью воздействующих биологических факторов.

Биологический фактор (биофактор) — это организмы или их сообщества, вызывающие нарушение работоспособного состояния объекта. Событие, состоящее в выходе какого-либо параметра ЭС под действием биофактора за границы, указанные в НТД, называют *биологическим повреждением* (биоповреждением).

Анализ биоповреждений позволяет выделить их основные виды:

- механическое разрушение при контакте организмов с РЭСИ;
- ухудшение эксплуатационных параметров;
- биохимическое разрушение;
- биокоррозия.

Механическое разрушение РЭСИ вызывается в основном макроорганизмами, т.е. организмами, имеющими размеры, сравнимые с габаритами изделий. Макроразрушение при контакте может произойти в результате столкновения, прогрызания и уничтожения изделия, например при столкновении птиц с самолетами и антеннами радиолокационных станций, прогрызания материалов грызунами (крысами, зайцами, белками, слепышами и др.), а также открыточелюстными насекомыми (главным образом различными видами термитов и муравьев). Уничтожение материалов и изделий происходит, в основном, в процессе питания организмов.

Ухудшение эксплуатационных параметров РЭСИ вызывается биозагрязнением, биозасорением и биообрастанием. Биозагрязнением называют выделения организмов и продукты их жизнедеятельности, воздействие которых в результате смачивания водой или впитывания влаги из воздуха приводит к изменению параметров изделий. Биозасорение РЭСИ связано с наличием спор грибов и бактерий, семян растений, частей мицелия грибов, помета птиц, выделений организмов, отмирающих организмов. Обрастание бактериями, грибами, водорослями, губками, моллюсками и другими организмами поверхностей РЭСИ усиливает коррозию металлов.

Биохимическое разрушение — наиболее широко распространенный вид биоповреждений, но вместе с тем и наиболее трудно поддающийся изучению,

так как вызывается в основном *микроорганизмами* — любыми организмами, имеющими микроскопические размеры и не видимыми невооруженным глазом. Этот вид разрушения разделяют на два подвида: биологическое потребление материалов в процессе питания микроорганизмов и химическое воздействие выделяющихся при этом веществ. Биологическое потребление связано с предварительным химическим разрушением ферментами исходного материала иногда только одного компонента (обычно низкомолекулярного соединения, например пластификатора, стабилизатора). Такое разрушение открывает путь физико-химической коррозии, приводит к ухудшению термодинамических свойств материала и его механическому разрушению под действием эксплуатационных нагрузок. Химическое действие продуктов обмена повышает агрессивность среды, стимулирует процессы коррозии.

Физико-химическая коррозия на границе материал — организм обусловлена воздействием amino- и органических кислот, а также продуктов гидролиза. В основе этого вида биоповреждения, называемого биокоррозией, лежат электрохимические процессы коррозии металлов под действием микроорганизмов.

Характер процессов и механизмов биоповреждений и их влияние на материалы и изделия тесно связаны с ростом и размножением организмов, которым необходимо постоянно пополнять энергию от внешних источников.

1.1.5.1 Биофактор как источник биоповреждения

Подавляющее большинство (от 50 до 80 %) повреждений РЭСИ обусловлено воздействием на них микроорганизмов (бактерий, плесневых грибов и др.), развитие и жизнедеятельность которых определяются внешними воздействующими факторами: физическими (влажность и температура среды, давление, радиация и т.д.), химическими (состав и реакция среды, ее окислительно-восстановительные действия), биологическими. Наибольшее влияние на активность микроорганизмов оказывают температура и влажность.

Бактерии — самая многочисленная и распространенная группа микроорганизмов, имеющих одноклеточное строение. Бактерии быстро размножаются и легко приспосабливаются к изменяющимся физическим, химическим и биологическим условиям среды благодаря тому, что они могут адаптивно образовывать ферменты, необходимые для трансформации питательных сред. Одна из особенностей микроорганизмов — их способность к спорообразованию. Образование спор у бактерий не связано с процессом размножения, а служит приспособлением к выживанию в неблагоприятных условиях внешней среды (недостатке питательных веществ, высушивании, изменении рН среды и т. д.), причем из одной клетки формируется только одна спора. Размножение бактерий осуществляется путем деления клеток.

Плесневые грибы, играющие доминирующую роль среди микроорганизмов, отличаются от бактерий более сложным строением. Клетки грибов имеют сильно вытянутую форму и напоминают нити — гифы. Гифы ветвятся и переплетаются, образуя мицелий или грибницу. Особенность грибов

- это разнообразие способов их размножения: обрывками мицелия, спорами, оидиями, конидиями. Оптимальными условиями для развития большинства плесневых грибов являются высокая влажность (более 85%), температура +20...30 °С и неподвижность воздуха. Большую роль при заселении материалов бактериями и грибами играет способность спор адсорбироваться на гладкой поверхности.

Действие микроорганизмов на материалы и элементы РЭСИ объясняется тем, что благодаря микроскопическим размерам гифы и споры проникают в углубления и трещины материала, прорастают в них, образуя мицелий, который, быстро распространяясь по субстрату, вызывает изменение массы, водопоглощения и степени гидрофобности. Обрастание микроорганизмами зависит от химического состава и строения материала, микрофлоры окружающей среды, наличия загрязнений (органических и неорганических) в воздухе, климатических условий и избирательности действия сообществ организмов. В первую очередь грибы поражают материалы, содержащие питательные для них вещества. Используя эти материалы в качестве источников углерода и энергии, грибы приводят их в негодность. Однако порче подвергаются и материалы, не содержащие никаких питательных веществ, например разрастание мицелия на поверхности оптического стекла. После удаления грибного налета на стекле остаются следы, напоминающие мицелий, - «рисунок травления». Это следствие разрушения стекла продуктами метаболизма.

Органические кислоты и другие метаболиты, обладая высокой проводимостью, могут быть основной причиной снижения удельных поверхностного и объемного сопротивлений материалов, напряжения пробоя, увеличения тангенса угла диэлектрических потерь, разрушения лакокрасочных покрытий.

Под влиянием плесени значительно возрастает интенсивность старения пластмасс, а прочность некоторых стеклопластиков снижается на 20-30 %. Развитие плесневых грибов на электроизоляционных материалах ухудшает их диэлектрические свойства. Образование плесени на поверхностях печатных плат вследствие высокого содержания влаги в клетках грибов (до 90 %) приводит к коротким замыканиям между токоведущими частями.

Применение горячих операций на начальных стадиях технологического процесса значительно снижает число колоний. Благоприятное действие оказывает и аэрация воздуха в производственных помещениях.

Среди насекомых наибольший вред причиняют *термиты* - «белые муравьи», которые повреждают материалы и изделия, расположенные на пути к пище, месту окукливания и строительства гнезд. Наличие щелей, углублений и других укрытий может привлекать насекомых. Шероховатая поверхность удобна для их передвижения. На холодные предметы насекомые не садятся, а теплые их привлекают.

1.1.6 Космические воздействия и их характеристика

Космические воздействия характеризуются совокупностью воздействий космической среды, к которым относятся: глубокий вакуум, невесомость, температура, электромагнитные и корпускулярные излучения, наличие метеорных частиц, магнитных и гравитационных полей и др.

При изучении параметров космических условий выделяют три среды: межзвездную, межпланетную, атмосферу планет и их спутников.

Межзвездная среда состоит из межзвездного газа и мельчайших твердых частиц пыли, заполняющих пространство между звездами в галактиках. Межзвездная среда вблизи Солнца переходит в межпланетную среду.

Межпланетная среда заполняет пространство между планетами Солнечной системы. Она состоит из ионизированных атомов водорода и атомов гелия (90 и 9%). Наибольший интерес представляет для нас атмосфера Земли и ее внешняя часть - *экзосфера*.

Изменение параметров атмосферы Земли с высотой выглядит следующим образом, таблица 1.1.

Таблица 1.1 – Изменение параметров атмосферы Земли с высотой

Высота, км	Давление, Па	Температура, К	Концентрация частиц, см ⁻³	Характеристика вакуума
Уровень моря	$1,33 \cdot 10^5$	293	$2,7 \cdot 10^{19}$	-
200	$8,5 \cdot 10^{-5}$	1200	$7 \cdot 10^9$	Глубокий
500	$4 \cdot 10^{-7}$	1600	$2,5 \cdot 10^7$	Глубокий
1000	$4 \cdot 10^{-9}$	1600	$1,5 \cdot 10^5$	глубокий
10000	$2,5 \cdot 10^{-10}$	15000	$1 \cdot 10^3$	сверхглубокий

В космических условиях все факторы действуют на фоне глубокого вакуума, что ускоряет протекание различных физических процессов. В космическом пространстве любой материал выделяет газы и пары, примеси и добавки, аскорбиновые кислоты на поверхности и в объеме.

Космический вакуум вызывает сублимацию поверхностных слоев материалов ЭА, т.е. с течением времени происходит уменьшение исходной толщины. Например, пластины Zn или калия за год уменьшаются за счет сублимации на 0,1мм при температуре поверхности 100-150С. Если использовать Al, Si, Cu, Ni, и Br., то для получения такого же результата, необходимо $T = 750-1000$.

Потери полимерных соединений происходят главным образом за счет разложения в более простые летучие вещества. Массопотери некоторых материалов достигают 2% при циклическом изменении температуры 90-120С и облучении Солнцем.

В результате происходит изменение теплофизических и диэлектрических

характеристик материалов. Теплообмен может осуществляться только за счет излучения. Затруднена теплопередача за счет соприкосновения, из-за микронеровности и вакуумных промежутков между ними. В среднем падение температуры воздуха с высотой составляет примерно $0,56^\circ$ на каждые 100 м вертикального подъема.

В тропосфере температура воздуха уменьшается на $4-8^\circ$ на каждый километр высоты. Если летом у земли температура $+20 - +30^\circ$, то на высоте 3-4 км температура около 0° , а на высоте 9-11 км достигает минусовой температуры $40-50^\circ$.

На рисунке 1.6 указаны значения температуры в зависимости от высоты, принятые в качестве международного стандарта. Этими значениями пользуются для расчетов и сопоставления данных. На этом же рисунке для того случая, когда необходимы более точные сведения о температуре, приведены зависимости температуры от высоты над уровнем моря для субтропической зимы, умеренного лета и тропического лета.

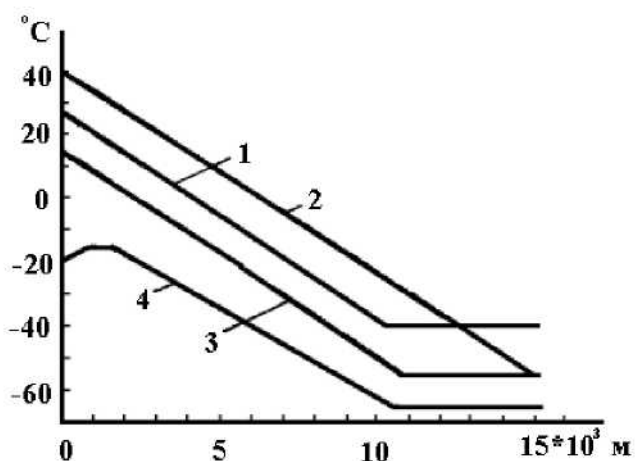


Рисунок 1.6 – Стандартная температура атмосферы:

- 1 - умеренное лето; 2 - тропическое лето; 3 - международная стандартная атмосфера;
- 4 - субарктическая зима.

На рисунке 1.7 приведены значения плотности воздуха в зависимости от высоты над уровнем моря.

Представляют практический интерес для проектирования аппаратуры средние значения относительной и абсолютной влажности в атмосфере в зависимости от высоты над уровнем моря. Эти зависимости приведены на рисунке 1.8.

Тропосферу от стратосферы отделяет переходная область протяженностью 1-3 км, называемая тропопаузой. Ее высота над земной поверхностью зависит от географической широты места.

У экватора температура в тропопаузе на высоте 16-18 км равна примерно $70-80^\circ\text{C}$; у полюсов высота тропопаузы равна 3-6 км и температура в ней значительно выше.

Над тропопаузой начинается стратосфера. В отличие от тропосферы, где температура в основном регулируется турбулентным перемешиванием воздуха, в стратосфере регулятором температурного режима является лучевой теплообмен. Стратосфера простирается до высоты 60-70 км.

Самые верхние слои атмосферы, расположенные за стратосферой, называются ионосферой. Молекулы воздуха этих слоев сильно ионизированы.

Нижний слой ионосферы, лежащий на высоте 70-90 км (слой D), образован ионизацией излучением хромосферы, а расположенный на высоте 90-100 км - рентгеновским излучением короны Солнца. Зависимость температуры от высоты в верхних слоях атмосферы, если взять некоторые средние значения, вырисовывается в следующем виде: начиная с высоты 11 км, температура остается постоянной примерно до 20 км и равной -56°C . Затем на высотах 20-50 км наблюдается повышение температуры за счет интенсивного поглощения ультрафиолетового солнечного излучения слоем озона, расположенного на этих высотах. На высоте около 50 км температура атмосферы достигает примерно $+70^{\circ}\text{C}$. Далее начинается новое понижение температуры. На высоте 80-100 км температура падает примерно до -60°C и затем неуклонно повышается, переходя в область положительных значений. Это повышение температуры связано с бомбардировкой земной атмосферы космическими частицами и с солнечной радиацией.

Невесомость — как фактор космического пространства имеет место при свободном орбитальном полете. По воздействию на ЭС невесомость оказывает влияние на тепловой режим изделий через изменение гидродинамики теплоносителей, процессов кипения и конденсации хладагентов. Поэтому фактор невесомости обычно учитывается только для ЭС, размещаемых в герметизированных отсеках космических аппаратов.

Основным источником лучистых тепловых потоков в космическом пространстве служит Солнце. Энергия в спектре излучения распределяется следующим образом:

- 9% - ультрафиолетовое излучение;
- 46% - видимое излучение;
- 45% - инфракрасное, остальное - рентгеновское и корпускулярное излучение.

В свою очередь, поверхность земли посылает на поверхность КА

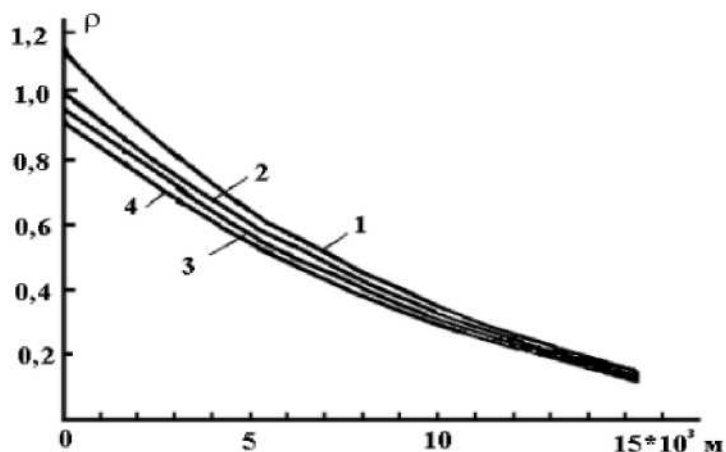


Рисунок 1.7 – Стандартная плотность воздуха:

1 - субтропическая зима; 2 - международная стандартная атмосфера; 3 - умеренное лето;
4 - тропическое лето.

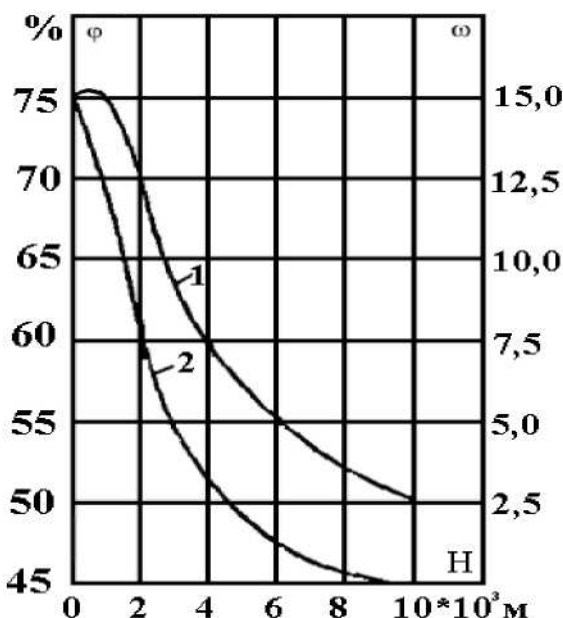


Рисунок 1.8 – Зависимость относительной (1) и абсолютной (2) влажности воздуха от высоты над уровнем моря:

φ - относительная влажность; ω - количество водяных паров, г на 1 м^3 воздуха.

длинноволновое излучение, т.е. тепловой поток, составляющий на низких орбитах до 40% плотности потока прямого солнечного излучения.

1.1.7 Радиационные воздействия их характеристика

Микроэлементы и интегральные микросхемы, находящиеся в зоне воздействия радиоактивных излучений, могут существенно изменять свои параметры и выходить из строя. Это происходит вследствие изменения физических и химических свойств материалов и (или) деградации параметров изделий под действием излучения.

Излучения возникают в результате естественных или искусственных радиоактивных распадов веществ и некоторых физических процессов в космосе. Поскольку радиоактивные излучения, проникая в толщу материала, вызывают в нем ионизацию, то часто они называются ионизирующими.

Радиоактивные излучения подразделяются на корпускулярные и квантовые. Первые представляют собой потоки быстрых элементарных частиц (нейтронов, протонов, ядер атомов химических элементов, бета-, альфа- и других частиц), вторые — электромагнитные ионизирующие излучения (гамма- и рентгеновское). Нейтронное и гамма-излучения, образующиеся в результате реакций деления, принято называть проникающим излучением.

В процессе взаимодействия с материалами происходит упругое или неупругое рассеяние нейтронов, и их энергия постепенно уменьшается, приближаясь к энергии теплового движения атомов и молекул среды, равной примерно 0,025 эВ. Такие нейтроны называют тепловыми. Тепловой нейтрон будет блуждать в веществе до тех пор, пока его не захватит одно из ядер атомов, в результате чего образуется изотоп исходного элемента, а избыток энергии ядра излучается в виде гамма кванта. Этот тип взаимодействия называется радиационным захватом.

Вероятность различного типа взаимодействий нейтронов с ядрами зависит от их энергии, поэтому нейтроны условно разделяются на три группы: быстрые нейтроны с энергией от 500 кэВ до 10 МэВ, промежуточные нейтроны с энергией от 0,5 эВ до 500 кэВ и тепловые нейтроны с энергией менее 0,025 эВ. Для быстрых нейтронов доминирует упругое рассеяние. С увеличением энергии нейтронов до 10 МэВ растет вероятность неупругого рассеяния, которое становится доминирующим при 20 МэВ. Для промежуточных нейтронов наиболее характерным процессом взаимодействия является неупругое рассеяние, а также радиационный захват.

Протонное излучение образуется за счет испускания ядрами атомов протонов в результате бомбардировки их заряженными частицами (нейтронами, гамма-квантами и др.). Длина пробега в веществе протонов с энергией от 1 до 1000 МэВ, зависит в основном от ионизационных потерь, т.е. от физических свойств вещества. В состав космических лучей входят протоны с энергией до 10^{18} — 10^{19} эВ.

Излучение альфа-частиц происходит при распаде тяжелых радиоактивных ядер (урана, тория, радия и т. п.). В отличие от других элементарных частиц альфа-частицы имеют наименьшую длину пробега в материалах, поэтому они практически не воздействуют на МЭ и ИМ, вмонтированные в РЭА, защищенную кожухом, экранами или покрытиями. Длина пробега альфа-частиц в воздухе пропорциональна кубу их скорости.

Излучение бета-частиц обусловлено потоком электронов и позитронов. Проникающая способность бета-излучения во много раз больше, чем альфа-частиц и протонов той же энергии. Источниками бета-частиц являются радиоактивные изотопы. Бета-частицы излучаются при ядерных реакциях и являются составной частью космических излучений. Энергия бета-частиц достигает несколько миллионов электрон-вольт. В космическом пространстве

(за пределами атмосферы) обнаружены электроны с энергией больше 300 МэВ.

Излучение гамма-квантов относится к квантовому излучению, является одной из форм проявления электромагнитного излучения и представляет собой потоки квантов (фотонов) различной энергии. Электромагнитные волны в определенных диапазонах обладают разными свойствами. Поэтому для характеристики процессов, протекающих при генерировании, распространении и поглощении электромагнитных волн, имеются специальные параметры, относящиеся лишь к одному диапазону и характеризующие специфические особенности этого диапазона. К электромагнитным радиоактивным излучениям принято относить гамма- и рентгеновские излучения. Энергия гамма-квантов соответствует длине волны короче 10^{-12} м. К рентгеновскому излучению относят квантовое излучение с длинами волн от $5 \cdot 10^{-9}$ до 10^{-12} м.

Гамма-лучи обладают наибольшей проникающей способностью из всех рассмотренных видов радиоактивного излучения. Степень поглощения гамма-лучей различными веществами тем больше, чем больше их атомный номер. Проникающую способность рентгеновских и гамма-лучей принято характеризовать понятием жесткости. Менее проникающие лучи называют мягкими, а более проникающие - жесткими. Мягкое рентгеновское излучение хорошо поглощается различными материалами, трансформируя при этом свою энергию в тепловую.

Количественное описание радиоактивного излучения выражается физическими единицами, характеризующими радиоактивность. Их условно можно разбить на две группы.

К первой группе относятся физические параметры поля радиоактивных излучений и его воздействия на вещество. К ним относятся: поток и плотность потока частиц (квантов), кинетическая энергия излучения, спектральная плотность потока, поглощенная доза и мощность поглощенной дозы, экспозиционная доза и мощность экспозиционной дозы.

Вторая группа величин служит для оценки количественного содержания радиоактивных веществ в материалах. К этим величинам относятся активность и концентрация радиоактивного изотопа в материалах или в среде. Для измерения поглощенной дозы радиоактивного излучения применяется специальная единица **рад**, при которой поглощается энергия, равная $\sim 10^5$ Дж в 10^{-3} кг любого вещества независимо от вида и энергии ионизирующего излучения.

Поглощенная доза излучения будет зависеть от физических характеристик поля излучения и от массы облучаемого материала.

1.2 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИСПЫТАНИЙ РЭСИ

1.2.1 Классификация испытаний РЭСИ

Все испытания РЭСИ классифицируют (рисунок 1.9) по методам проведения, назначению, этапам проектирования, изготовления и выпуска, виду испытаний готовой продукции, продолжительности, уровню проведения, виду воздействия, определяемым характеристикам объекта.

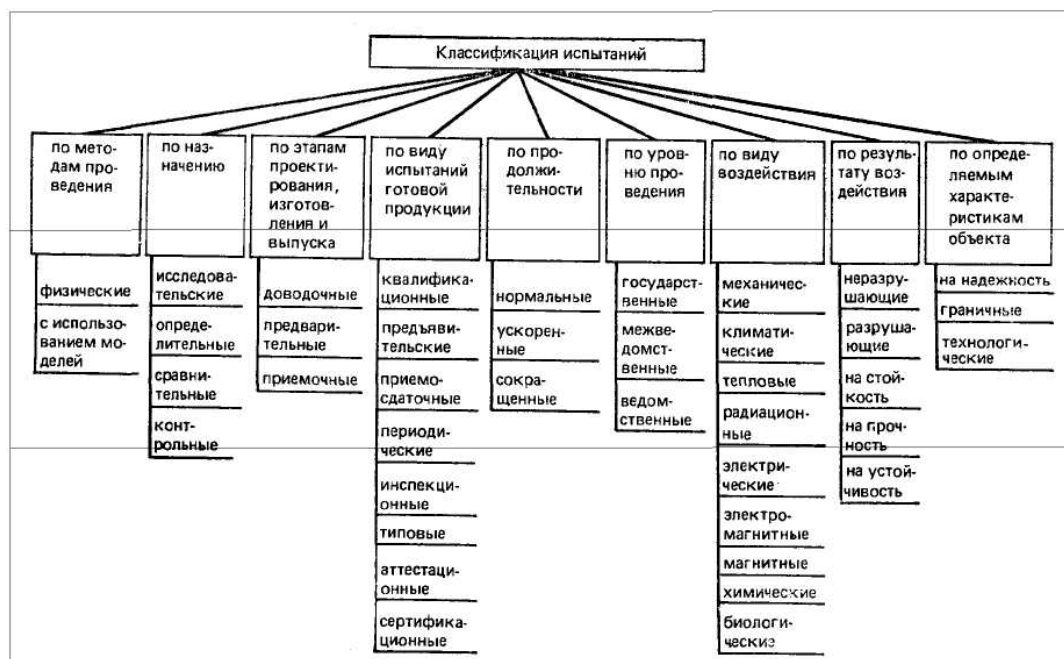


Рисунок 1.9 – Классификация испытаний РЭСИ

Методы испытаний подразделяют на две большие группы:

- физические испытания реальных ЭС или их макетов;
- испытания с использованием моделей.

Физические испытания могут проводиться как при внешних воздействующих факторах (ВВФ), создаваемых искусственным путем с помощью испытательных стендов (стендовые испытания) или специальных методов и средств, применяемых в лабораторных условиях (лабораторные испытания), так и при естественных ВВФ (полигонные и натурные испытания).

Лабораторные и стендовые испытания РЭСИ отличаются от реальной эксплуатации тем, что при их проведении пока еще не представляется возможным моделировать случайную совокупность всех внешних воздействий одновременно, как при реальной эксплуатации. Обычно при лабораторных и стендовых испытаниях РЭСИ подвергают воздействию одной или нескольких определенных нагрузок. Это приводит к результатам, несколько отличающимся от получаемых при реальной эксплуатации. Поэтому при исследовании влияния

РЭСИ в естественных условиях.

В зависимости от условий и места проведения таких испытаний различают *полигонные* и *натуральные* испытания РЭСИ. Полигонные испытания РЭСИ осуществляют на специальном оборудованном полигоне при воздействии внешних климатических факторов. При этом испытания РЭСИ, предназначенных для эксплуатации и хранения только в определенных климатических районах, проводят на полигонах, расположенных в пунктах с соответствующим климатом.

При проведении *натуральных* испытаний РЭСИ предполагается выполнение трех основных условий:

- испытаниям подвергаются РЭСИ, а не их модели или составные части;
- испытания проводятся в условиях и при воздействиях на РЭСИ, соответствующих условиям и воздействиям при эксплуатации;
- определяемые характеристики объекта испытаний измеряются непосредственно, без использования аналитических зависимостей, отражающих физическую структуру объекта испытаний и его составных частей. При этом допускается применять математический аппарат для статистической обработки экспериментальных данных.

Цель *полигонных* и *натурных* испытаний — исследование комплексного влияния естественно воздействующих факторов на изменение параметров, свойств и механизмов отказов РЭСИ при их эксплуатации и хранении. Эти испытания позволяют: исследовать характер реальных физико-химических процессов, протекающих в материалах и элементах испытываемых РЭСИ при воздействии естественных факторов; уточнять данные, получаемые при испытаниях РЭСИ под воздействием внешних факторов создаваемых искусственным путем, а также нормы на допустимые изменения параметров — критериев годности. По результатам полигонных и натурных испытаний разрабатывают рекомендации по защите РЭСИ от влияния внешних факторов.

Особенностями натурных испытаний являются их продолжительность, сложность и высокая стоимость. Эти испытания требуют четкой организации и оптимального планирования. Для ограничения объема натурных испытаний программа их проведения должна базироваться на анализе результатов эксплуатации, лабораторных и стендовых испытаний, а также требований, предъявляемых к РЭСИ. Это позволяет проводить испытания объекта только в тех естественных условиях, в которых влияние дестабилизирующих факторов наиболее значительно. Условия проведения натурных испытаний РЭСИ должны максимально приближаться к реальным условиям эксплуатации, для которых характерно чередование рабочих и нерабочих периодов. Поэтому проводят натурные испытания двух видов: под электрической нагрузкой (непрерывной или циклической) — для определения надежности РЭСИ при функционировании; без электрической нагрузки — для определения надежности РЭСИ при хранении.

Натурные испытания достаточно проводить только с «типичными представителями» групп РЭСИ (РЭСИ, имеющих близкие конструктивно-технологические решения), а затем результаты испытаний распространять на

всю группу. Это уменьшает объем и стоимость испытаний и во многих случаях позволяет оценить влияние окружающей среды на разрабатываемые РЭСИ.

В последнее время большое практическое значение приобретает информация о надежности РЭСИ, получаемая в результате натурных испытаний в условиях открытого космоса.

К физическим относятся также *эксплуатационные испытания РЭСИ*. Один из основных видов таких испытаний — *опытная эксплуатация*. Иногда проводят подконтрольную эксплуатацию, которую условно можно отнести к эксплуатационным испытаниям. При подготовке к подконтрольной эксплуатации обслуживающий персонал, руководствуясь специально разработанной документацией, осуществляет сбор, учет и первичную обработку информации.

Испытания с использованием моделей осуществляют методами физического и математического моделирования, которыми в ряде случаев можно заменить сложные физические испытания реальных РЭСИ или их макетов. На выходные параметры РЭСИ оказывают влияние изменения параметров элементов, колебания напряжений питания, температуры окружающей среды, влажности и др., т.е. большая группа (часто взаимосвязанных) параметров, которые при создании моделей отказов называют первичными (входными).

Физическое моделирование состоит в том, что первичный параметр объекта испытаний заменяется простой физической моделью, способной имитировать изменения данного параметра.

Физические модели могут подвергаться статистическим испытаниям. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) заключается в том, что путем многократных случайных испытаний (вычислений, производимых над случайными числами) определяют вероятность появления некоторого случайного события (математического ожидания случайной величины). Метод позволяет определить характеристики надежности в предположении, что известен механизм отказов РЭСИ при различных сочетаниях значений параметров, выбираемых случайным образом согласно заданной статистической модели. Метод статистических испытаний предусматривает проведение испытаний на реальных объектах или их физических моделях. При испытаниях на реальных объектах производят исследование возможных причин отказов РЭСИ и их последствий, искусственно вводя в схему обрывы, короткие замыкания или устанавливая элементы с параметрами, выходящими за допустимые нормы. При испытаниях на моделях РЭСИ ряд элементов заменяют их физическими моделями, параметры которых можно менять. Моделирование элементов осуществляют на специальных стендах, на которых воспроизводят случайные изменения указанных параметров.

Частным видом статистических испытаний РЭСИ являются граничные испытания. Их проводят для определения зависимостей предельно допустимых значений параметров РЭСИ от режимов эксплуатации.

По назначению испытания можно разделить на:

- исследовательские;

- определительные;
- сравнительные;
- контрольные.

Исследовательские испытания проводят для изучения определенных характеристик свойств РЭСИ. Результаты этих испытаний служат для решения следующих задач: определения или оценки показателей качества функционирования испытываемых РЭСИ в определенных условиях эксплуатации; выбора оптимальных режимов работы и показателей надежности РЭСИ; сравнения множества вариантов реализации РЭСИ при проектировании и аттестации; построения математической модели функционирования РЭСИ (оценки параметров математической модели); отбора существенных факторов, влияющих на показатели качества функционирования РЭСИ; выбора математической модели РЭСИ из заданного множества вариантов. Примером исследовательских испытаний могут служить испытания моделей. Особенностью исследовательских испытаний является факультативный характер их проведения, т.е. они, как правило, не применяются при сдаче готовой продукции.

Определительные испытания проводят для определения количественных показателей надежности РЭСИ с заданной достоверностью. Показатели определяют экспериментально путем испытаний и последующих измерений, анализа диагностирования, с помощью органолептических методов регистрации отказов, повреждений и других событий.

Сравнительные испытания служат для сравнения показателей надежности аналогичных или одинаковых объектов. Так, на практике иногда возникает необходимость сопоставить качество аналогичных по характеристикам или даже одинаковых ЭС, выпускаемых различными предприятиями. Для этого сравниваемые объекты испытывают в идентичных условиях.

Контрольные испытания, составляющие наиболее многочисленную группу испытаний, проводят для установления соответствия характеристик РЭСИ заданным.

1.2.1.1 Испытания на этапах проектирования, изготовления и выпуска изделий

Как уже отмечалось, цели и задачи испытаний меняются в течение «жизненного цикла» изделия. В связи с этим понятно выделение испытаний по этапам. На указанных этапах проводят доводочные, предварительные и приемочные испытания. Эти испытания по своему назначению могут быть исследовательскими, контрольными, сравнительными, определительными.

Так, *доводочные испытания* — исследовательские, и проводят их при проектировании изделий с целью оценки влияния вносимых в РЭСИ изменений (конструктивных, схемотехнических и др.) для достижения заданных значений показателей качества.

Предварительные испытания являются контрольными для опытных образцов и (или) опытных партий продукции и проводятся с целью

определения возможности их предъявления на приемочные испытания.

Приемочные испытания также являются контрольными для опытных образцов, опытных партий продукции или единичных изделий. Эти испытания проводят для решения вопроса о целесообразности постановки продукции на производство (в случае опытных образцов) или передачи ее в эксплуатацию (в случае производства единичных изделий).

Испытания готовой продукции подразделяют на:

- квалификационные;
- предъявительские;
- приемосдаточные;
- периодические;
- инспекционные;
- типовые;
- аттестационные;
- сертификационные.

Квалификационные испытания проводят на установочной серии или первой промышленной партии изделий, т.е. на стадии освоения производства РЭСИ. Их цель — оценка готовности предприятия к выпуску продукции данного типа в заданном объеме.

Предъявительские испытания проводит служба технического контроля предприятия-изготовителя перед предъявлением РЭСИ для приемки представителем заказчика, потребителем или другими органами приемки.

Приемосдаточные испытания проводят в освоенном производстве. Это контрольные испытания изготовленной продукции при приемочном контроле. Как правило, их осуществляет изготовитель продукции. Если же на предприятии-изготовителе имеется представитель заказчика, то приемосдаточные испытания проводятся им в присутствии представителя предприятия-изготовителя.

С целью контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения ее выпуска проводят *периодические испытания* продукции в объеме и в сроки, установленные НТР, обычно каждый месяц или квартал, а также в начале выпуска РЭСИ и при возобновлении производства после временного прекращения. Периодические испытания включают в себя такие испытания, при которых вырабатывается часть ресурса ЭС (длительная вибрация, многократные удары, термоциклы). Это сравнительно дорогостоящие испытания, и поэтому они всегда являются выборочными. Результаты периодических испытаний распространяют на все партии, выпущенные в течение определенного времени.

Инспекционные испытания — это особый вид контрольных испытаний. Их осуществляют выборочно для контроля стабильности качества установленных видов продукции специально уполномоченными организациями.

Типовые испытания — это испытания выпускаемой продукции, проводимые с целью оценки эффективности внесения конструктивных

изменений, применения новых материалов или ТП. Электронные средства могут оцениваться по категориям качества или на соответствие их характеристик требованиям национальных и международных стандартов.

Для оценки качества продукции при ее аттестации по категориям качества проводят *аттестационные испытания*, а для установления соответствия показателей качества РЭСИ национальным и (или) международным НТД — *сертификационные испытания* продукции.

По продолжительности все испытания подразделяют на

- нормальные;
- ускоренные;
- сокращенные.

Под *нормальными* понимают испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение в необходимом объеме информации о показателях надежности изделия за такое же время, что и при эксплуатации. Методы и условия проведения *ускоренных испытаний* обеспечивают получение необходимой информации о качестве РЭСИ в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях. *Сокращенные испытания* выполняют по сокращенной программе.

По уровню проведения испытаний РЭСИ их можно разделить на

- государственные;
- межведомственные;
- ведомственные.

К государственным относят испытания важнейших видов РЭСИ, проводимые головной организацией по государственным испытаниям, или приемочные испытания, проводимые государственной комиссией.

Межведомственные—это приемочные испытания РЭСИ, разработанных совместно несколькими ведомствами. Эти испытания проводит комиссия из представителей нескольких заинтересованных министерств и ведомств

Ведомственные испытания осуществляются комиссией из представителей заинтересованных министерства и ведомства.

По виду воздействия различают:

- механические;
- климатические;
- тепловые;
- радиационные;
- электрические;
- магнитные;
- электромагнитные;
- химические (воздействие специальных сред);
- биологические (воздействие биологических факторов) испытания.

По результату воздействия на ЭС испытания делят на

- разрушающие;

- неразрушающие;
- стойкость;
- прочность;
- устойчивость.

Испытания являются *разрушающими*, если в процессе их проведения применяют разрушающие методы контроля или в результате воздействия внешних факторов, испытываемые объекты становятся непригодными для дальнейшего использования. Методы *неразрушающего* контроля применяют как взамен разрушающих, так и в дополнение к ним. При этом сокращается время анализа отказов, а в ряде случаев более точно устанавливаются место и вид дефекта.

По определяемым характеристикам объекта различают испытания:

- на надежность;
- граничные;
- технологические.

Наиболее важными из них являются *испытания на надежность*. Надежность любого изделия характеризуется безотказностью, долговечностью, сохраняемостью и ремонтпригодностью.

Под *безотказностью* понимают свойство РЭСИ непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных режимах и условиях эксплуатации. С течением времени происходят износ и старение, вызывающие отказы РЭСИ.

Долговечность невосстанавливаемого изделия характеризуется его наработкой до отказа, т. е. продолжительностью работы изделия от начала его эксплуатации (испытаний) до возникновения первого отказа. Для восстанавливаемых изделий (к ним относятся отдельные виды РЭСИ), конструкция которых включает навесной монтаж элементов, в понятие «долговечность» вкладывается несколько иной смысл. Долговечность таких РЭСИ ограничивается соображениями технической и экономической целесообразности их дальнейшего использования. При этом РЭСИ могут иметь большое число отказов за время эксплуатации, для устранения которых изделия ремонтируют, заменяя отказавшие элементы. Поэтому под *долговечностью восстанавливаемого изделия* понимают его свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Календарная продолжительность эксплуатации РЭСИ от ее начала до наступления предельного состояния составляет *срок службы РЭСИ*. Кроме понятия «срок службы» в практике существует понятие «гарантийный срок службы» РЭСИ, устанавливающий взаимоотношения между заказчиком и изготовителем. Гарантийный срок службы изделия всегда меньше его действительного срока службы. Если в течение гарантийного срока происходит отказ изделия, то ответственность за него несет изготовитель, который должен выполнить ремонт

отказавшего изделия, а в случае невозможности ремонта заменить изделие исправным. По истечении гарантийного срока службы предприятие-изготовитель не несет ответственности за отказы РЭСИ, но при этом не исключается, что изделия остаются надежными и технически пригодными для дальнейшей эксплуатации.

Сохраняемость — свойство РЭСИ сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Под *ремонтпригодностью для восстанавливаемых изделий* понимают свойство РЭСИ, заключающееся в приспособленности к восстановлению и поддержанию заданного технического ресурса путем предупреждения, обнаружения и устранения неисправностей и отказов. Количественно ремонтпригодность оценивается трудоемкостью восстановления работоспособности изделий, которая определяется затратами времени и средств на диагностику отказов с учетом необходимой квалификации обслуживающего персонала, уровня технической оснащенности и системы организации ремонта.

Под *ремонтпригодностью невозстанавливаемых изделий* понимается их приспособленность к проверке технического состояния и удобной замене.

Надежность как свойство закладывается в РЭСИ при разработке и изготовлении, а оценивается в процессе испытаний и эксплуатации с помощью количественных и качественных показателей надежности. Испытания, в результате которых оценивается надежность РЭСИ, называют испытаниями на надежность. Эти испытания могут быть как определительными, так и контрольными. Результатами определительных испытаний на надежность пользуются для установления фактических показателей надежности. Контрольные испытания на надежность проводят для оценки соответствия показателей надежности РЭСИ требованиям, установленным ТЗ и ТУ.

Большое разнообразие условий эксплуатации и видов нагрузок, которым могут подвергаться РЭСИ, не позволяет ограничиваться проведением какого-либо одного из рассмотренных видов испытаний для того, чтобы гарантировать их надежную работу в различных условиях применения. Только по результатам всех видов испытаний оценивается качество РЭСИ в целом и принимается соответствующее решение о возможности предъявления их на приемочные испытания, постановки на производство, об окончании освоения серийного производства или о его продолжении, о присвоении категории качества и т. д.

1.2.2 Методы проведения испытаний РЭСИ

В настоящее время применяют следующие способы проведения лабораторных и стендовых испытаний:

- последовательный;
- параллельный;
- последовательно-параллельный;
- комбинированный.

При *последовательном способе* одно и то же РЭСИ последовательно подвергают всем предусмотренным программой видам испытаний. Исключение составляют испытания, проводимые при воздействии большинства химических и биологических внешних факторов, которые, как правило, осуществляют на различных выборках. Последовательность испытаний предусматривает обычно первоочередное выявление наиболее грубых дефектов изделий, например ошибок маркировки, коротких замыканий и обрывов при приемосдаточных испытаниях.

Недостатком последовательного способа проведения испытаний является накопление деградационных изменений в физической структуре объекта испытаний по мере перехода от одного ВВФ к другому. В результате каждое воздействие предыдущего фактора оказывает влияние на результаты испытаний при воздействии последующего, что усложняет интерпретацию результатов испытаний и ускоряет износ РЭСИ.

При *параллельном способе* проведения испытаний изделия подвергают воздействию различных ВВФ одновременно (параллельно) на нескольких выборках. Такой способ позволяет получить большой объем информации за значительно более короткий промежуток времени, чем последовательный способ, при минимальном износе испытываемых образцов. Однако параллельный способ требует существенно большего числа испытываемых изделий, чем последовательный.

Компромиссным является *последовательно-параллельный* способ испытаний, позволяющий в каждом конкретном случае более эффективно использовать преимущества того или иного способа и находить оптимальные варианты их сочетания. При последовательно-параллельном способе все изделия, отобранные для испытаний, разбивают на несколько групп, которые испытывают параллельно. В каждой группе испытания проводятся последовательным способом.

С целью приближения лабораторных условий испытаний РЭСИ к реальным условиям эксплуатации все большее распространение находит *комбинированный способ* испытаний, при котором на РЭСИ одновременно воздействуют несколько внешних факторов. Основное ограничение широкого применения комбинированного воздействия при лабораторных и стендовых испытаниях связано с отсутствием необходимого оборудования, а также со сложностью и высокой стоимостью проведения таких испытаний. Алгоритм испытаний всегда должен выбираться исходя из

результатов воздействий того или иного фактора на конкретный объект испытаний и условий его последующей эксплуатации. При этом следует обращать внимание на то, что в процессе испытаний механизм отказов РЭСИ усиливался и все потенциально ненадежные образцы были обязательно выявлены.

1.2.3 Общий подход к планированию испытаний

Высокие требования, предъявляемые к качеству современных РЭСИ, приводят к необходимости проведения испытаний, позволяющих определить значения параметров надежности по установленной методике с целью оценки их соответствия требованиям ТУ. Одним из источников информации о работоспособности и надежности РЭА являются лабораторные испытания, имитирующие внешние воздействия, соответствующие реальным условиям эксплуатации. Поэтому разработка программы испытаний (ПИ) на надежность и методики их проведения являются ответственным мероприятием.

Основной целью программы испытаний является получение данных для введения необходимых, изменений в конструкцию, обеспечивающих повышение качества аппаратуры, а также получение оценки фактической надежности РЭСИ.

Когда необходимо получить справочные данные о количественных показателях надежности и об их зависимости от времени и степени жесткости воздействующих факторов, производят специальные испытания на надежность, называемые *определятельными*. Точность оценки показателей надежности зависит от количества испытываемых образцов и продолжительности испытаний.

При разработке программы испытаний необходимо учитывать, в каком виде желательно получить результат испытаний: либо в виде случайного события — положительный исход или отказ, либо в виде количественной величины, характеризующей определенные электрические параметры РЭСИ. Также необходимо учитывать, является ли испытываемая аппаратура однократного или многократного действия.

В основу разработки программы испытаний должны быть положены вероятностные и статистические методы, позволяющие обеспечить научно обоснованное планирование испытаний и оценку их результатов. Для определения количества испытываемых образцов и продолжительности испытаний необходимо знание законов распределения отказов. Принято считать, что для сложной аппаратуры многократного действия внезапные и постепенные отказы следуют экспоненциальному закону распределения, а для аппаратуры однократного действия биномиальному закону.

При разработке программы испытаний необходимо исходить из классификации изделий по функционально-конструктивному признаку, в соответствии с которым все изделия делятся на классы деталей, узлов, приборов, комплектов и систем. С точки зрения испытаний указанные классы изделий можно объединить в две группы: I или низшая группа, объединяющая

изделия, не имеющие самостоятельного эксплуатационного назначения (детали, узлы, блоки), и II или высшая, группа, объединяющая изделия, имеющие самостоятельное эксплуатационное назначение - это приборы (радиоприемники, телевизоры и т. п.) и системы (установки, станции и т. д.). Решение вопроса о том, подвергать ли испытаниям изделия низшей или высшей группы, принимается конкретно для каждого случая.

Испытания изделий низшей группы требуют применения более простой, дешевой и менее габаритной испытательной аппаратуры, а также позволяют более быстро обнаружить слабые места изделий, так как на результаты испытаний не оказывают влияния другие взаимодействующие с ним элементы РЭСИ. При этом возможно более быстрое принятие необходимых мер по усовершенствованию этих изделий и устранению обнаруженных неисправностей до момента окончания проектирования и изготовления всей системы.

В ряде случаев возможно использование для испытаний уже имеющейся контрольно-измерительной аппаратуры, предназначенной для испытаний идентичных изделий.

Испытания высшей группы изделий обеспечивают получение результатов учитывающих возможные взаимодействия различных блоков и частей РЭСИ при меньшем объеме работ, так как для испытаний требуется меньшее время и число образцов. Однако при выборе группы изделий для испытаний следует учитывать, что вероятность безотказной работы сложной системы равна произведению вероятностей безотказной работы ее элементов.

Отсюда следует, что для получения большого значения вероятности безотказной работы системы необходимо, чтобы входящие в нее элементы имели значительно более высокую вероятность безотказной работы. Т.о., получение при испытаниях устойчивых значений изделий низшей группы приводит к необходимости увеличения числа испытываемых изделий, а также продолжительности испытаний.

Решив вопрос об объекте испытаний, разрабатывают программу испытаний, которая должна предусматривать:

- количество испытываемых изделий;
- общую продолжительность испытаний и продолжительность испытаний при различных внешних воздействиях;
- периодичность проведения испытаний;
- состав и последовательность испытаний на внешние воздействия;
- параметры испытательных режимов;
- пределы изменения питающих напряжений и продолжительность работы и изделий при этих напряжениях.

Периодичность проведения испытаний изделий зависит от того, к какой группе оно принадлежит. Периодичность проведения испытаний низшей группы обычно меньше, чем у высшей группы, но в обоих случаях она зависит от вида производства и количества изделий, выпускаемых за

контролируемый период. Периодичность испытаний следует указывать в ТУ на изделие. К примеру, периодичность испытаний радиоизмерительных приборов определяется при серийном производстве 3-5 годами, а для вновь внедряемых - 1-2 годами. Отбор изделий для испытаний производится в порядке, предусмотренном ТУ из числа прошедших приемосдаточные испытания.

Состав и последовательность испытаний на внешние воздействия находятся в зависимости от условий эксплуатации и хранения. Очевидно, что не все внешние воздействия возможно имитировать, и они не всегда могут быть приложены совместно, как это бывает в реальных условиях. Поэтому необходимо установить, каким внешним воздействиям, и в каких комбинациях должна подвергаться аппаратура, каков уровень их воздействия (целесообразно, чтобы он несколько превышал реальные воздействия), периодичность и последовательность смены указанных воздействий, продолжительность работы аппаратуры в различных режимах.

При определении последовательности испытаний следует исключать случаи, когда одни и те же изделия будут последовательно подвергаться различным уровням внешних воздействий, вызывающим необратимые ухудшения параметров, что затрудняет определение причины возникновения отказа. В ряде случаев может предусматриваться проведение на некоторых изделиях ускоренных или граничных испытаний, а иногда проведение испытаний в эксплуатационных условиях.

При определении состава испытаний необходимо учитывать возможности моделирования условий испытаний: наличие испытательных средств, расходы, связанные с проведением испытаний, наличие квалифицированного состава испытателей и т. д.

Параметры испытательных режимов устанавливаются в соответствии с действующими ГОСТ, нормами и техническими условиями на испытываемое изделие. На практике пользуются тремя видами норм на параметры. Предельные нормы, на которые рассчитывают изделия, приводятся в техническом отчете и по ним испытания не производятся. Испытательные нормы, которые указывают в ТУ, отличаются от предельных на величину производственного допуска и по ним производят испытания в процессе производства. Эксплуатационные нормы, ниже испытательных указываются в ТУ, и только в пределах этих норм разрешается эксплуатация изделий. По этим нормам производятся испытания в процессе эксплуатации.

К программе испытаний должна прилагаться методика их проведения. При разработке методик проведения испытаний необходимо указывать, как должны производиться измерения, чтобы результаты были наиболее надежны и показательны.

В процессе проведения испытаний нужно вести учет и анализ отказов. При этом необходимо выяснить, чем объясняются отступления экспериментальных данных и характеристик от ожидаемых на основании теоретических расчетов. По результатам испытаний определяют предусмотренные в ТУ параметры РЭСИ, количественные характеристики надежности, оценивают их соответствие заданным и разрабатывают рекомендации по их повышению. Все материалы по

проведенным испытаниям оформляют в виде отчета, который должен содержать: программу и методику испытаний, протокол испытаний с приложением.

Примерная форма протокола испытаний с характеристикой содержания его разделов:

I. Объект испытаний:

Наименование объекта.

Чертежный номер (шифр).

Заводской номер.

Дата выпуска. Общая характеристика объекта.

II. Цель испытаний:

1. Определение соответствия РЭА установленным в ТУ требованиям.

2. Определение количественных характеристик надежности и установление их соответствия заданным нормам.

3. Выявление схемных, конструктивных и производственных дефектов, а также недостатков системы контроля качества.

4. Выявление ненадежных деталей, узлов, блоков и установление причин, вызывающих их неисправность и отказ.

III. Место и время испытаний.

Указывается наименование подразделения, проводившего испытания.

Время и дата начала и конца испытаний.

IV. Условия испытаний.

Испытания проводятся в соответствии со специально разработанной методикой на основании действующих ГОСТ, нормалей или другой централизованной документации.

V. Результаты испытаний.

1. Приводятся ведомости неисправностей.

2. Дается количественная оценка надежности испытуемых изделий.

3. Анализируются результаты испытаний.

VI. Выводы и рекомендации по повышению надежности.

1.2.4 Основные положения программы испытаний

Программа испытаний (ПИ) — это обязательный для выполнения организационно-методический документ, оформляемый следующим образом. На титульном листе размещают:

- наименование программы;
- название темы, по которой ведется разработка изделия;
- согласующие и утверждающие программу подписи руководителей организации — разработчика РЭСИ и (при необходимости) представителя заказчика. Программа испытаний состоит из шести разделов:

Раздел I «*Объект испытаний*» включает наименование, чертежный и заводской номера, дату выпуска объекта испытаний.

В разделе 2 «*Цель испытаний*» ставится конкретная цель (или цели) испытаний.

В разделе 3 «*Обоснование необходимости проведения испытаний*» указы-

ваются плановые документы, в которых регламентирована необходимость проведения испытаний (например, программа обеспечения качества).

Раздел 4 «*Место проведения и обеспечение испытаний*» содержит наименование подразделения, в котором проводятся испытания, а также план работ по их подготовке и проведению с указанием объема, срока исполнения и соответствующих исполнителей работ.

Раздел 5 «*Объем и методика испытаний*», раскрывающий содержание испытаний, разбивается на два подраздела. В первом указываются условия испытаний (число образцов, распределение их на группы, последовательность прохождения испытаний различными группами по видам воздействий с регламентацией количественной оценки каждого воздействия) и номера чертежей оснастки, необходимой для их проведения. Второй подраздел включает сведения о контролируемых параметрах изделия с указанием документации, по которой требуется измерить или определить эти параметры.

В разделе 6 «*Оформление результатов испытаний*» регламентируется форма представления результатов испытаний: протокол, отчет, техническая справка.

1.2.4.1 Содержание основных разделов программы испытаний и рекомендации по их выполнению

При составлении раздела 1 следует учитывать, что по результатам испытаний объекта принимается то или иное решение по данному объекту - о его годности или его браковке, предъявлении на следующие испытания или возможности серийного выпуска и др. Объектами испытаний могут быть: макеты, модели, экспериментальные образцы изделия, изготовленные при выполнении научно-исследовательских работ (НИР) на этапах проектирования; опытные образцы изделия, изготовленные при выполнении опытно-конструкторских работ (ОКР); образцы, изготовленные при освоении изделия в производстве; образцы, изготовленные в ходе серийного производства.

При выборе *объекта испытаний* следует исходить из того, что в процессе испытаний должна быть подтверждена работоспособность изделия/изделий при указанных в НТД условиях эксплуатации, а также соответствие значений показателей надежности изделия/изделий требуемым НТД. При этом должно быть предусмотрено: наличие соответствующих устройств для проведения испытаний, минимальные стоимость (включая затраты на устройства для испытаний) и продолжительность испытаний, взаимозаменяемость испытываемых изделий или отдельных функциональных узлов и блоков (для ремонтпригодных изделий) в процессе испытаний. Для отдельных видов испытаний целесообразно выбрать типопредставитель из номенклатуры изделий, изготавливаемых по близкому конструктивно-технологическому решению. Для этого разработана методика, направленная на то, чтобы результаты испытаний выбранного объекта можно было распространить на всю номенклатуру изделий данного конструктивно-технологического варианта. В соответствии с этой методикой в каждом изделии рассматриваемого варианта

выявляют номенклатуру и число элементов, определяющих надежность изделия (например, переходов со слоя на слой в коммутационной плате, элементов критических размеров пленочных и полупроводниковых ИС и т. д.). Из сравниваемых изделий выбирают изделие, обладающее широкой номенклатурой и насыщенностью такими элементами. Это изделие и рекомендуется использовать в качестве типичного для рассматриваемого конструктивно-технологического варианта при проведении испытаний.

Цели испытаний, которые должны быть сформулированы в разделе 2, достаточно разнообразны. Они определяются как видом испытаний, так и этапом жизненного цикла изделий.

Цели испытаний раскрывают их назначение, которое должно быть отражено в названии. Поэтому, чтобы сформулировать название испытаний, необходимо установить их назначение, т. е. определить по цели проведения испытаний, к какой из четырех групп (исследовательские, контрольные, сравнительные, определительные) их можно отнести. Аналогично в названии испытаний должны быть учтены и другие признаки вида испытаний (стадия проведения испытаний, продолжительность, вид и результат воздействий и др.). Соответственно название испытаний может содержать два и более признаков из числа перечисленных, например межведомственные и периодические стендовые испытания на надежность.

План проведения испытаний, входящих в раздел 4 ПИ, содержит перечень работ, необходимых для проведения испытаний: изготовление образцов, приемка образцов ОТК, измерение и определение параметров образцов испытаний, подготовка устройств для испытаний, проведение испытаний, оформление результатов испытаний, согласование и утверждение протокола испытаний и др.

Под *условиями испытаний*, входящих в раздел 5 ПИ, понимают совокупность воздействий на объект и режимов функционирования объекта. Как указывалось ранее, условия испытаний характеризуются воздействием на объект как объективных, так и субъективных факторов. Поскольку основная цель испытаний состоит в получении информации о потенциально ненадежных изделиях, выбору воздействующих факторов придают первостепенное значение. При этом учитывают: местоположение объекта, в составе которого используются РЭСИ (наземные, самолетные, корабельные и др.); уровень разукрупнения испытываемых РЭСИ (система, комплекс, устройство, функциональный узел), что определяет число выбранных для испытаний ВВФ; климатический район эксплуатации РЭСИ; условия эксплуатации, транспортировки и хранения. Однако основные принципы выбора воздействующих факторов следующие: адекватность условий испытаний условиям эксплуатации; учет механизма старения или развития отказа; учет потенциальной надежности всех элементов конструкции.

Для установления адекватности условий испытаний условиям эксплуатации необходим *физический подход к выбору воздействующих факторов*, который предполагает знание закономерностей возникновения и развития отказов и определение влияния различных факторов на скорость

изменения запаса прочности изделия. Анализ диагностики отказов позволяет выявить физико-химические процессы, происходящие в физической структуре элементов и деталях конструкции РЭСИ. При этом очевидны причинно-следственные связи между указанными процессами и внешними и внутренними воздействиями. Целесообразно элементы физической структуры исследуемого изделия, изменение состояния которых вызывает его отказы, разделить в зависимости от их основных функций на следующие группы:

- конструктивные, обеспечивающие необходимую геометрию изделий, сочленение его с другими изделиями и соединение элементов друг с другом;
- активные (рабочие области), физические процессы в которых обеспечивают функционирование изделия;
- защитные, потеря свойств которых приводит к возникновению и усилению деградиационных процессов в активных элементах.

Например, в ИС можно выделить кристалл, оксид, металлизацию, внутрисхемные контакты (термокомпрессионные или ультразвуковые), проводники для соединения металлизации с выводами корпуса, корпус. Указанные элементы физической структуры выполняют различные функции: кристалл — активные, конструктивные; оксид — защитные; проводники — активные, конструктивные и т. д.

Условное разделение физической структуры на элементы позволяет установить основные характеристики РЭСИ и определить критичные для них виды воздействий, а, следовательно, и факторы, вызывающие появление деградиационных процессов; выявить элементы с наименьшей потенциальной надежностью, что обеспечивает объективность выбора номенклатуры и уровней воздействующих факторов, которые приводят к наиболее быстрому изменению определенного вида прочности (механической, электрической, тепловой). При выборе ВВФ следует помнить, что результат их совместного действия не является результатом аддитивного действия отдельных факторов и что определенные виды отказов имеют место только при совместном действии факторов. Например, возникновение короткого замыкания между близлежащими на поверхности печатной платы проводниками наиболее вероятно при наличии повышенной влажности и электрического напряжения.

На основании приведенных соображений необходимо при определении условий испытаний выбирать номенклатуру ВВФ, характерную для условий эксплуатации, чтобы обеспечить адекватность условий испытаний условиям эксплуатации. В то же время при эксплуатации, как правило, имеет место более жесткое воздействие на РЭСИ по сравнению с лабораторными или стендовыми испытаниями. Поэтому для испытаний на надежность следует выбирать значения ВВФ, превышающие характерные для нормальных условий эксплуатации РЭСИ.

При физическом подходе к определению условий испытаний РЭСИ и воздействующих на них факторов необходимо учитывать все элементы физической структуры РЭСИ, принимая во внимание деградиационные процессы в них и ускоряющие эти процессы объективные факторы.

По характеру воздействующих на РЭСИ факторов можно выделить испытания с парциальным и комплексным воздействием объективных факторов. В том случае, когда РЭСИ характеризуется существенно меньшим запасом прочности (механической, электрической, тепловой), для установления его надежности применяется парциальное воздействие того фактора, который приводит к значительному снижению прочности. Если же РЭСИ несущественно различаются по запасу прочности, а смена факторов во время эксплуатации не приводит к выделению доминирующего процесса деградации, целесообразно проводить комплексное воздействие нескольких факторов. Это необходимо также в тех случаях, когда воздействие определяющего фактора совместно с другими эффективнее его одиночного воздействия.

1.2.5 Основные требования и содержания методики испытаний

Методика испытаний — это организационно-методический документ, обязательный для выполнения. В нем сформулированы: метод испытаний, средства и условия испытаний; порядок отбора проб; алгоритмы выполнения операций по определению одной из нескольких взаимосвязанных характеристик испытываемого изделия; формы представления и оценки точности, достоверности результатов; требования техники безопасности и охраны окружающей среды. Методика испытаний определяет процесс их проведения. Она может быть изложена в самостоятельном документе или в ПИ. Методика является также составной частью НТД (стандарты, ТУ) на изготавливаемые РЭСИ.

Воспроизводимость результатов испытаний определяется качеством методики испытаний и свойствами объекта испытаний. При оценке погрешностей результатов испытаний очень важно выделить погрешности, обусловленные методикой. Поэтому основное требование к методике — обеспечение максимальной эффективности процесса испытаний и минимальных погрешностей результатов. Общие требования к методике испытаний включают требования к методу испытаний, техническим средствам и условиям проведения испытаний.

Метод испытаний — совокупность правил применения определенных принципов и средств для реализации испытаний, позволяющих обеспечить проверку изделий на соответствие требованиям НТД. При выборе метода учитывают конструктивно-технологические особенности изделий, нормы контролируемых параметров и заданной точности их измерения, требования безопасности проведения испытаний.

В методах испытаний конкретных РЭСИ должно быть предусмотрено воздействие на изделия объективных факторов (прямых и косвенных) по нормам, установленным НТД. Для большинства испытаний воздействующие факторы и их значения разбивают по степеням жесткости, соответствующим различным условиям эксплуатации РЭСИ. При этом учитывается возможность возникновения в элементах физической структуры деградационных процессов или известных механизмов отказов.

Все испытания должны обеспечивать минимальные затраты при максимальном техническом эффекте. Эффективность испытаний повышается при использовании методов, в которых автоматически поддерживаются испытательные режимы. Экономический анализ испытаний показал преимущество неразрушающих методов, особенно актуальных для невосстанавливаемых ЭС, функциональная сложность, а следовательно, и стоимость которых значительны.

При выборе методов испытаний, применяемых на различных этапах создания ЭС, необходимо учитывать, что допустимые нормы на параметры отличаются на ранних и поздних периодах жизненного цикла изделий. При этом устройства для испытаний должны быть выполнены в полном соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и своевременно аттестованы. Аттестация их предусматривает определение нормированных точностных характеристик, проверку их соответствия НТД и установление пригодности к работе.

В методике испытаний предусмотрено описание следующих этапов процесса испытаний:

- проверка устройств для испытаний;
- подготовка изделий к испытаниям;
- совместная проверка устройств для испытаний и испытываемого изделия;
- регистрация результатов испытаний и данных об условиях их проведения.

Проверка устройств для испытаний и подготовка их к испытаниям имеют решающее значение для успешного проведения последних. По техническим возможностям устройства для испытаний должны соответствовать этапам жизненного цикла испытываемого изделия. При этом требования к характеристикам этих устройств повышаются по мере перехода от этапа проектирования ЭС к эксплуатации. Устройства, удовлетворительно обеспечивающие проведение испытаний на этапе проектирования, не могут быть применены на последующих этапах без учета требуемой точности измерений и заданной точности поддержания значений воздействующих факторов.

Подготовка изделий к испытаниям включает выбор параметров, характеризующих качество изделий, их внешний осмотр и измерение параметров качества. Изделия контролируют по функциональным и физическим параметрам, а также по внешним признакам. При выборе параметров, подлежащих измерениям и контролю в процессе испытаний, необходимо исходить из требований их максимальной информативности, чувствительности к воздействиям и объективной оценки качества испытываемых РЭСИ.

Совместная проверка устройств для испытания и испытываемого изделия должна показать, выполняют ли устройства свои функции при испытании изделия, не повреждаются ли устройства при возможных перегрузках в процессе испытаний, а испытываемые изделия — вследствие несогласованности их параметров с параметрами устройств для испытаний.

Такая проверка имеет особенно важное значение, если устройства впервые применяют для испытания этих изделий.

При испытаниях с целью изучения деградационных процессов параметры образцов измеряют после выдержки в нормальных климатических условиях; время выдержки должно обеспечивать стабилизацию параметров. При изучении обратимых процессов выдержка образцов в нормальных условиях не рекомендуется. Измерение параметров должно производиться в одной и той же заранее установленной последовательности.

Для *регистрации результатов испытаний* следует вести записи в развернутой форме, давать подробное описание выполняемых регулировок, операций с переключениями, схем расположения приборов и монтажных схем. Такая запись, гарантирующая регистрацию всех входных и выходных данных с указанием единиц измерения, приведенных к одной системе, должна включать: перечень параметров, характеризующих окружающие условия (температура, влажность, запыленность); даты регистрации; сведения о лицах, проводящих испытания; описание точной конфигурации испытываемого изделия; сведения о критериях приемки или браковки в случае приемосдаточных испытаний.

Полученные в процессе испытаний закономерности изменения информативных параметров могут быть положены в основу методов прогнозирования состояния изделий в условиях эксплуатации.

Рациональный выбор ограниченного числа информативных параметров, критичных к воздействию объективных факторов, сокращает объем измерений при испытаниях, а, следовательно, и стоимость испытаний в целом. Критерием выбора информативного параметра является соответствие изменения его значений во время испытания основному процессу деградации, приводящему к отказу.

1.3 ИСПЫТАНИЯ РЭСИ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

1.3.1 Общая методология организации климатических испытаний

Требуемая стойкость МЭ и ИМ к воздействиям климатических факторов закладывается на этапе разработки и конструирования и обеспечивается в производстве. Наиболее достоверную оценку дает опыт эксплуатации или испытания изделий в условиях, имитирующих эксплуатационные воздействия.

МЭ и ИМ используются в РЭСИ, эксплуатируемых в различных климатических условиях. Поэтому практически невозможно при испытании имитировать возможные условия эксплуатации. Многолетний опыт показал, что можно ограничиться определенным комплексом стандартных климатических испытаний. Простые и универсальные, они сложились исторически на эмпирических принципах. Не имитируя реальных условий эксплуатации, они позволяют получать нужную информацию в кратчайшие сроки. Это достигается за счет увеличения уровня нагрузок и их длительности.

Принципы оценки и анализа результатов должны создавать уверенность в том, что вновь разрабатываемые изделия будут обладать в эксплуатации не худшей стойкостью, чем их предшественники. Первым и непременным условием воспроизводимости результатов испытания является их полное и точное описание, исключающее всякую неопределенность толкования.

Испытания состоят из следующих этапов:

- предварительная выдержка, первоначальные измерения параметров и внешний осмотр изделий;
- установка изделий в камере, выдержка их в условиях испытательного режима и извлечение изделий из камеры, восстановление;
- заключительные измерения параметров и визуальный осмотр изделий.

Предварительная выдержка проводится с целью устранения или частичной нейтрализации воздействия на изделия предыдущих условий. Температура воздуха $25\pm^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 45-75%, атмосферное давление $(0,86-1,06) \cdot 10$ Па, длительность выдержки около 2 ч. По окончании предварительной выдержки изделия подвергают визуальному осмотру.

При *установке изделий в камере* следует следить за тем, чтобы между изделиями, а также между изделиями и стенками камеры была свободная циркуляция воздуха. Если при эксплуатации возможно несколько вариантов положений изделий, то следует выбрать вариант, обеспечивающий наибольшую жесткость испытания. Металлические части приспособлений обязательно должны иметь антикоррозионные покрытия.

Воспроизводимость результатов испытаний в значительной мере зависит от точности поддержания заданных параметров испытательного режима. Допуски можно рассматривать как компромисс между стремлениями, с одной стороны, увеличить точность и достоверность испытания, а с другой стороны, не удорожать испытания. Важно понимать структуру допусков и четко излагать

в методике испытаний требования к точности параметров испытательного режима.

Климатические испытания МЭ и ИМ проводятся не только на стадии их разработки (ОКР), но и при освоении изделий в серийном производстве, а также в самом серийном производстве для отбраковки потенциально ненадежных изделий (технологические испытания) и контроля стабильности производства (периодические испытания).

Климатические испытания в серийном производстве изделий обычно проводятся периодически (через 1-3 мес.). Они занимают важное место в технологии и системе контроля качества готовых изделий. Объем климатических испытаний ИМ составляет до 50% всего объема проводимых в производстве испытаний.

Режимы и условия испытаний МЭ и ИМ устанавливаются в зависимости от степени жесткости, которая определяется в свою очередь условиями их дальнейшей эксплуатации в РЭА.

1.3.2 Испытания на воздействие тепла и холода

Температурные воздействия окружающей среды являются одним из основных климатических факторов, обуславливающих нестабильность и деградацию параметров РЭСИ. Существенное влияние температуры на стабильность параметров РЭСИ обусловлено температурной зависимостью электрофизических параметров материалов. Определенную опасность для РЭСИ представляют резкие колебания температуры окружающей среды вследствие наличия в конструкции сопряженных материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения (ТКЛР).

Периодичность проведения испытаний зависит от индивидуальных свойств изделий, вида производства и объема их выпуска за контролируемый период и, как правило, указывается в ТУ на изделие. Например, при серийном производстве ИС, электрорадиоэлементов и функциональных узлов, периодичность испытаний составляет 1-3 месяца, для вновь внедряемых в производство радиоизмерительных приборов 1-2 года, а при серийном их производстве - 3-5 лет.

Температурные экстремумы аппаратуры определяются как климатическими, так и внутренними источниками тепла, поэтому при испытаниях необходимо учитывать суммарный эффект от воздействия всех источников тепла. Режимы и условия испытаний устанавливаются программой испытаний (ПИ) и методикой испытаний (МИ) в зависимости от степени жесткости, которая, в свою очередь, оговаривается в ТУ и стандартах на изделие. Виды и значения климатических факторов внешней среды и их взаимосвязь со степенями жесткости приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Значения воздействующих факторов

Воздействующие факторы		Значения, °С	Значения, К	Степень жесткости
Температура воздуха или другого газа при эксплуатации	Верхнее значение	40	313	I
		45	318	II
		50	323	III
		55	328	IV
		60	333	V
		70	343	VI
		85	358	VII
		100	373	VIII
		125	398	IX
		155	428	X
		200	473	XI
		250	523	XII
		315	588	XIII
		400	673	XIV
		500	773	XV
	Нижнее значение	+1	274	I
		-5	268	II
		-10	263	III
		-25	248	IV
		-30	243	V
		-40	233	VI
		-45	228	VII
		-60	213	VIII
		-85	188	IX
Температура воздуха или другого газа при транспортировании и или хранения	Верхнее значение	+50	323	I
		+60	333	II
	Нижнее значение	-50	223	I
		-60	213	II
		-85	188	III

Изделия РЭСИ могут испытываться на:

- теплоустойчивость (холодоустойчивость);
- теплостойкость (холодостойкость);
- циклическое воздействие смены температур.

При испытаниях на *стойкость* проверяется способность изделия противостоять разрушающему воздействию фактора и продолжать нормально функционировать после прекращения его действия. По истечении периода

испытаний проверяется внешний вид, механические свойства и измеряются электрические параметры аппаратуры. При проверке внешнего вида обращается внимание на изменение цвета, вид защитных покрытий, состояние сопрягаемых деталей. Если после испытаний указанные выше свойства и параметры удовлетворяют требованиям, установленным в ТУ, ПИ или в МИ, то изделие считается выдержавшим испытание.

Отличие испытаний на *стойкость* от испытаний на *устойчивость* заключается в продолжительности и в том, что при испытаниях на стойкость испытываемые образцы, как правило, находятся в нерабочем состоянии. Величина тепловых нагрузок при испытаниях на стойкость обычно больше, чем при испытаниях на устойчивость.

Испытания на устойчивость проводят с целью определения способности изделий РЭСИ выполнять свои функции, сохранять параметры и внешний вид в пределах норм ТУ в процессе и после воздействия температуры.

Различают два метода испытаний на устойчивость:

- испытание под термической нагрузкой;
- испытание под совмещенной термической и электрической нагрузками.

Первому методу испытаний подвергаются нетеплорассеивающие изделия, температура которых в процессе эксплуатации зависит только от температуры окружающей среды; второму - теплорассеивающие изделия, которые в рабочем состоянии нагреваются за счет выделяемой мощности под действием электрической нагрузки. При испытании под совмещенной нагрузкой изделия помещают в камеру и испытывают при нормальной или максимально допустимой электрической нагрузке, соответствующей верхнему значению температуры внешней среды, устанавливаемой в зависимости от степени жесткости испытаний.

На практике время испытания на теплоустойчивость определяется временем, необходимым для достижения испытываемым изделием теплового равновесия и временем измерения электрических параметров.

Возможны два способа проведения испытания теплорассеивающих изделий. При первом способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры воздуха в камере, которая устанавливается равной верхнему значению температуры окружающей среды, указанной в ТУ. При втором способе достижение заданного температурного режима изделий определяют контролем температуры участка изделия, который имеет наибольшую температуру или является наиболее критичным для работоспособности изделия.

Измерение параметров испытываемых изделий проводят после достижения теплового равновесия без извлечения изделия из камеры.

Испытание на воздействие повышенной рабочей температуры среды проводят для проверки способности изделий сохранять параметры и (или) внешний вид в условиях и после воздействия повышенной рабочей температуры среды.

Метод 201-1.1 – испытание нетепловыделяющих изделий в камере

без электрической нагрузки. Испытание проводят в камере тепла.

Изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Проводят визуальный осмотр и измерение параметров. Изделия помещают в камеру, после чего в камере устанавливают повышенную рабочую температуру, соответствующую указанной в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, или изделия помещают в камеру с заранее установленной повышенной рабочей температурой, о чем должно быть указано в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

Изделия выдерживают в камере при заданной температуре до достижения теплового равновесия в течении времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, но не менее 30 мин. При необходимости после достижения теплового равновесия изделия выдерживают в течении времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Если измерение параметров без извлечения изделий из камеры невозможно, то допускается проводить измерение параметров после извлечения изделий из камеры в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. В необходимых случаях в стандартах и ТУ на изделия и ПИ указывается не время, а температура изделия, при которой должны быть проведены измерения.

Изделия извлекают из камеры и выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Затем производят визуальный осмотр и измерение параметров. Изделие считается выдержавшим испытания, если его внешний вид и измеренные параметры соответствуют требованиям, указанным в документации к изделию.

Метод 201-1.2 – испытание тепловыделяющих изделий в камере без электрической нагрузки. Испытания проводят аналогично методу 201-1.2, при этом температура в камере устанавливается равной температуре контролируемого участка (узла) изделия, которую он приобретает при повышенной температуре в условиях свободного обмена воздуха и электрической нагрузке, указанной в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, для этой повышенной рабочей температуры.

Метод 201-2.1 – испытание в камере под электрической нагрузкой тепловыделяющих изделий при контроле температуры в камере. Испытание изделий данным методом допускается проводить при выполнении одного из следующих условий:

а) камера позволяет имитировать условия свободного обмена воздуха, т.е. в камере отсутствует принудительная циркуляция воздуха и полезный объем камеры позволяет обеспечить указанные в стандартах и ТУ на изделия и ПИ минимально допустимые расстояния между испытываемыми изделиями, а также между изделиями и стенками камеры;

б) камера не позволяет имитировать условия свободного обмена воздуха, но температура перегрева, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ участка (узла) изделия, определенная в нормальных климатических условиях испытаний, не превышает 25°C и разность указанной в стандартах и ТУ на изделия и ПИ повышенной рабочей температуры и температуры нормальных

климатических условий испытаний не превышает 35°.

Испытание проводят в камере тепла. Влажность в камере не контролируется. Камера должна обеспечивать поддержание температуры воздуха без применения принудительной циркуляции и должна быть достаточно велика по сравнению с размером изделия. Если испытание без циркуляции воздуха обеспечить невозможно, то может быть применена принудительная циркуляция воздуха, при этом скорость потока не должна быть более 2 м/с.

Изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Проводят визуальный осмотр и измерение параметров. Изделия устанавливают в камеру в соответствии с требованиями, указанными в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Если в них не оговорено особо, то для установки изделий в камере следует использовать приспособления, изготовленные из материалов, имеющих низкую теплопроводность. На изделия подают номинальную или, если указано в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, максимальную электрическую нагрузку или ток, соответствующий повышенной рабочей температуре. Характер, значение, вид и методы контроля нагрузки, а также, при необходимости, время нахождения изделий под нагрузкой устанавливают в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

Температуру в камере повышают до повышенной рабочей температуры и выдерживают при этой температуре до достижения теплового равновесия в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, но не менее 30 мин. В конце выдержки при повышенной рабочей температуре в камере проводят измерение параметров. Изделия извлекают из камеры и выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Затем производят визуальный осмотр и измерение параметров. Изделие считается выдержавшим испытания, если его внешний вид и измеренные параметры соответствуют требованиям, указанным в документации к изделию.

Метод 201-2.2 – испытание в камере под электрической нагрузкой тепловыделяющих изделий при контроле температуры изделия. Испытания проводят если не выполняются условия, установленные в методе 201-2.1, в камере тепла.

Порядок проведения испытаний аналогичен методу 201-2.1. Температуру в камере регулируют таким образом, чтобы температура контролируемого участка (узла) изделия была равна температуре, которую он приобретает при повышенной рабочей температуре и электрической нагрузке, соответствующей повышенной рабочей температуре. Значение температуры контролируемого участка устанавливается в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. При данной температуре изделия выдерживаются в течение времени, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, но не менее 30 мин. Изделия извлекают из камеры и выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Затем производят визуальный осмотр и измерение параметров. Изделие считается

выдержавшим испытания, если его внешний вид и измеренные параметры соответствуют требованиям, указанным в документации к изделию.

Метод 201-3 – испытание тепловыделяющих изделий под электрической нагрузкой вне камеры. Метод применяют для тепловыделяющих изделий, для которых установлена предельно допустимая температура контролируемого участка (узла) изделия.

Изделие испытывают вне камеры в рабочих (или эквивалентных) схемах, при этом регулировкой принудительного охлаждения или электрического режима устанавливают предельно допустимую температуру или предельно допустимое превышение температуры контролируемого участка (узла) изделия, указанное в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

Испытание на воздействие повышенной предельной температуры среды (метод 202-1) проводят для проверки способности изделий выдерживать воздействие повышенной предельной температуры среды. Испытания проводят в камере тепла. Изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Проводят визуальный осмотр и измерение параметров.

Изделия помещают в камеру, после чего в камере устанавливают температуру, соответствующую повышенной предельной температуре, указанной в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, или изделия устанавливают в камеру с заранее установленной температурой. Изделия выдерживают при заданной температуре до достижения теплового равновесия в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, но не менее 30 мин. Изделия извлекают из камеры и выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Затем производят визуальный осмотр и измерение параметров.

Испытание на воздействие пониженной рабочей температуры среды (метод 203-1) проводят в камере холода. Изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Проводят визуальный осмотр и измерение параметров.

Изделия помещают в камеру, после чего в камере устанавливают температуру, соответствующую пониженной рабочей температуре, указанной в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, или изделия помещают в камеру с заранее установленной пониженной рабочей температурой. При этом допускаемые отклонения температуры $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Изделия выдерживают при заданной температуре до достижения теплового равновесия в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, но не менее 30 мин. В конце выдержки при заданной температуре, не извлекая изделий из камеры, проводят проверку параметров, указанных в стандартах и ТУ на изделия и ПИ для данного вида испытаний. Если измерение параметров без извлечения изделия из камеры невозможно, то допускается измерять параметры после извлечения изделий из камеры. Затем температуру в камере повышают до нормальной и изделия извлекают из камеры. После извлечения из камеры изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в

течение времени, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Затем производят визуальный осмотр и измерение параметров.

Испытание на воздействие пониженной предельной температуры среды (метод 204-1) проводят для проверки способности изделий выдерживать воздействие пониженной предельной температуры среды. Испытание проводят в камере холода. Изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытания в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Проводят визуальный осмотр и измерение параметров.

Изделия помещают в камеру, после чего в камере устанавливают температуру, соответствующую пониженной предельной температуре, указанной в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, или изделия помещают в камеру с заранее установленной пониженной предельной температурой. При этом допускаемые отклонения температуры $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Изделия выдерживают при заданной температуре до достижения теплового равновесия в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, но не менее 30 мин. Затем температуру в камере повышают до нормальной и изделия извлекают из камеры. После извлечения из камеры изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Затем производят визуальный осмотр и измерение параметров.

Испытание на циклическое воздействие смены температур (термоциклирование) проводят для определения способности изделий выдерживать изменение температуры внешней среды и сохранять свои параметры после этого воздействия.

Метод 205-1 – быстрое изменение температуры (метод двух камер). Испытания проводят в камерах тепла и холода. Камера тепла – отклонение температуры от нормированных значений до 200°C – не должно превышать $\pm 2\%$. В том случае, если рабочие характеристики оборудования не обеспечивают указанных выше отклонений, допускается увеличение отклонений от нормированных выше значений в пределах:

- $\pm 3^{\circ}\text{C}$ при температуре до 100°C ;
- $\pm 5^{\circ}\text{C}$ при температуре от 100°C до 200°C ;
- $\pm 10^{\circ}\text{C}$ при температуре свыше 200°C ;
- Камера холода – отклонения $\pm 3^{\circ}\text{C}$;

Испытания данным методом проводят без подачи на изделия электрической нагрузки. Изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, установленного ПИ. Проводят визуальный осмотр и измерение параметров. Изделия подвергают воздействию пяти непрерывно следующих друг за другом, если другое число циклов не установлено в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Каждый цикл состоит из следующих этапов:

а) изделия помещают в камеру холода, температуру в которой заранее доводят до пониженной предельной или пониженной рабочей температуры в зависимости от того, которая из температур ниже, и выдерживают при этой температуре до достижения теплового равновесия в течение времени,

выбираемого из ряда: 10, 30 мин, 1, 2, 3, 4 ч;

б) после выдержки в камере холода изделия переносят в камеру тепла, температуру в которой заранее доводят до повышенной рабочей или повышенной предельной температуры в зависимости от того, которая из температур выше, и выдерживают при этой температуре до достижения теплового равновесия в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, и выбираемого из ряда: 10, 30 мин, 1, 2, 3, 4 ч.

Рекомендуется, чтобы время достижения заданного температурного режима в камере после загрузки изделий не превышало 10% выдержки или 5 мин в зависимости от того, какая из этих величин меньше. Время переноса изделия из одной камеры в другую не должно превышать 3 мин. После окончания последнего цикла изделия извлекают из камеры и выдерживают в нормальных условиях испытаний в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Затем производят визуальный осмотр и измерение параметров. Изделие считается выдержавшим испытания, если его внешний вид и измеренные параметры соответствуют требованиям, указанным в документации к изделию.

Метод 205-2 – постепенное изменение температуры (метод одной камеры). Испытания проводят в термокамере, которая должна поддерживать испытательные режимы с отклонениями, указанными в методе 205-1. Испытания проводят без подачи на изделия электрической нагрузки. Изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Производят визуальный осмотр. Затем изделия подвергаются воздействию двух непрерывно следующих друг за другом циклов. Каждый цикл состоит из следующих этапов:

а) изделия помещают в термокамеру, после чего температуру в камере понижают до предельной пониженной или рабочей пониженной в зависимости от того, которая из них ниже, и выдерживают при этой температуре до достижения теплового равновесия в течение времени, выбираемого из ряда: 10, 30 мин, 1, 2, 3, 4 ч.

б) температуру в камере повышают до повышенной предельной или повышенной рабочей в зависимости от того, которая из этих температур выше, и выдерживают при этой температуре до достижения теплового равновесия в течение времени, выбираемого из ряда 10, 30 мин, 1, 2, 3, 4 ч.

При испытании тепловыделяющих изделий температуру в камере устанавливают равной максимальной температуре контролируемого участка (узла) изделия. Скорость охлаждения и нагрева камер, усреднённые за период не более 5 мин, рекомендуется выбирать из ряда: $(1 \pm 0,2)$; $(3 \pm 0,5)$ или (5 ± 1) °С/мин, при этом выбранное значение скорости устанавливают в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. После окончания второго цикла изделия извлекают из камеры и выдерживают при нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Проводят измерения параметров и визуальный осмотр и делают вывод о результате испытаний.

Метод 205-3 – резкое изменение температуры (метод двух жидкостных

ванн). Испытания проводят в двух ваннах с водой, в одной из которых вода имеет пониженную, а в другой повышенную температуру, соответствующие испытательным режимам. Конструкция ванны должна обеспечивать возможность лёгкого погружения и быстрого перемещения изделий из одной ванны в другую. Испытания проводят без подачи на изделия электрической нагрузки. Перед погружением в ванну изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Визуальный осмотр и проверку изделий производят в соответствии с требованиями стандартов и ТУ на изделия и ПИ. Изделия подвергают воздействию 10 циклов. Каждый цикл состоит из следующих этапов:

а) изделия погружают в ванну с холодной водой, температура которой 0°C , и выдерживают в течение времени, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Температура воды в процессе выдержки не должна повышаться более чем на 2°C .

б) изделия переносят в ванну с кипящей водой или водой, имеющую повышенную температуру, установленную в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, и выдерживают в течение времени, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Время переноса устанавливают в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Температура в ванне во время испытания не должна падать ниже 95°C или более чем на 2°C от значения, установленного в стандартах и ТУ на изделия. В случае необходимости проведения испытаний при других крайних значениях температур допускается применять другие жидкости, характеристики которых указываются в ТЗ, стандартах и ТУ на конкретные изделия. Время выдержки выбирают из следующих значений:

если $t_1 \geq 5$ мин, то t_2 - от 3 до 10 с;

если t_1 от 15 с до 5 мин, то $t_2 \leq 3$ с;

После окончания последнего цикла изделия извлекают из ванны, удаляют капли путём встряхивания или другим способом, указанным в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, и выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Проводят визуальный осмотр и измерение параметров и делают вывод о результате испытаний.

Каждый цикл состоит из двух этапов. Сначала изделие помещают в камеру холода, а затем в камеру тепла, температуры в которых устанавливаются заранее в зависимости от степени жесткости испытаний. При заданных температурах изделие выдерживают в течение времени, необходимого для достижения теплового равновесия. Время переноса изделий из камеры тепла в камеру холода или обратно должно быть минимальным.

Во время испытания электрическая нагрузка на изделие не подается, а электрические параметры измеряют до и после испытаний, предварительно выдержав изделие в нормальных климатических условиях.

Термоциклирование является одним из самых жестких видов климатических испытаний и позволяет выявить скрытые конструктивные дефекты и нарушения технологии, допущенные при изготовлении РЭСИ.

1.3.2.1 Испытательное оборудование

Для проведения испытаний на воздействие температурных нагрузок применяют камеры тепла, холода или комбинированные камеры: термовлагокамеры, термобарокамеры, камеры тепла и холода, камеры термоциклирования.

В испытательных камерах необходимый тепловой режим и равномерность температуры по объему камеры обеспечивается размещением нагревательных элементов на дне, в стенках и двери камеры или подачей нагретого воздуха (теплоносителя) внутрь металлической рубашки, окружающей полезный объем. Получение низких температур может достигаться двумя способами: *непосредственным охлаждением* с помощью охлаждающего агента (жидкого азота, двуокиси углерода, аммиака), а также *косвенным охлаждением* с помощью компрессорной установки. *Косвенный способ охлаждения* основан на свойстве жидкости при испарении поглощать тепло из окружающей среды. Техническая реализация данного способа основана на применении компрессионной испарительной системы, в одной части которой газообразный хладагент (фреон) сжимается до давления, обеспечивающего конденсацию, а в другой части - быстро расширяется. Охлаждающий агент в установке используется продолжительное время, так как он циркулирует в замкнутой системе.

Температурный режим в испытательных камерах поддерживается автоматически включением или отключением части нагревательных элементов или холодильной установки. Для измерения и автоматического регулирования температуры применяют контактные ртутные термометры, электронные мосты, потенциометры, программные устройства, при этом термочувствительными датчиками являются термопары или терморезисторы.

Размещение датчиков контроля температуры при испытании терморассеивающих изделий должно учитывать возможность исключения взаимного влияния изделий друг на друга с тем, чтобы при установлении температурного режима выходные измерительные приборы показывали истинную температуру. Внешний вид камер и их схематическое изображение, поясняющее принцип работы, показаны на рисунках 1.10, 1.11, 1.12.

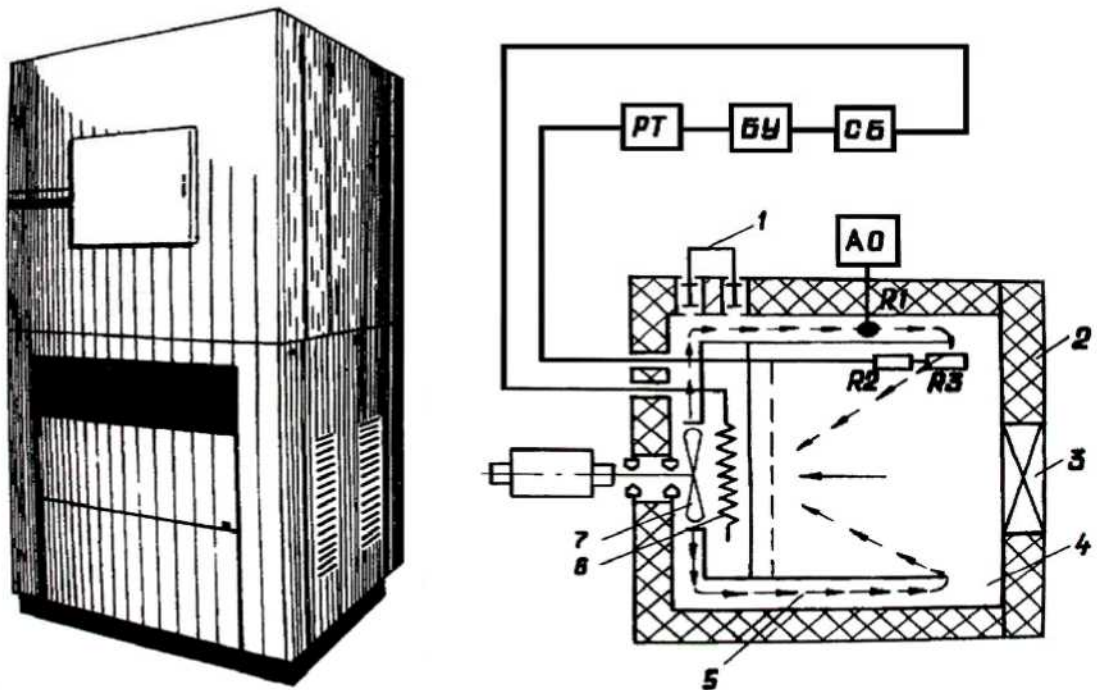


Рисунок 1.10 – Камера тепла КТ-0,05-315М:

1 - заслонка; 2 - дверь; 3 - окно; 4 - полезный объем; 5 - воздухопровод; 6 - нагреватель; 7 - вентилятор. РТ - регулятор температуры; БУ - блок управления; СБ - силовой блок; АО - блок аварийного отключения.

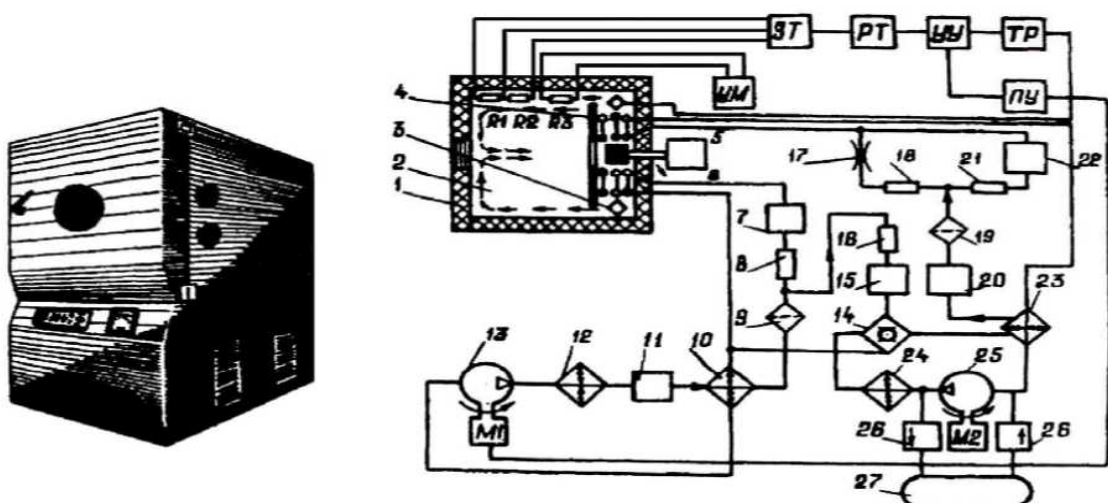


Рисунок 1.11 – Камера тепла и холода КТХ-0,4-65/155:

1 - дверь; 2 - полезный объем; 3 - нагреватель; 4,6 - испарители; 5 - вентилятор; 7 - терморегулирующий вентиль; 8 - соленоидный клапан; 9,20 - фильтры; 10,14,26 - теплообменники; 11,23 - вентили; 12 - конденсатор теплотехнический; 13,22 - компрессоры; 15 - конденсатор-испаритель; 16,25 -термовентили; 17,19,21,24 - соленоидные вентили; 18 - дюза; 27 - емкость. ЗТ - задатчик температуры; РТ - регулятор температуры; УУ - устройство управления; ТР - тиристорный регулятор; ПУ - пусковое устройство; УМ - уравновешенный мост.

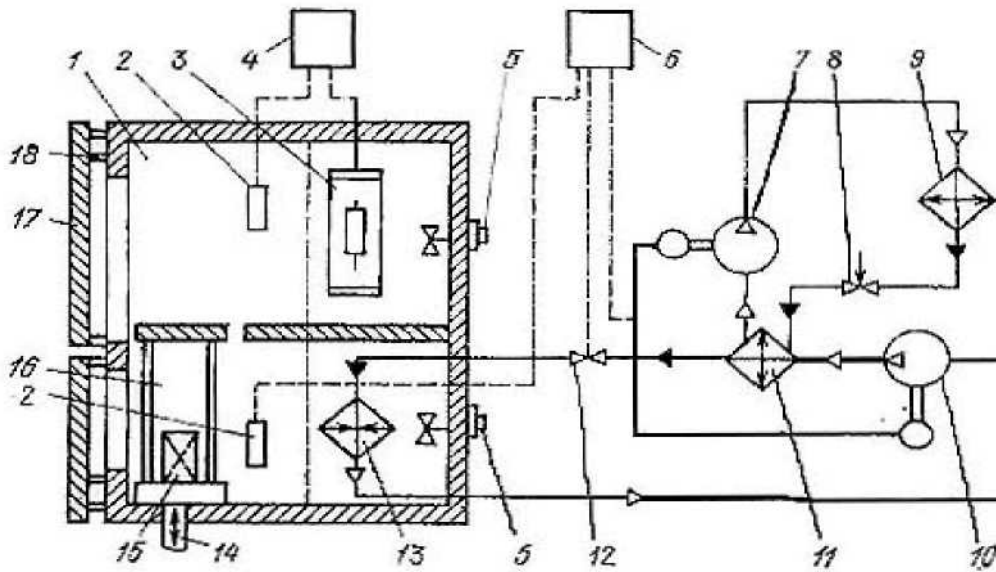


Рисунок 1.12 – Схема оборудования для испытания на циклическое воздействие температур:

1 - камера тепла; 2 - датчики температуры; 3 - электронагреватель;
 4 - регулятор температуры камеры тепла; 5 - осевой вентилятор; 6 - регулятор температуры камеры холода; 7 - компрессор верхней ступени холодильного агрегата; 8 - регулирующий вентиль; 9 - компрессор нижней ступени холодильного агрегата; 10 - КВСХО(7); 11 – теплообменник; 12 - регулирующий вентиль; 13 - испаритель холодильного агрегата; 14 – устройство перемещения изделия из камеры в камеру; 15 - изделие; 16 - камера холода; 17 - дверь; 18 - уплотнение.

1.3.3 Испытания на воздействие повышенной влаги

Характер воздействия влаги на РЭСИ и ее элементы определяется свойствами воды в жидком, твердом и газообразном состояниях, наличием растворенных примесей и их свойствами. Возможны две основные формы взаимодействия воды с материалами. При первой влага проникает в трещины, зазоры, капилляры или находится на поверхности, удерживаясь на его мелкодисперсных частицах. Это ухудшает физико-химические, электрические и тепловые свойства, ускоряет процессы старения.

При второй форме вода оказывается химически связанной с элементами вещества, что приводит к ускорению процессов коррозии металлов, к гидролизу и способствует распаду некоторых материалов, что нередко приводит к выходу из строя различных ЭРЭ.

При ненадежной влагозащите в различных типах конденсаторов с твердым диэлектриком резко снижается сопротивление изоляции, растут емкость и потери, уменьшается допустимая величина рабочего напряжения. В керамических и герметизированных конденсаторах влага, хотя и не проникает внутрь, но, конденсируясь на поверхности, уменьшает поверхностное сопротивление изоляции. Наличие паров воды в воздухе вызывает изменение его диэлектрической проницаемости, что в свою очередь приводит к изменению емкости конденсаторов с воздушным диэлектриком и нарушению

стабильности РЭА. Тем не менее, конденсаторы с воздушным диэлектриком и большими зазорами наиболее устойчивы против действия влажной атмосферы. На емкость конденсаторов с воздушным диэлектриком оказывает влияние также коррозия его металлических обкладок.

Влага интенсивно влияет на сопротивление резисторов различных типов и конструкций. Периодическое действие влаги на тонкослойные пленочные резисторы типа ВС или МЛТ приводит к набуханию лакового покрытия и частичным отрывам проводящего слоя от основания, следствием чего является уменьшение сопротивления и поверхностный пробой, уменьшение надежности контактов. В проволочных резисторах наличие влаги приводит к коррозии и интенсивному окислению проводников и особенно поверхностей подвижных контактов, что способствует уменьшению фактического сечения проводников, росту их сопротивления и снижению надежности контактов.

При воздействии влаги на высокочастотные катушки и дроссели увеличиваются собственные емкости, потери и соответственно снижается добротность. Более чувствительны к действию влаги катушки с каркасами из гигроскопических материалов, намотанные проводами в шелковой и хлопчатобумажной изоляции. Действие влаги снижает добротность таких катушек до 40 %. В трансформаторах и дросселях низкой частоты происходит не только рост потерь, но и увеличивается местный тепловой перегрев, что ухудшает коэффициент полезного действия трансформатора и изменяет индуктивность дросселя. Влага, проникая через трещины в заливке, уменьшает сопротивление межвитковой и межслойной изоляции, способствует развитию электрохимических процессов между витками, что увеличивает вероятность коротких замыканий.

Различают два вида испытаний на влагустойчивость: *длительные и ускоренные*. Ускоренные испытания проводят с целью оперативного выявления грубых технологических дефектов, которые могут возникнуть из-за нарушения технологии производства изделий и низкого качества применяемых в производстве материалов, а также с целью выявления дефектов, которые могут возникнуть в изделиях при других видах испытаний.

Степени жесткости испытаний в зависимости от условий эксплуатации изделий в течение года приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Степени жесткости испытаний

Степень жесткости	Режим испытаний			Условия эксплуатации		
	Относительная влажность, %	Температура испытаний, °С	Наличие конденсации	Относительная влажность, (среднемесячное значение), %	Температура окруж. среды, °С	Продолжительность воздействия в течение года, мес.
I	80	25	--	65	20	12
II, III	98	25	--	80	20	2
IV	100	25	--	80	20	6

V	100	25	+	90	20	12
VI, VII	98	35	--	80	27	3
VIII	100	35	+	90	27	12

Связь между степенями жесткости по влажности воздуха и исполнением изделий приведена в таблице 1.4.

В зависимости от условий эксплуатации, в которых должны работать испытываемые изделия, их подвергают *циклическим* или *непрерывным* испытаниям с *выпадением* и *без выпадения росы*. Циклическим испытаниям подвергают изделия, предназначенные для работы на открытом воздухе и в открытых производственных помещениях, под навесами, а также в крытых транспортных средствах. Непрерывным испытаниям на влагоустойчивость подвергают изделия, предназначенные для работы в помещениях, где нет резких изменений температуры воздуха, солнечной радиации и осадков.

Любому виду испытаний предшествует визуальный осмотр и измерение параметров изделия. Далее изделия помещают в камеру влажности, повышают температуру до 40 ± 2 °С и выдерживают при этой температуре в течение времени, указанного в стандартах, ТУ на изделия и ПИ, но не менее 1ч. Затем, в зависимости от заданного режима испытаний устанавливают требуемую температуру и относительную влажность (обычно 95-98 %). При непрерывных испытаниях температуру и влажность в камере поддерживают постоянными в течение всего времени испытаний (от 2 до 10 суток при ускоренном и от 10 до 56 суток при длительном воздействии).

Таблица 1.4 – Связь между степенями жесткости и исполнением изделий

Степень жесткости по влажности воздуха	Климатическое исполнение и категория размещения изделий	
	Исполнение	Категория
I	УХЛ, ТС	4; 4.1; 4.2 1;1.1;2;3;3.1;4;4.1;4.2
II	ТВ, О, В, ТМ, М У, УХЛ М	4.1 1.1 4.2
III	У, УХЛ М	2.1; 3; 3.1 3;3.1;4;4.1
IV	У, УХЛ	1;2
V	У, УХЛ, ТС, М	5
VI	У, УХЛ, ТС, М	5.1
VII	ТВ, О, В, ТМ, ОМ	4.2
VIII	ТВ, О, В, ТМ, ОМ ТВ, В, ТМ, ОМ, Т	4 3;3.1
IX	ТВ, Т, О, В, ТМ, ОМ	1;2
X	ТВ, Т, О, В, ТМ, ОМ	2.1; 5.1

XI	ТВ, Т, О, В, ТМ, ОМ	1.1
XII	М	2.1
XIII	М	1;2

Циклический режим испытания характеризуется воздействием повышенной влажности при циклическом изменении температуры воздуха в камере. В результате создаются условия для выпадения росы на наружных поверхностях изделий (при быстром снижении температуры) и последующего ее испарения, что способствует интенсивному развитию коррозии. В случае длительного испытания на влагоустойчивость при циклическом режиме общая продолжительность испытания в зависимости от степени жесткости условий эксплуатации выбирается из ряда 4, 9, 21 или 42 суточных цикла, а при ускоренном испытании - 4 или 9 циклов. Каждый цикл продолжительностью в 24 часа состоит из этапов, показанных на рисунке 1.13. Повышение температуры и влажности при проведении каждого цикла должно быть достаточно быстрым, чтобы обеспечить выпадение росы на изделиях.

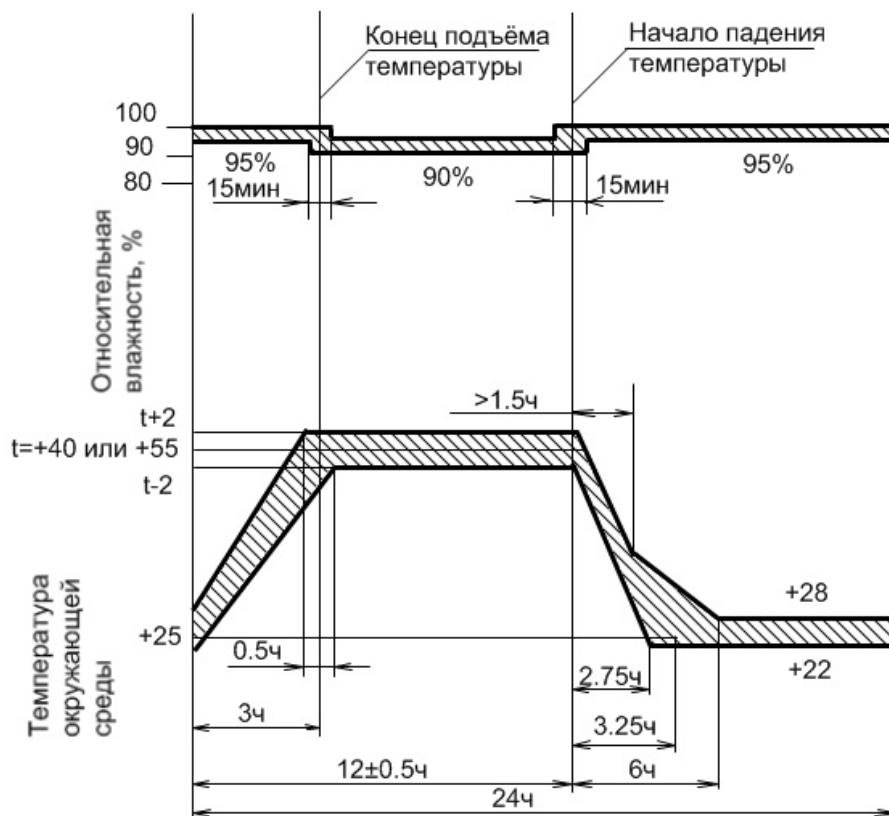


Рисунок 1.13 – Этапы изменения относительной влажности S , и температуры t окружающей среды в циклическом режиме испытания изделий:

I - конец подъема температуры; II - начало падения температуры; t - 1/4 ч. - время, в течение которого не допускается конденсация влаги в изделиях.

В случае длительного испытания на влагоустойчивость при циклическом

режиме общую продолжительность испытаний в зависимости от степени жесткости выбирают по таблице 1.5. Рекомендуемая температура длительных испытаний 40 ± 2 °С, при ускоренных 55 ± 2 °С.

Таблица 1.5 – Продолжительность испытаний (сут.) на влагоустойчивость при циклическом режиме в зависимости от степени жесткости

Температура воздуха, °С	Длительные испытания для степеней жесткости			Ускоренные испытания для степеней жесткости	
	III, IV XII, XIII, VII,	V, VI, VIII, XI	IX, X	V, VII, VIII, XI	IX, X
40 ± 2	4	9	21	--	--
55 ± 2	--	--	--	4	9

В непрерывном режиме испытаний не предусматривается конденсация влаги на изделиях, поэтому непрерывное испытание проводят при постоянных значениях температуры и влажности камеры. Изделия помещают в камеру тепла и влаги и выдерживают при температуре, указанной в таблице 1.6. Время выдержки при заданной температуре определяется временем достижения изделиями теплового равновесия. Затем относительную влажность воздуха в камере повышают до 95 ± 3 % и далее поддерживают это значение постоянным в течение всего времени испытаний.

Методики проведения ускоренных испытаний изделий в непрерывном и циклическом режимах аналогичны. По окончании ускоренного режима испытаний изделия выдерживают в нормальных условиях в течение 1...2 ч, в то время как по окончании длительных испытаний - не менее 24 ч.

Испытания изделий под электрической нагрузкой предусматривают в том случае, если в условиях эксплуатации у этих изделий при увлажнении под напряжением возможно проявление разрушающих действий электролиза или электрохимической коррозии.

Таблица 1.6 – Продолжительность испытаний (сут.) на влагоустойчивость в непрерывном режиме в зависимости от степени жесткости.

Температура воздуха, °С	Длительные испытания для степеней жесткости				Ускоренные испытания для степеней жесткости		
	II	III, IV, VII, XII, XIII	V, VI, VIII, XI	IX, X	III, IV, VII, XII, XIII	V, VI, VIII, XI	IX, X
25 ± 2	4	--	--	--	--	--	--
40 ± 2	--	10	21	56	--	--	--
55 ± 2	--	--	--	--	4	7	14

В процессе испытания рекомендуется периодически проверять параметры изделий, оговоренные в ПИ и ТУ. Перед измерением параметров изделия прогревают (выдерживают во включенном состоянии) в течение времени,

указанного в ПИ или ТУ, но не более 15 мин. Длительность измерений не должна превышать 10-15 мин. При измерениях в камере в процессе испытаний необходимо учитывать тепловое излучение изделий, которое не должно вносить изменений в режим работы камеры. Измерение параметров следует производить при отсутствии росы на поверхности РЭСИ.

1.3.3.1 Испытательное оборудование

Для испытания РЭСИ и их элементов на воздействие влаги используют *камеры влажности* или *комбинированные термовлагокамеры*. Камеры должны обеспечивать получение воздуха с определенной температурой, влажностью и скоростью движения. При этом должен воспроизводиться постоянный или циклический режим испытаний.

Испытательная камера, как правило, состоит из рабочего отсека, в котором размещают испытываемые изделия, осушительно-увлажнительного устройства, вентиляторов, измерителя влажности, вспомогательных устройств и электрооборудования. Для получения в камере заданного режима необходимо достаточно точно регулировать влаго- и теплосодержание воздуха, поскольку незначительные изменения температуры сопровождаются значительными колебаниями относительной влажности около точки росы. Для поддержания относительной влажности $95 \pm 3 \%$ в диапазоне температур $40-70^\circ\text{C}$ требуется точность регулирования по сухому термометру $\pm 0,3^\circ\text{C}$, а по мокрому до $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

Для обеспечения требуемой влажности воздуха в испытательных камерах применяется ряд способов (рисунок 1.14). Наиболее простым является открытый способ, воспроизводящий природные условия увлажнения. Его недостатком является трудность поддержания необходимого режима. Характерной особенностью закрытых способов увлажнения является рециркуляция воздуха из рабочего объема камеры через увлажнительное устройство. В увлажнителе воздух либо продувается через слой подогретой воды, либо смешивается с распыленной водой (рисунок 1.14). Иногда для имитации быстрых суточных изменений температуры и влажности воздуха в испытательный объем вводится водяной пар.

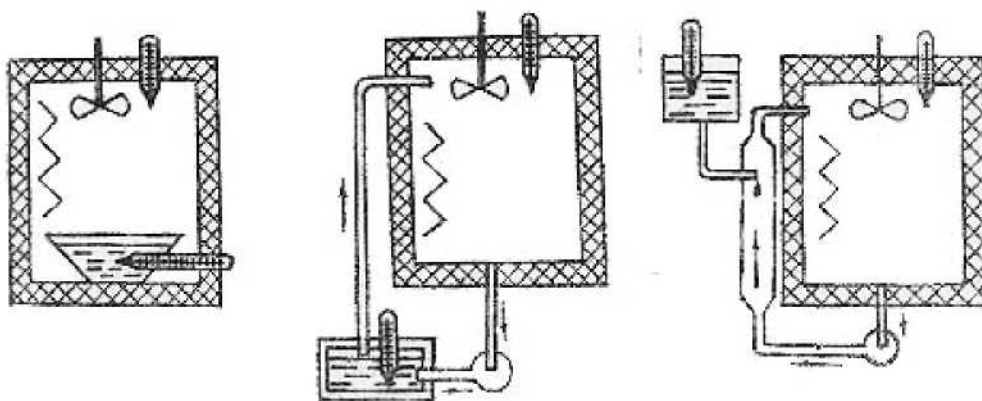


Рисунок 1.14 – Способы увлажнения воздуха

Управление, сигнализация и контроль режима испытаний выполняются вручную или автоматически. Автоматическое поддержание режима работы тепловлагокамеры основано на совместном действии датчиков температуры и влажности с программными устройствами и исполнительными механизмами.

Для измерения влажности воздуха в испытательных камерах применяют гигрометры, в которых используется психрометрический или сорбционный метод измерения влажности. Психрометрический метод основан на принципе сравнения температуры воздуха и температуры тела, с поверхности которого происходит испарение воды. Сорбционный метод основан на использовании гигроскопических тел, свойства которых изменяются в зависимости от количества поглощенной влаги. В зависимости от свойства материала, использованного для измерения, различают деформационные, весовые, цветовые и другие сорбционные гигрометры.

В системах автоматического регулирования температуры и влажности в качестве датчиков наиболее часто используются ртутные контактные термометры, терморезисторы, термопары и деформационные гигрометры. Внешний вид и схема камеры тепла и влаги КВТ-0,4-155 приведены на рисунке 1.15.

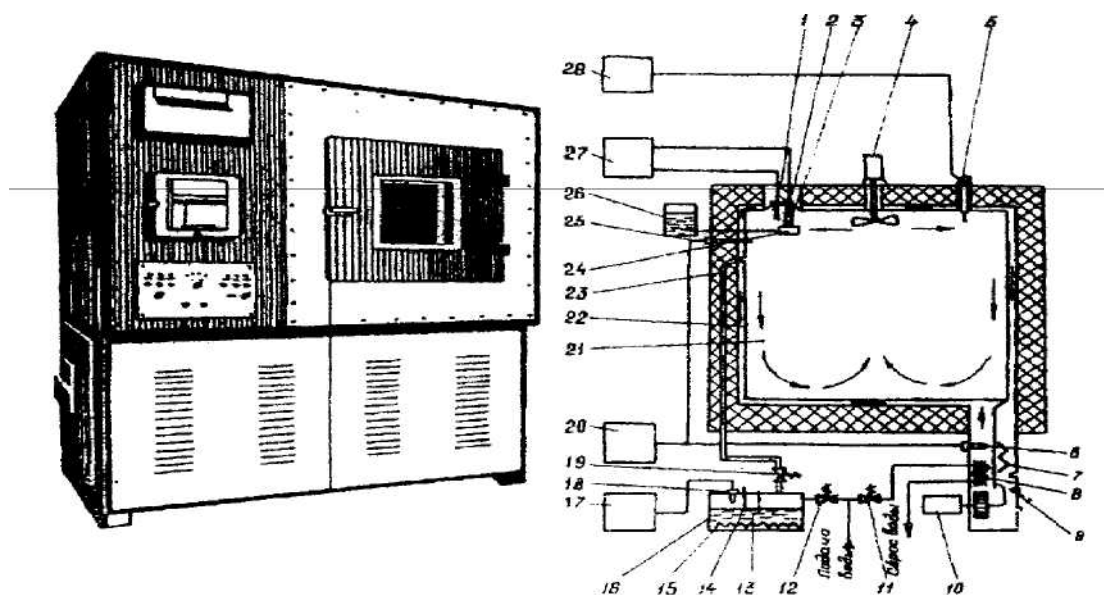


Рисунок 1.15 – Внешний вид и схема камеры тепла и влаги КВТ-0,4-155:

1 - сухой термометр; 2 - мокрый термометр; 3 - чехол; 4,10 - вентиляторы; 5,6,18,25 - платиновые термометры сопротивления; 7,15 - нагреватели; 8 - змеевик; 9 - заслонка; 11,12,19 - соленоидные вентили; 13,14 - датчики уровня воды; 16 - паровой увлажнитель; 17,20,27,28 - электронные мосты; 21 - полезный объем камеры; 22 - пространство для циркуляции воздуха; 23 - пароотвод; 24 - стакан подпитки; 26 - емкость с дистиллированной водой.

1.3.4 Испытания на воздействие инея с последующим его оттаиванием

Испытания проводят с целью проверки способности изделий допускать включение под электрическое напряжение при выпадении на них инея с

последующим его оттаиванием.

Испытание проводят следующим образом: изделия помещают в камеру холода и выдерживают при температуре минус 15-25 °С в течение 2 ч, если другие условия не оговорены в ПИ и стандартах. Далее изделия извлекают из камеры холода, помещают в нормальные климатические условия испытаний, после чего на изделия подают электрическое напряжение, характер, величина, время выдержки и места приложения должны устанавливаться в стандартах и ПИ. Изделия считают выдержавшими испытания, если при подаче напряжения не произошло пробоя или поверхностного перекрытия.

1.3.5 Испытания на воздействие пониженного и повышенного атмосферного давления

Особые условия эксплуатации различных радиоэлектронных изделий на летательных аппаратах и в высокогорных районах приводят к необходимости их испытаний на высотность, т. е. при пониженном атмосферном давлении. Взаимосвязь изменения давления и температуры с высотой вызывает необходимость рассмотрения испытаний на высотность при нормальной, пониженной и повышенной температурах. На основании закона Шарля можно установить зависимость испытательного давления от температуры:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ или } p = p_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right) \quad (1.3.1)$$

где p_0 — давление данной массы газа в определенном объеме при температуре 0°С;

t — температура, при которой находится газ.

Поэтому при испытании изделий в рабочем состоянии на высотность при повышенной температуре окружающего воздуха необходимо устанавливать давление воздуха в камере с учетом поправки на рабочую температуру изделия (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Давление воздуха в камере с учетом поправки на рабочую температуру изделия

Рабочее давление мм рт.ст.	Испытательное давление (мм рт. ст.) при температуре, °С						
	70	85	100	125	155	200	250
400	342	327	314	294	272	248	224
64	54	52	50	47	44	40	36
33	28	27	26	24	23	20	18
15	13	12	12	И	10	9	8
5	3	3	3	3	3	3	3

Испытания на высотность при повышенной температуре, с одной стороны, облегчают получение рабочего давления, а с другой - способствуют

ужесточению условий испытаний за счет увеличения возможности пробоя и ухудшения условий воздушного охлаждения изделий. Принято данному виду испытаний подвергать изделия, находящиеся в рабочем состоянии или под электрической нагрузкой. Режимы и характер нагрузки изделий оговариваются в ТУ, ПИ или методике.

Часто температуру и время выдержки устанавливают аналогичными режиму испытаний на теплоустойчивость при кратковременном воздействии, а давление — в соответствии со степенью жесткости (таблица 1.8), зависящей от предполагаемой максимальной высоты, на которой может эксплуатироваться изделие (рисунок 1.16).

Таблица 1.8 – Атмосферное давление в зависимости от степени жесткости

Степень жесткости	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Атмосферное мбар. давление мм рт. ст.	20 15±1	44 33±2	85 64±3	300 255± 5	533 400±5	600 450±5	700 525±5
Высота над уровнем моря	26000	20000	16000	8500	4300	3500	2200

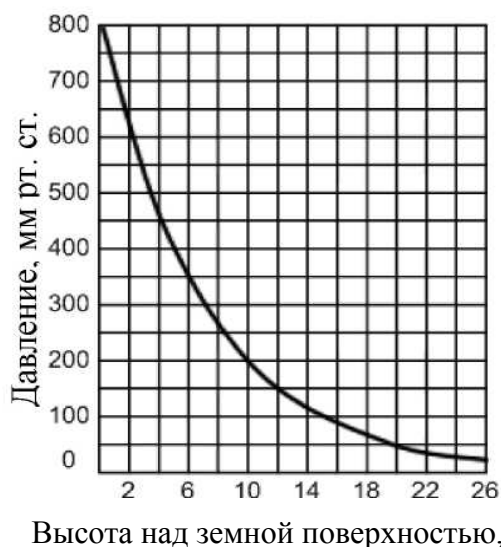


Рисунок 1.16 – Атмосферное давление на разных высотах

Однако в реальных условиях эксплуатации изделий на больших высотах уменьшению атмосферного давления сопутствует понижение температуры. Поэтому необходимо предусмотреть возможность проведения и таких комбинированных испытаний.

Давление при испытаниях на высотность принято измерять в следующих единицах: 1 мм рт. ст. = 133,332 Н/м; 1 кН/м = 7,5 мм рт. ст.
 $1 \text{ бар} = 10^2 \text{ кН/м}^2$; $1 \text{ мбар} = 10^{-1} \text{ кН/м}^2 = 0,75 \text{ мм рт. ст.}$

В процессе испытаний изделия в соответствии с требованиями ТУ и ПИ могут проверяться при максимальном напряжении питания и находиться во включенном состоянии в течение заданного времени (~30 мин). Во время

проверки не должно наблюдаться коронирования на поверхности деталей, перекрытия между токоведущими элементами и нарушения коммутации электрических цепей. Иногда для контроля за режимами изделий, работающих в тяжелых тепловых условиях, непосредственно на них устанавливают специальные датчики температуры.

Возможны случаи, когда возникает необходимость испытаний с целью проверки устойчивости параметров изделий или установления их работоспособности в условиях повышенного атмосферного давления.

После внешнего осмотра и контроля основных параметров в нормальных условиях изделия помещают в барокамеру или автоклав, позволяющий установить давление воздуха до 3 ат и поддерживать его с погрешностью, не превышающей 0,2 ат. Время выдержки оговаривается в ТУ, ПИ или методике. По окончании выдержки непосредственно в камере измеряются оговоренные параметры изделий. После окончания испытаний на воздействие атмосферного давления необходимо с помощью специального вентиля впустить в камеру воздух или выпустить его из нее, и только после уравнивания внешнего давления с давлением внутри камеры открывать дверь.

При внешнем осмотре изделий после испытаний следует обращать внимание на обнаружение трещин в изоляционных материалах, на сохранение герметичности различных радиоэлементов, а также на состояние контактов реле, переключателей и т. д.

1.3.5.1 Испытательное и контрольно-измерительное оборудование

Испытание на воздействие атмосферного давления при нормальной температуре производится в барокамерах, давление в рабочем пространстве которых снижается с помощью вакуумных насосов.

В зависимости от вида испытаний применяются различные типы камер. Для испытаний на воздействие изменений атмосферного давления при нормальной температуре применяют барокамеры типа КБ (рисунок 1.17), имеющие различный полезный объем, обозначаемый числом, стоящим вслед за шифром камеры (КБ-0,07).

В комплект установки входят: камера, вакуумный насос ВН-461м с электродвигателем и магнитным пускателем, а также ртутный дифференциальный манометр ДТ-50.

Камера представляет собой герметизированный алюминиевый шкаф, застекленная дверь которого позволяет наблюдать за работой испытываемых изделий. Герметичность камеры обеспечивается тем, что дверь плотно крепится в камере откидными болтами. На боковой стенке камеры расположена специальная колодка, предназначенная для подключения источников питающих напряжений, испытательных сигналов и измерительной аппаратуры.

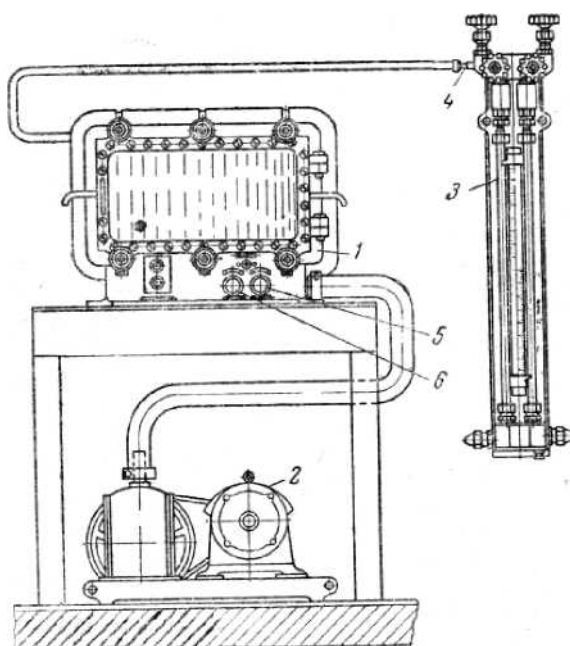


Рисунок 1.17 – Барокамера с дифференциальным манометром:
 1 — камера; 2 — насос; 3 — дифференциальный манометр; 4 — соединительный
 штуцер; 5 — вентиль контроля давления; 6 — вентиль регулировки давления.

На передней стенке камеры расположены органы управления камеры: вентиль впуска воздуха в камеру, кнопки управления электродвигателем насоса и освещением камеры. Поворотом вентиля 5 влево соединяют систему камера-манометр-насос, а поворотом вентиля вправо перекрывают эту систему.

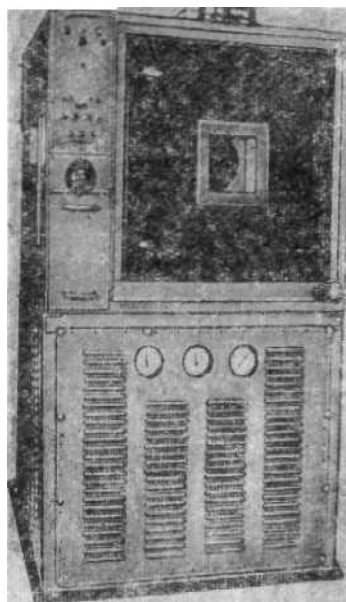


Рисунок 1.18 – Общий вид камеры КНТ-2М

Впуск атмосферного воздуха в камеру достигается поворотом влево вентиля 6 «Натекатель»; скорости понижения и повышения давления регулируются степенью открытия вентилях. Измерение давления внутри камеры производится дифференциальным манометром ДТ-

50, подсоединяемым к штуцеру на боковой стенке. Дифференциальный манометр измеряет разность между давлением в камере и наружным давлением.

Для проведения испытаний на высотность с одновременным воздействием повышенной или пониженной температуры необходимы комбинированные термобарокамеры или термовлагокамеры, которые соответственно рекомендуется называть КТХБ и КТХВБ.

Отечественной промышленностью используется камера низких давлений и низких температур КНТ-2М (рисунок 1.18), предназначенная для испытания изделий в условиях холода и пониженного атмосферного давления.

Основные параметры испытательного режима следующие: температура — от $+25 \pm 10^\circ \text{C}$ до -60°C ; время снижения температуры от $25 \pm 10^\circ \text{C}$ до -60°C составляет 2,5 ч; остаточное давление — до 5 мм рт. ст.

Камера позволяет подводить к испытываемым изделиям от внешних источников испытательные напряжения до 3 000 в постоянного тока или до 2000 в переменного тока при давлении 720—780 мм рт. ст., а при разряде с остаточным давлением 5 мм рт. ст. до 1000 в постоянного и 700 в переменного токов. Низкая температура в камере получается косвенным методом охлаждения с помощью сжатия постоянно циркулирующего в замкнутой системе газа фреона. Пониженное атмосферное давление достигается форвакуумным насосом типа ВН-461.

Измерение давления в установках для испытаний на воздействие атмосферного давления может производиться манометрами различных типов, обеспечивающих заданные пределы измерений и точность отсчета. Поскольку под степенью разряде (вакуумом) понимается состояние газа, давление которого ниже атмосферного, то непосредственное измерение заключается в измерении разности барометрического давления и давления разреженного газа.

Приборы, измеряющие разность давлений, называют вакуумметрами. Сложность непосредственного метода измерений привела к тому, что широкое распространение получил косвенный метод измерения вакуума по давлению разреженного газа.

Для измерения давлений в интервале порядка 10^3 — 10^3 мм рт. ст. широкое распространение получили деформационные U-образные (жидкостные) манометры, а для интервала порядка 10^2 — 10^4 : компрессионные, тепловые и радиоактивные манометры.

1.3.6 Испытания на статическое и динамическое воздействие пыли

В зависимости от условий эксплуатации и назначения изделий необходимо предусматривать одно из двух видов испытаний на воздействие пыли.

Если изделие предназначено для работы в среде с повышенной концентрацией пыли, его подвергают испытанию на *воздействие статической*

пыли, целью которого является выявление способности изделия не допускать попадания пыли внутрь корпуса (кожуха). Если изделие специально не защищено от проникновения пыли, но вынуждено работать в среде с повышенной концентрацией, то с целью установления способности материалов и покрытий противостоять разрушающему (абразивному) действию пыли его испытывают на *динамическое воздействие пыли*.

1.3.6.1 Процесс проведения испытаний

После внешнего осмотра и измерений параметров, предусмотренных в ТУ и ПИ, изделие помещают в камеру и размещают там таким образом, чтобы воздействие пыли максимально соответствовало эксплуатационным условиям. В случае испытаний РЭА, состоящей из отдельных блоков, имеющих централизованную приточно-вытяжную вентиляцию с едиными воздухоочистительными фильтрами, необходимо устанавливать ее в камеру в полном комплекте.

Испытания производятся обдуванием изделий пылевой смесью определенного состава. При испытании на пылеустойчивость применяется просушенная пылевая смесь, содержащая 60—70% песка, 15—20% мела и 15—20% каолина. Величина частиц пылевой смеси должна быть не более 50 мкм. Перед засыпкой пылевой смеси в камеру ее просеивают через специальное сито, имеющее сетку с определенным диаметром и числом отверстий на единицу площади. Остаток частиц, не просеиваемых через сито не должен превышать 3%. Количество пылевой смеси рекомендуется брать примерно 0,1% от полезного объема камеры. Скорость циркуляции воздушно-пылевого потока, обдувающего изделия в камере, составляет 0,5—1 м/сек. При этом частицы пыли диаметром 50 мкм должны находиться во взвешенном состоянии.

В ТУ и ПИ оговаривается необходимость испытания изделий во включенном состоянии, режим их работы и продолжительность обдува. Иногда обдув осуществляют в течение 2 ч с последующей выдержкой для оседания пыли в течение 1 ч.

При испытании на пылезащищенность в состав пылевой смеси вводят флуоресцирующий порошок (сульфид цинка), позволяющий выявить проникновение пыли внутрь испытываемого изделия. Рекомендуется следующий состав: песок 60%, мел 15%, каолин 15%, флуоресцирующий порошок 10%. Размер частиц пылевой смеси должен быть не более 200 мкм, а размер частиц флуоресцирующего порошка не более 50 мкм. Порошок должен просеиваться через соответствующие сетки, причем остаток частиц смеси не должен превышать 30%. Возможная продолжительность обдува со скоростью воздушно-пылевого потока 10—15 м/сек составляет 1 ч.

Рассматриваемые методы испытаний должны производиться при температуре, не превышающей рабочую. Поскольку увеличение температуры может происходить за счет разогрева двигателя вентилятора, то допускается его временное выключение, но с условием, чтобы время воздействия пыли сохранялось.

По окончании заданной продолжительности воздействия пыли производят измерения параметров изделия в соответствии с требованиями ПИ или ТУ. В зависимости от технических возможностей камеры и изделий измерения производят до или после извлечения из камеры. После извлечения изделий из камеры и удаления пыли с поверхности их тщательно осматривают, обращая особое внимание на состояние покрытий внешних поверхностей, работу органов управления и коммутации.

При испытании на *пылезащищенность* изделия переносят в затемненное помещение, где осторожно вскрывают и выявляют степень проникновения пыли, облучая изделие ультрафиолетовым светом. Наличие в составе пылевой смеси флуоресцирующего порошка позволяет выявить проникновение пыли в изделие по его характерному виду свечения в ультрафиолетовом свете. Известно, что различные материалы, облучаемые ультрафиолетовым светом, обладают характерными оттенками свечения. Приведем некоторые примеры свечения: мел химический — светло-синее; мел молотый — светло-коричневое; окись цинка — желто-зеленое; нефтяные масла - фиолетовые, голубые, синие и зеленые оттенки цветов; бумага из чистой целлюлозы — светло-желтое; хлопчатобумажное волокно не светится и т. д.

О результатах испытаний судят по степени удовлетворения изделиями требований ПИ и ТУ.

Испытания на воздействие динамической пыли (песка) проводят с целью проверки устойчивости изделий к разрушающему (абразивному) воздействию пыли, а также с целью проверки пыленепроницаемости изделий или их работоспособности в условиях воздействия пыли в среде с повышенной концентрацией пыли (в зависимости от того, какое требование предъявляется). Испытание проводят в камере пыли, которая должна обеспечивать испытательный режим с отклонениями, не превышающими указанные в настоящем стандарте. Изделия помещают в камеру и располагают в ней таким образом, чтобы воздействие пыли максимально соответствовало воздействию пыли при эксплуатации. Способ установки изделий в камере указывают в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Минимальное расстояние от изделий до стенок камеры должно быть не менее 10 см.

Изделия обдувают в течение 2 ч просушенной пылевой смесью, содержащей 70% кварцевого песка, 15% мела и 15% каолина в количестве, равном приблизительно 0,1% полезного объема камеры, со скоростью 10-15 м/с. При испытании изделий только на пыленепроницаемость к составу пылевой смеси добавляют флуоресцирующий порошок в количестве 10% объема пылевой смеси.

При испытании на работоспособность изделия в процессе испытания могут находиться в рабочем состоянии.

После испытания изделие извлекают из камеры, удаляют пыль с наружных поверхностей, способом, указанным в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, и проводят визуальный осмотр. При испытаниях на пыленепроницаемость, в случае использования флуоресцирующего

порошка, для выявления пыли, проникшей внутрь изделий, их переносят в затемнённое помещение, вскрывают и подвергают ультрафиолетовому облучению.

В случае проверки устойчивости к абразивному действию пыли изделия считают выдержавшими испытания, если их внешний вид удовлетворяет требованиям, оговорённым в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. В случае проверки пыленепроницаемости браковочным признаком служит наличие пыли, проникнувшей внутрь изделия.

Испытания на воздействие статической пыли (песка). Испытания проводят с целью проверки способности изделий работать в среде с повышенной концентрацией пыли. Испытания электронной техники: испытания проводят в камере пыли, которая должна обеспечивать испытательный режим с отклонениями, не превышающими указанные в стандарте. Устанавливают изделие в камере таким образом, чтобы воздействие пыли соответствовало воздействию пыли при эксплуатации. В камере устанавливают температуру $(55 \pm 3)^\circ\text{C}$. Изделия обдувают пылевой смесью, содержащей 60% кварцевого песка, 20% мела и 20% каолина в течение 2 ч. Затем вентилятор отключают и в течение 2 ч происходит оседание пыли без циркуляции воздуха. На изделие может подаваться нагрузка и (или) могут измеряться электрические параметры.

По окончании испытания изделия извлекают из камеры, удаляют пыль способом, указанным в ТУ на изделия и ПИ и производят визуальный осмотр. Изделие считается выдержавшим испытания, если в процессе и (или) после испытания они удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ТУ на изделие и ПИ для данного вида испытаний.

Испытания электротехнических изделий проводят одним из следующих методов (выбор метода обусловлен конструктивными особенностями и назначением изделий):

метод 213-1. Испытание на статическое воздействие пыли, в том числе:

метод 213-1.1. Испытание оболочек на соответствие степени защиты IP6X по ГОСТ 14254-80;

метод 213-1.2. Испытание подшипниковых узлов электрических машин;

метод 213-2. Испытание на работоспособность при статическом воздействии пыли на соответствие степени защиты IP5x по ГОСТ 14254-80, в том числе: 213-2.1. Испытание на работоспособность при статическом воздействии абразивной непроводящей пыли;

метод 213-2.2. Испытание на работоспособность при статическом воздействии абразивной непроводящей пыли;

метод 213-2.3. Испытание на работоспособность при статическом воздействии абразивной проводящей пыли для изделий напряжением до 1140 В.

1.3.6.2 Испытательное и контрольно-измерительное оборудование

Для проведения испытаний на воздействие пыли используют камеры (КП),

которые могут быть предназначены для испытаний на пылезащищенность (КПЗ) или на пылеустойчивость (КПУ) или могут быть комбинированными (КП-ЗУ). Следующее за указанным обозначением камеры число указывает полезный объем камеры.

Камера КП-ЗУ-0,5 (рисунок 1.19) представляет собой прямоугольный каркас 1 из угловой стали, обшитый листовой сталью толщиной 1,5 мм. Внутри камеры помещается замкнутый воздухопровод прямоугольного сечения, составленный из сварных секций, соединенных между собой болтами. Для предотвращения проникновения пыли из воздухопровода и распространения шума от работающего вентилятора между фланцами секций помещены резиновые прокладки.

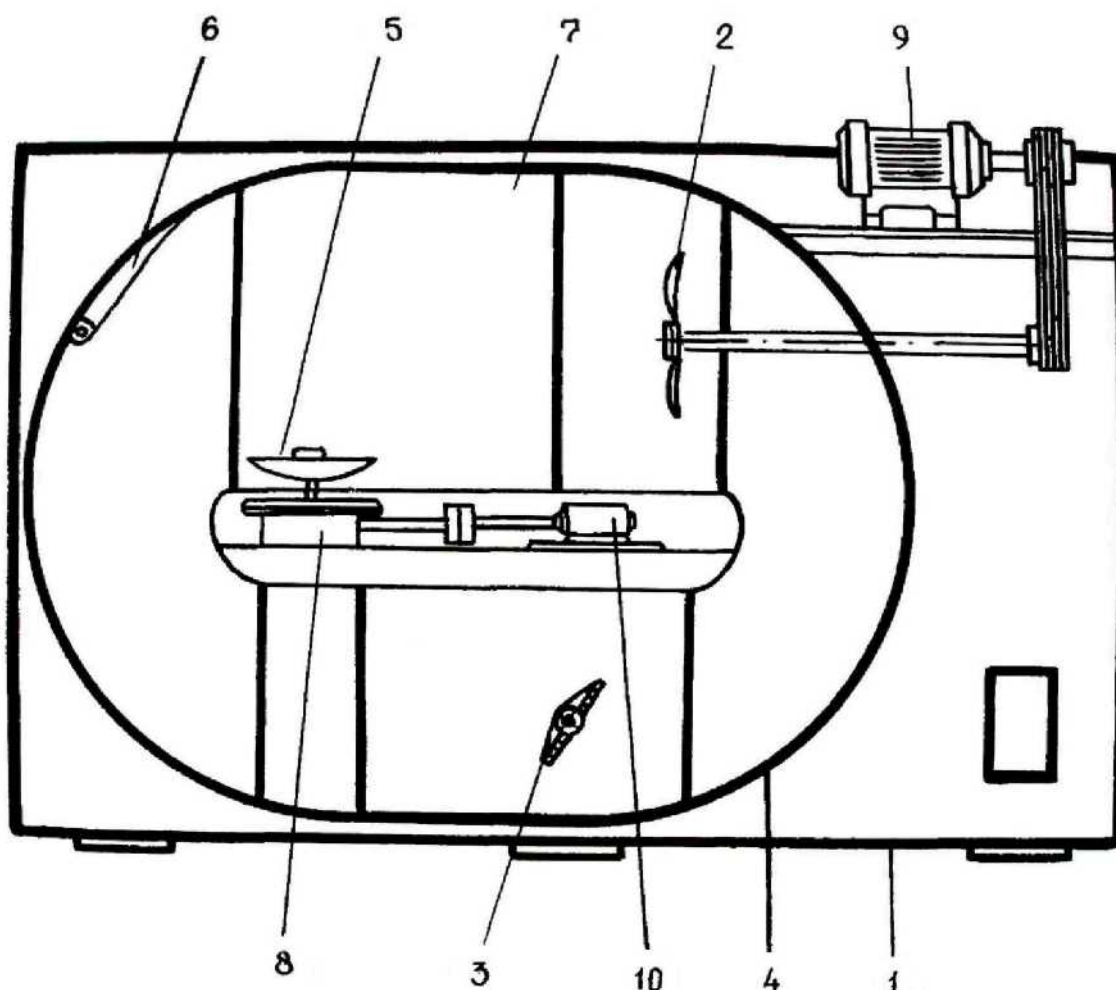


Рисунок 1.19 – Схема установки для испытания на пылезащищенность:
 1 — каркас установки; 2 — вентилятор осевой; 3 — шибер (заслонка) с рукояткой для изменения скорости воздушного потока; 4 — воздухопровод; 5 — стол для испытываемых изделий; 6 — направляющий щит с рукояткой для частичного изменения направления потока воздуха; 7 — испытательная камера; 8 — редуктор; 9 — электродвигатель; 10 — электродвигатель стола; 11 — магнитные пускатели.

Собственно испытательной камерой является средняя верхняя секция трубопровода 7, соединенная правым фланцем с патрубком из плотной ткани с секцией вентилятора. Вращение осевого вентилятора со скоростью 1450 об/мин

осуществляется электродвигателем 9 АОЛ2-41-4 мощностью 4 кВт, связанным с ним через клиноременную передачу. Электродвигатель закреплен на амортизирующих прокладках для уменьшения шума и вибрации. Левым фланцем испытательная камера соединяется с секцией, в которой находится направляющий щит 6, предназначенный для создания равномерного воздушного потока. В нижней части воздухопровода вмонтирована секция с расположенным в ней шибером (заслонкой) 3 для регулирования скорости воздушного потока. Регулирование равномерности и скорости воздушного потока производится рукоятками направляющего щита и шибера, выведенными на переднюю стенку камеры и фиксируемыми в определенном положении. Для установки испытываемых изделий и равномерного их обдува со всех сторон в нижней части испытательной камеры расположен вращающийся в горизонтальной плоскости стол 5, закрепленный на вертикальном валу редуктора и делающий 9 об/мин. Редуктор установлен под испытательной камерой и соединен эластичной муфтой с электродвигателем 10. На передней стенке камеры имеется дверной проем, закрываемый дверью со смотровым окном и резиновым уплотнением. Под дверью помещается щит управления с размещенными на нем выключателями сети и подогрева, переключателем освещения камеры, кнопок пуска и остановки электродвигателей. Магнитные пускатели 11 электродвигателей размещаются внутри установки. В потолке камеры установлена электролампа, защищенная от воздействия пыли стеклом. На задней стенке камеры помещается панель с размещенным на ней штепсельным разъемом питания. В нижней секции воздухопровода предусмотрено место для электроподогревателя, который в комплект установки не входит.

Заданная концентрация пыли в камере достигается вводом в камеру определенного количества пылевой смеси и циркуляции воздуха. После установки испытываемого изделия пылевая смесь насыпается в количестве 0,5 л на плоскость стола, дверь камеры плотно закрывается и запускается вентилятор. Камера КП-ЗУ-0,5 характеризуется следующими техническими данными: скорость воздушного потока в камере регулируется в пределах от 1 м/сек до 15,8 м/сек; температура в камере - от $+20 \pm 5$ до 50°C ; максимальный вес испытываемого изделия 50 кг; максимальные габариты испытываемого изделия 500X500X500 мм. В комплект установок с камерами большего полезного объема, помимо собственно камеры, входит стойка управления и электроталь для установки крупногабаритных и тяжелых изделий на стол. Со стойки управления производится управление электродвигателем вентилятора (пуск, останов, изменение скоростей, реверс); переход с ручного на автоматическое управление температурным режимом камеры; управление открыванием и закрыванием двери с помощью электродвигателя и т. д.

Поддержание постоянной температуры при испытании на пылеустойчивость достигается включением электроподогрева в случае понижения температуры и охлаждения с помощью проточной воды, проходящей по специальным панелям, в случае повышения температуры выше установленного значения. Обеспечение постоянства температурного

режима может осуществляться ручным и автоматическим регулированием. Для удобства установки испытываемых изделий стол выдвигается из камеры. Внутри камеры расположены датчики температуры и скорости воздушно-пылевого потока. В камере имеется специальный дозатор для введения пылевой смеси. Контроль постоянства концентрации пыли в одном кубическом метре объема камеры достигается путем ее определения через заданные промежутки времени с помощью измерителя концентрации. Оценка степени концентрации пыли производится путем определения ее весового количества, осевшего в измерителе за заданное время.

1.3.7 Испытания на воздействие солнечной радиации

Проведение испытаний на воздействие солнечной радиации в совокупности с другими климатическими факторами имеет целью выявить возможные нарушения покрытий кожухов и крышек приборов, состояние маркировки и шкал, старение проводов и кабелей, а также различные другие дефекты.

Процесс проведения испытаний: после внешнего осмотра и измерения параметров в соответствии с требованиями ТУ, ПИ и методики изделия помещают в специальную камеру, в которой их облучают светом определенного состава и интенсивности, близкими к солнечному свету.

Для лучшего обнаружения возможных нарушений внешнего вида изделий целесообразно пользоваться сравнением испытываемого изделия с эталонным. В качестве «эталона» может быть взято одно из изделий, предназначенное для испытаний. Иногда с целью обнаружения изменений внешнего вида изделий осуществляют их периодическое фотографирование.

Изделия в камере должны быть расположены таким образом, чтобы облучение происходило под углами, соответствующими реальным условиям эксплуатации.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации изделия могут испытываться в сухом и жарком или влажном и теплом климатах, подвергаясь непрерывному или циклическому воздействию внешних факторов. При обоих видах испытаний изделия должны подвергаться облучению источниками солнечной радиации, излучающими волны в диапазоне от 2900 до 40000 А, с интегральной интенсивностью 1,8 мкал/см²·мин при температуре в камере (в тени) $+60 \pm 2^\circ \text{C}$. При испытаниях в сухом и жарком климате изделия помещают в камеру и выдерживают в указанных выше условиях в течение времени, установленном в ТУ, ПИ или методике.

Приблизительно продолжительность облучения может определяться как частное от деления срока службы на «коэффициент ускорения», зависящий от климатического пояса.

Для тропического пояса этот коэффициент берут равным 12, а для умеренного - 8. Испытания во влажном и теплом климате проводят по следующему циклу: поместив изделие в камеру, его выдерживают в ней при температуре $+60^\circ \pm 2^\circ \text{C}$ в течение 24 ч, после чего его подвергают воздействию

влажности при температуре $+40 \pm 2^\circ \text{C}$ и относительной влажности 95—98% в течение 48 ч. Если указанный режим не может быть осуществлен без изъятия изделия из камеры, то перенос его из одной камеры в другую должен осуществляться за время не более 30 мин.

Изделия, работающие в условиях, исключающих непосредственное воздействие солнечной радиации (в крытых помещениях, в транспортных средствах и т. д.), подвергаются при непрерывном испытании облучению продолжительностью трое суток, а при циклическом испытании воздействию трех циклов.

Изделия, работающие на открытом воздухе, на которые воздействуют все атмосферные факторы, подвергаются испытаниям при непрерывном облучении продолжительностью 5 суток, а при циклическом испытании воздействию пяти циклов. Во время последнего цикла изделия подвергаются только облучению без последующей выдержки во влажной среде. Иногда испытания на длительное воздействие солнечной радиации при случайном действии всех внешних климатических факторов выполняют путем помещения испытываемых изделий на открытый воздух.

1.3.7.1 Испытательное и контрольно-измерительное оборудование

Различают два вида камер, предназначенных для испытаний на действие солнечной радиации. Одни камеры бывают предназначены только для имитации сухого жаркого климата, а другие позволяют осуществлять любые из рассмотренных испытаний.

Основным элементом камер являются источники света, в качестве которых применяются ртутно-кварцевые лампы с вольфрамовой нитью накала типа НГ инфракрасного излучения и лампы типа ПРК ультрафиолетового излучения. Ультрафиолетовое излучение может быть также получено с помощью газоразрядных ламп, в которых возникает электрический разряд в атмосфере паров ртути, находящихся при различных давлениях. Существуют ртутные лампы низкого давления (от 0,01 до 1 мм рт. ст.), среднего давления (от 1 до 3 ат) и высокого давления (несколько десятков атмосфер). Колбы таких ламп изготавливаются из специального (чаще всего кварцевого) стекла, пропускающего ультрафиолетовые лучи. Лампы снабжаются регулирующими, защитными и зажигающими разряд устройствами. Иногда лучи от ламп пропускают через специальные светофильтры (стеклянные или пластмассовые), поглощающие видимые лучи.

При установке ламп инфракрасного и ультрафиолетового излучения в камере необходимо обеспечивать получение заданной температуры в месте расположения испытываемого изделия. Следует иметь в виду, что коротковолновые и средневолновые ультрафиолетовые лучи оказывают вредное влияние на организм человека. Во избежание ожогов глаз недопустимо смотреть на горящую ртутную лампу без применения защитных очков.

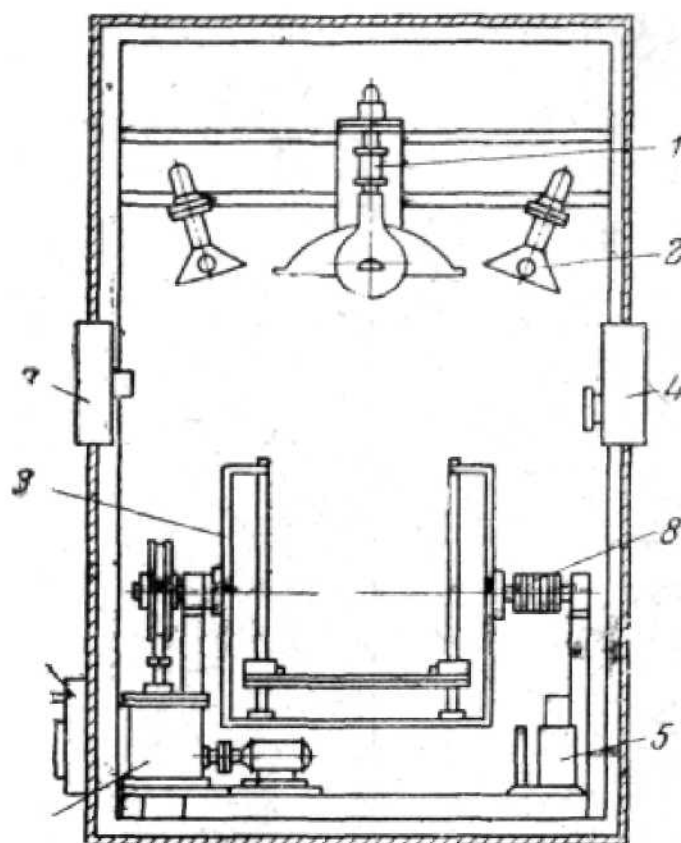


Рисунок 1.20 – Схема камеры для испытания на воздействие солнечной радиации:

1 - излучатель инфракрасных лучей; 2 - излучатель ультрафиолетовых лучей; 3 - стол для испытуемых изделий; 4 - щит коммутации с блокировкой; 5 - блок электрического питания; 7 - щит управления и сигнализации; 8 - коллектор; 9 - привод стола.

С целью исключения влияния озона и окисла азота, образующихся в результате ионизации воздуха при работе газоразрядных ламп, необходимо проветривать помещение. Равномерная интенсивность облучения испытываемых изделий достигается наличием у источников света параболических зеркальных отражателей и фокусирующих устройств.

В схеме камеры первого вида (рисунок 1.20) иногда предусматривают вращение испытываемого изделия со скоростью 1 об/сутки с целью имитации суточной смены солнечной радиации. Камера позволяет производить испытания изделий в рабочем состоянии, для чего имеется специальный коллектор, обеспечивающий подведение питающих напряжений и испытательных сигналов, а также позволяющий измерить или визуально наблюдать выходные сигналы.

Для наблюдения за изделием в камере имеется смотровое окно, снабженное светофильтром, не пропускающим ультрафиолетовое излучение.

Внутренние стенки и детали камер должны изготавливаться из материалов, стойких против действия ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Необходимая температура в камере может обеспечиваться электрообогревателями.

Примером камер второго вида является «Камера тропического климата» фирмы Карл Вейсс (рисунок 1.21). Данная камера обеспечивает получение температур от -10 до $+80$ °С, относительной влажности от 10 до 98%, затуманивания, а также ультрафиолетового и инфракрасного облучения. В камере имеется программное управление, позволяющее имитировать влажно-теплый климат и сухой жаркий климат.

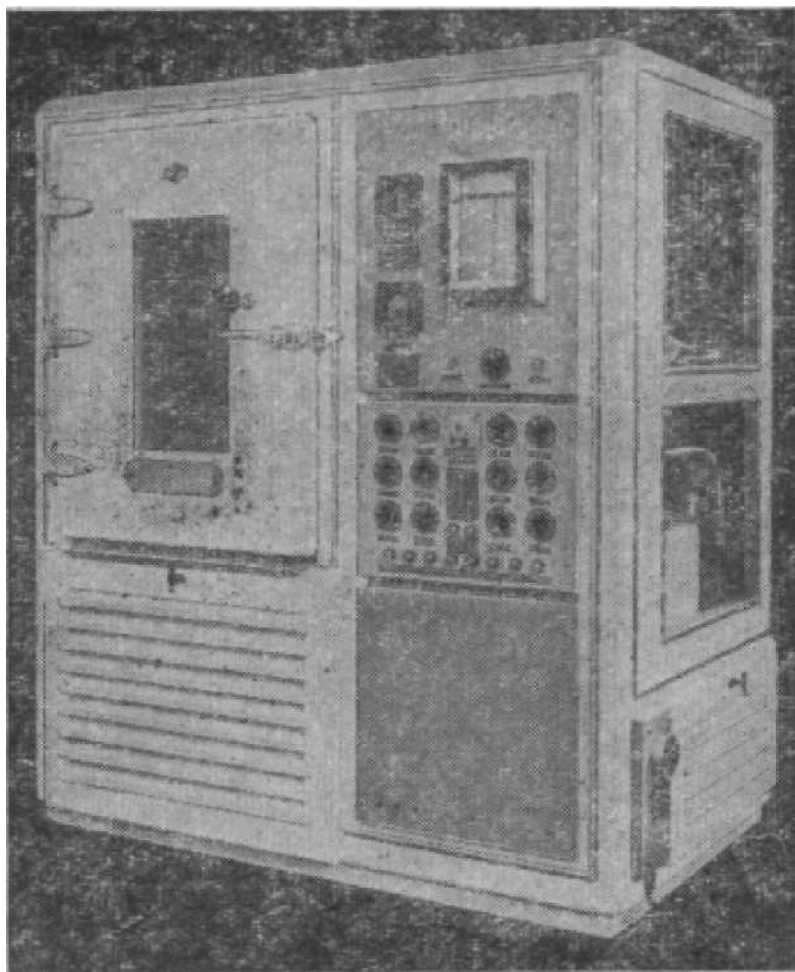


Рисунок 1.21 – Камера тропического климата

1.3.8 Испытания на воздействие соляного тумана

Испытание проводят с целью определения коррозионной стойкости изделий и их пригодности к эксплуатации во влажной атмосфере в присутствии солей. Испытание проводят одним из следующих методов:

метод 215-1. Выдержка изделий в соляном тумане с периодическим распылением соляного раствора;

метод 215-2. Выдержка изделий в соляном тумане при непрерывном распылении соляного раствора с последующей выдержкой в чистой влажной атмосфере при повышенной температуре;

метод 215-3. Выдержка изделий в соляном тумане при непрерывном распылении соляного раствора;

Испытание проводят в камере соляного тумана или камере влаги, обеспечивающих испытательный режим с отклонениями, не превышающими указанные в ПИ.

Камера испытаний должна удовлетворять следующим требованиям:

а) конструкция камеры должна позволять создавать в ней однородные условия и давать возможность туману свободно циркулировать вокруг всех изделий;

б) соляной раствор должен распыляться с помощью аэрозольного аппарата или форсунки.

Применяемый при распылении раствора сжатый воздух должен соответствовать классам загрязнённости 0,1,2,3,4 по ГОСТ 17433-80. Соляной раствор готовят путём растворения в дистиллированной воде хлористого натрия. Водородный показатель раствора должен быть в пределах 6,5-7,2 (при температуре $20 \pm 2^\circ \text{C}$) и при необходимости корректироваться до данного значения с помощью разбавленной соляной кислоты (HCl) или гидроксида натрия. Погрешность при определении pH не должна превышать 0,1 pH. Концентрация соляного раствора должна быть $(5 \pm 1) \%$ по весу (5 весовых частей соли растворяют в 95 весовых частях дистиллированной воды). Раствор для каждого цикла распыления готовят новый;

в) аэрозоль не должен попадать непосредственно на изделия;

г) конденсат должен удаляться из рабочего объёма камеры и не использоваться повторно, для чего в днище камеры должен быть сток. Не допускается стекание конденсата с верхних изделий или элементов конструкций камеры на нижерасположенные изделия;

д) камера и все её вспомогательные части должны быть изготовлены из материалов, не влияющих на результаты испытаний;

е) для контроля параметров тумана в камере должно быть установлено не менее двух коллекторов: один – в непосредственной близости от распыляющего устройства, другой – на наибольшем расстоянии от него. Коллектор – измерительный цилиндр со вставленной в него стеклянной воронкой типа В по ГОСТ 25336-82 диаметром 10 см. Коллекторы должны быть размещены таким образом, чтобы испытываемые изделия их не экранировали и в них не попадал конденсат с каких-либо предметов.

Сбор конденсата следует проводить во время выдержки или перед ней:

для камер, работающих непрерывно – не реже одного раза в 7 дней;

для камер с перерывом в работе более 7 дней перед испытанием должен проводиться прогон не менее 16 ч.

Камера влаги должна удовлетворять следующим требованиям:

а) заданная относительная влажность должна создаваться подачей увлажнённого воздуха;

б) конденсированная жидкость должна удаляться из камеры и не использоваться без очистки.

Методика испытаний:

Изделия выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

Проводят визуальный осмотр изделий и, если это указано в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, измеряют электрические параметры, критичные к воздействию коррозии.

Изделия помещают в камеру соляного тумана. Положение изделий в камере должно соответствовать указанному в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

Температуру в камере устанавливают: при методе 215-1 $(27\pm 2)^\circ\text{C}$;
при методе 215-2 $(27\pm 2)^\circ\text{C}$ или $(35\pm 2)^\circ\text{C}$; при методе 215-3 $(35\pm 2)^\circ\text{C}$;

Затем изделия подвергают действию соляного тумана. Соляной туман должен обладать такой дисперсностью и водностью, чтобы объём конденсата, усреднённый за время работы камеры в течение не менее 16 ч, составлял от 0,1 до 0,3 мл в час на каждые 80 см^2 горизонтальной поверхности испытательного пространства.

При периодическом распылении раствора – распыление производится в течение 15 минут через каждые 45 минут воздействия. Общее время воздействия – 2,7 или 10 суток.

При непрерывном распылении раствора – распыление происходит в течение всего времени выдержки. В этом случае продолжительность выдержки изделий в камере выбирают из ряда 16 ч, 1, 2, 4 сут.

При испытаниях с последующей выдержкой в чистой влажной атмосфере – после 2-часового распыления изделия переносят в камеру влаги, в которой устанавливают температуру $(40\pm 2)^\circ\text{C}$, относительную влажность $(93\pm 3)\%$ и выдерживают в течение 22 ч. При данном типе испытаний изделия подвергают воздействию 1, 3 или 6 циклов.

Далее изделия извлекают из камеры и выдерживают в течение 2 ч в нормальных климатических условиях испытаний.

Изделия, если это оговорено в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, промывают в дистиллированной воде при температуре $35\text{-}40^\circ\text{C}$ при полном погружении изделий в воду и их покачивании в течение 1 мин. Объём воды при промывке должен быть $5\text{-}10\text{ см}^3$ на 1 см^2 промываемой поверхности. Затем изделия высушивают на воздухе в течение не менее чем 2 ч, но не более 24 ч.

Проводят визуальный осмотр изделий в соответствии с требованиями стандартов и ТУ на изделия и ПИ. Допускаемые коррозионные разрушения изделий электронной техники устанавливают в стандартах и ТУ на изделия и ПИ в соответствии с ГОСТ 9.076-77. Если указано в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, перед и (или) после выдержки в нормальных климатических условиях испытаний проводят проверку электрических параметров, указанных в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

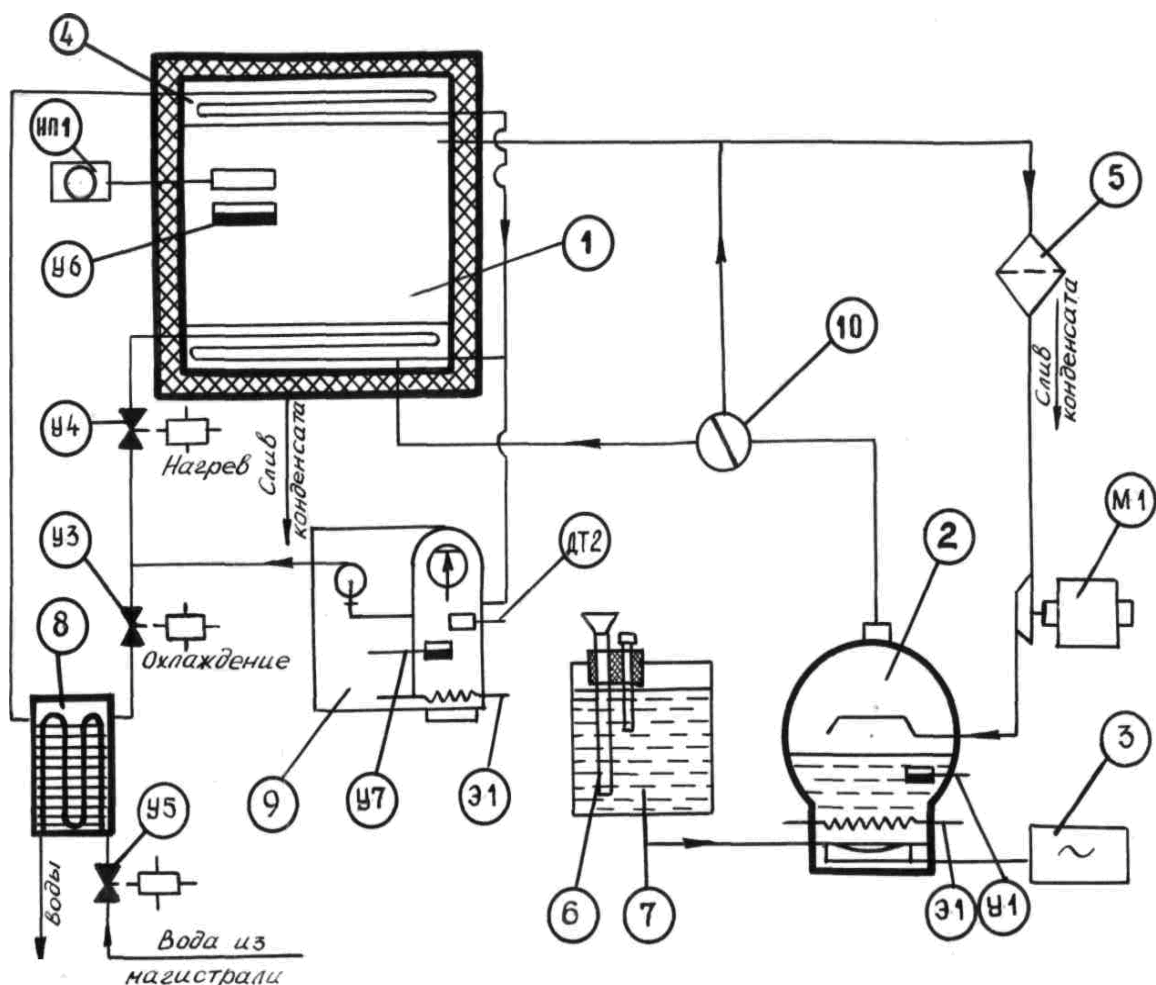


Рисунок 1.22 – Камера соляного тумана

1.3.9 Испытания на воздействие повышенного гидростатического давления

Испытание проводят с целью определения способности изделий сохранять свои параметры в процессе пребывания под водой. Изделия помещают в бак, в котором создают гидростатическое давление, соответствующее величине, на 50% большей предельной глубины погружения, установленной в ТЗ или стандартах. Длительность испытания 24 часа, после производят проверку параметров. Изделия считают выдержавшими испытание, если в процессе и после испытания они удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытаний.

1.3.10 Испытания на водонепроницаемость, брызгозащищенность и каплезащищенность

Испытание на водонепроницаемость проводят с целью проверки сохранения параметров изделий после их пребывания в воде. Испытание проводят путем погружения изделий в выключенном состоянии в ванну с водой заданной температуры на заданное время и на заданную глубину.

Испытание на брызгозащищенность проводят с целью проверки устойчивости параметров изделий в условиях и (или) после воздействия дождя.

Испытание на каплезащищенность проводят с целью проверки способности оболочек (кожухов) изделий не пропускать воды при воздействии капель.

1.4 ИСПЫТАНИЯ РЭСИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

1.4.1 Общая методология организации испытаний на механические воздействия

Существуют следующие виды МИ:

- на обнаружение резонансных частот конструкции и проверку отсутствия их в заданном диапазоне;
- на виброустойчивость и вибропрочность;
- на ударную прочность и ударную устойчивость;
- на воздействие одиночных ударов;
- на воздействие линейных ускорений;
- на воздействие акустического шума.

Все механические испытания ЭС проводят при нормальных климатических условиях под электрической нагрузкой или без неё. Повышение температуры при испытаниях допускается при условии, что не превысит значений рабочей температуры среды, заданной в НТД.

Способ крепления ЭС при МЭ указывается в НТД и программе испытаний с учётом возможных вариантов его расположения при эксплуатации, однако для контроля стабильности производства и выявления устойчивости ЭС допускается использовать и другие способы крепления.

Исследования показывают, что наибольшее влияние на ЭС оказывают сочетания вибрационных нагрузок и одиночных ударов, испытания на остальные механические воздействия являются дополнительными.

Надёжная работа ЭС обеспечивается благодаря наличию конструктивных запасов. Конструктивный запас ЭС на резонансной частоте оценивают с помощью коэффициента конструктивного запаса:

$$K_3 = f_{OH} / F_b \quad (1.4.1)$$

где f_{OH} - наименьшая резонансная частота изделия

F_b - верхняя частота рабочего диапазона, заданная НТД.

Т.о. при увеличении f_{OH} вибропрочность конструкции увеличивается при прочих равных условиях.

1.4.2 Испытания на обнаружение резонансных частот

Данный метод используется при разработке новых конструкций ЭС перед испытаниями на воздействие вибраций. Такие испытания служат для проверки механических свойств изделий и получения исходной информации при выборе методов механических испытаний и длительности действия ударного ускорения. Резонансные частоты ЭС или их элементов определяются в трёх перпендикулярных направлениях.

При определении резонансных частот аппаратура в выключенном состоянии подвергается воздействию гармонической вибрации при пониженных ускорениях $(1 \div 5)g$ в диапазоне частот $(0,2 \div 1,5)f_{OP}$, где f_{OP} - расчетная резонансная частота изделия.

Поиск резонансных частот производят путём плавного изменения частоты при поддержании постоянной амплитуды ускорения или смещения $((1 \div 5)g$ или $< 1,5$ мм).

Результаты испытаний используют при выборе других методов механических испытаний. Так, если $f_{OH} > 1000$ Гц, то из механических испытаний можно исключить испытания на ударопрочность; если $f_{OH} > 2000$ Гц - то исключают испытания на удароустойчивость, $f_{OH} \geq 2f_B$ - то исключают испытания на виброустойчивость.

Структурная схема устройства для определения резонансных частот пьезоэлектрическим методом имеет вид:

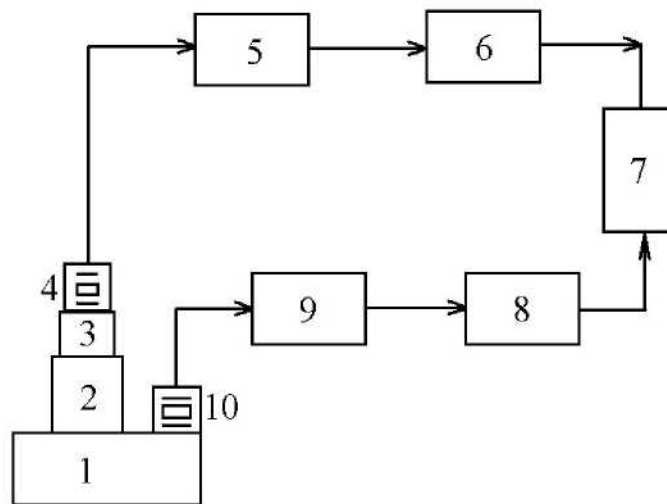


Рисунок 1.23 – Структурная схема устройства для определения резонансных частот пьезоэлектрическим методом:

1 - стол вибростенда; 2 – приспособление для крепления изделия; 3 - испытываемое изделие; 4, 10 - пьезопреобразователь; 5, 9 - согласующее устройство; 6, 8 - измерительное устройство; 7 - регистрирующее устройство

Данный метод наиболее отработан и широко используется на практике и обеспечивает высокую точность измерений при условии, когда размеры и масса испытываемого изделия в 10 и более раз превышает размеры и массу пьезопреобразователя.

При невозможности установки вибропреобразователя на изделии или с целью повышения точности измерений применяют бесконтактные методы измерения параметров вибрации, осуществляемых с помощью оптических или емкостных методов измерения.

1.4.3 Испытания на вибропрочность и виброустойчивость.

Испытания на *вибропрочность* проводят с целью проверки способности изделий противостоять разрушающему действию вибрации и выполнять свои функции при сохранении параметров после механического воздействия в пределах значений, указанных в ТУ или ПИ на изделия.

Испытания на *виброустойчивость* проводят с целью проверки способности ЭС выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах значений ЭС, указанных в ТУ в условиях вибрации в заданных диапазонах частот и ускорений.

Для проверки виброустойчивости выбирают такие параметры испытываемых изделий, по изменению которых можно судить о виброустойчивости, например, уровень виброшумов, искажение выходного сигнала, нестабильность сопротивлений и т.д.

Параметры испытываемых режимов определяются заданной степенью жёсткости, определяемые сочетанием следующих параметров:

Таблица 1.9 – Параметры испытываемых режимов

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда перемещения, мм	Частота перехода, Гц	Амплитуда ускорения, g
I	10÷35	-	-	0,5
III	10÷55	0,5	32	2
X	10÷500	1	50	10
XIV	10,0÷5000	4	50	40

Испытания ЭС на ВУ и ВП можно осуществлять следующими методами:

- методом фиксированных частот;
- методом качающейся частоты;
- методом случайной вибрации;

Основным условием, позволяющим выбрать наиболее рациональный метод испытаний, является знание резонансных частот изделия. Например, если резонансная частота превышает верхнюю частоту диапазона больше чем в 1,5 раза, применяют метод испытаний на одной фиксированной частоте. Если резонансные частоты не установлены, то применяется метод качающейся частоты. Если изделие имеет больше 4-х резонансов в заданном диапазоне частот, применяют метод случайной вибрации. Если необходимо сократить время испытаний при сохранении диапазона частот, используют метод ускоренных испытаний, основанный на следующей закономерности влияния вибрационных нагрузок на долговечность изделия:

$$\left(\frac{j_y}{j_0}\right)^k = \frac{T_0}{T_y} \quad (1.4.2)$$

где j_0, j_y - амплитуды виброускорения при ускоренном и обычном режимах;

T_0, T_y - продолжительность обычного и ускоренного режимов;

k - показатель системы, зависящий от особенностей конструкции и материалов;

$k=2 \div 10$, и наиболее жёсткий режим будет при $k=2$, поскольку при таком соотношении продолжительность испытаний будет максимальным.

1.4.3.1. Проведение испытаний на виброустойчивость и вибропрочность

Метод испытаний на *фиксированных частотах* заключается в последовательном воздействии гармонической вибрации определённой частоты и амплитуды на испытываемую аппаратуру. Структурная схема испытаний имеет вид:

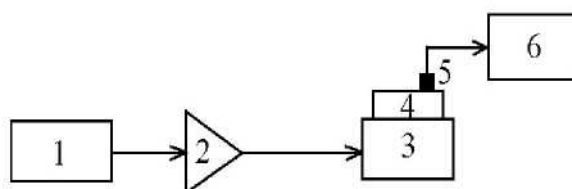


Рисунок 1.24 – Структурная схема испытаний на фиксированных частотах:

1 - задающий генератор; 2 - усилитель; 3 - вибратор; 4 - изделие;

5 - преобразователь; 6 - виброизмерительная аппаратура.

В ПИ указывается также время выдержки испытываемого изделия в данном режиме. При испытаниях на ВУ оно должно быть не менее 5 мин., а при испытании на вибропрочность от одного до пяти часов при длительном и от двадцати до пятидесяти мин. при кратковременном воздействии.

Метод имеет ограниченное применение в основном, при заводских испытаниях серийно выпускаемых изделий.

При испытаниях методом *качающейся частоты* вибрации частоту плавно изменяют в заданном диапазоне от нижнего до верхнего значений и обратно при постоянстве заданных параметров вибрации. Структурная схема испытаний методом качающейся частоты представлена на рисунке 1.25

Таким образом, при испытании ЭС методом КЧ любая резонансная частота возбуждается дважды за цикл качания. Частота вибрации меняется по экспоненциальному закону

$$f = f_H \cdot e^{kt} \quad (1.4.3)$$

где k - показатель степени, характеризует скорость качания.

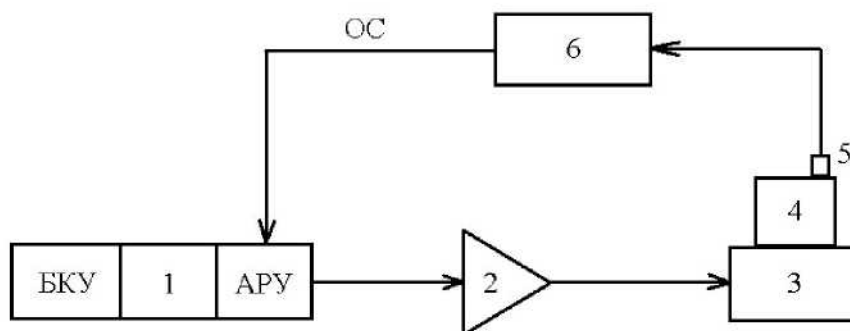


Рисунок 1.25 – Структурная схема испытаний методом качающейся частоты

Скорость качания частоты вибрации при испытаниях должна быть такой, чтобы время изменения частоты в резонансной полосе частот Δf удовлетворяло условию:

$$t_{\Delta f} \geq t_{нар} \text{ и } t_{\Delta f} \geq t_y \quad (1.4.4)$$

где $t_{нар}$ - время нарастания амплитуды вибрации при резонансе до установившегося значения;

t_y - время окончательного установления подвижной части измерителя или регистрирующего прибора.

$t_{нар}$ приблизительно можно определить из соотношения:

$$t_{нар} \approx k_1 \cdot \frac{Q}{f_0} \quad (1.4.5)$$

где f_0 - резонансная частота,

k_1 - коэффициент, учитывающий увеличение времени нарастания амплитуды до установившегося значения.

Уменьшение скорости качания приводит к увеличению продолжительности испытаний, что является экономически невыгодным.

Обычно скорость качания частоты выбирают не более 2 октав/мин. Октавой называется интервал между двумя частотами f_2 и f_1 , для которых

$$\frac{f_2}{f_1} = 2 \quad \text{или} \quad \log\left(\frac{f_2}{f_1}\right) = 1 \quad (1.4.6)$$

т.е. $V_k \leq 2$ октав/мин или

$$V_k = \frac{1}{t_{\Delta f}} \cdot 200 \cdot \lg\left(\frac{2Q+1}{2Q-1}\right) \quad (1.4.7)$$

где $t_{\Delta f}$ – определено ранее.

Если полученное значение V_k будет > 2 октав/мин, то следует брать $V_k = 2$ октав/мин.

1.4.3.2 Метод широкополосной случайной вибрации (ШСВ)

При использовании данного метода производится одновременное возбуждение всех резонансов конструкции, что позволяет выявить их взаимное влияние. При использовании метода ШСВ предусматривается постоянная плотность энергии каждой гармонической составляющей колебательного процесса, для чего на изделие воздействует белый шум и испытание проводят при определенных значениях среднего квадратического ускорения. Программа испытаний задается в виде графика спектральной плотности ускорения (рисунок 1.26):

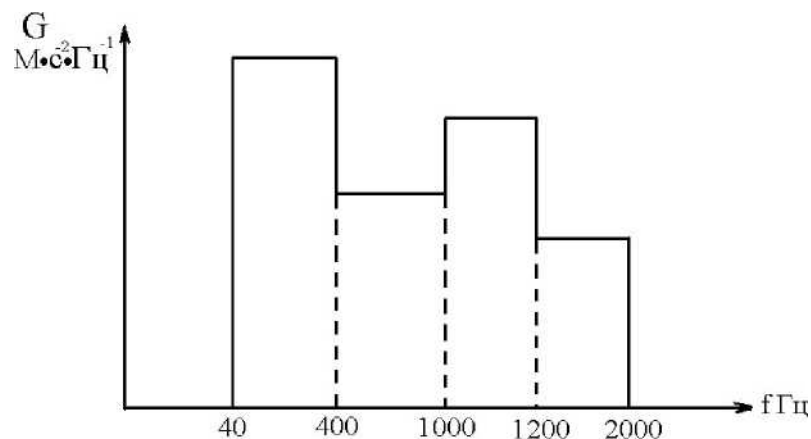


Рисунок 1.26 – График спектральной плотности ускорения

Структурная схема испытаний имеет вид:

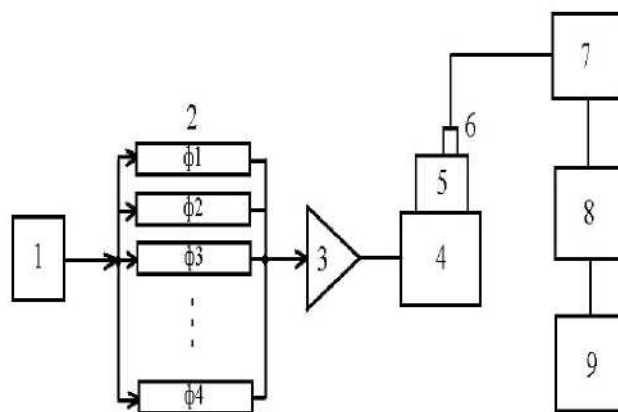


Рисунок 1.27 – Структурная схема испытаний методом ШСВ:

1 - генератор шума; 2 - блок фильтров; 3 - усилитель; 4 - вибратор; 5 - изделие;
6 - преобразователь; 7 - виброизмерительная аппаратура; 8 - анализирующее устройство; 9 - регистрирующее устройство.

В качестве сигнала возбуждения задающего устройства используется сигнал белого шума, подаваемый на многочисленные узкополосные фильтры фиксированной частоты, перекрывающие спектры частот сигнала возбуждения.

Степень жесткости испытаний на ШСВ определяется сочетанием следующих параметров: диапазон частот; спектральной плотностью ускорения; продолжительностью испытаний.

Таблица 1.10 – Параметры испытаний

Степень жесткости	Среднее квадратичное отклонение ускорения, мс^2	Спектр ускорения, $\text{г}^2\text{Гц}^{-1}$
I	100(10)	0,05
II	200(20)	0,2
III	300(30)	0,2
IV	500(50)	0,5

Осуществление метода ШСВ требует сложного и дорогостоящего оборудования, поэтому он зачастую заменяется более простым по технической реализации *методом случайной вибрации со сканированием полосы частот*. Случайная вибрация в этом случае возбуждается в узкой полосе частот, центральная частота которой по экспоненциальному закону медленно сканирует по диапазону частот в процессе испытаний от минимального до максимального и наоборот. Т.о. в данном методе реализовано компромиссное решение методов испытаний широкополосным сигналом и синусоидальным с изменяющейся частотой.

Для обеспечения эквивалентности методов испытаний широкополосным сигналом и синусоидальным с изменяющейся частотой должно выполняться условие:

$$\text{Grad}(j) = \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi f}} = \text{const}, \quad (1.4.8)$$

где $\text{grad}(j)$ - градиент ускорения, $\text{г}\cdot\text{с}^{1/2}$

σ - среднее квадратическое ускорение вибрации в узкой полосе частот, г
 f - центральная частота полосы, Гц

Степень жесткости испытаний определяется сочетанием:

- диапазон частот;
- ширина сканирующей полосы частот;
- градиента ускорения;
- длительность испытаний.

Градиент ускорения определяется:

$$\text{Grad}(j) = 0,22\sqrt{G(f)} \quad (1.4.9)$$

где $G(f)$ - спектральная плотность ускорения при испытании методом ШСВ.

Длительность испытания

$$t_{ck} = 2t_{ш} \ln\left(\frac{fb}{fH}\right) \quad (1.4.10)$$

где $t_{ш}$ - длительность испытаний ШСВ.

Структурная схема испытаний методом случайной вибрации со сканированием полосы частот (рисунок 1.28).

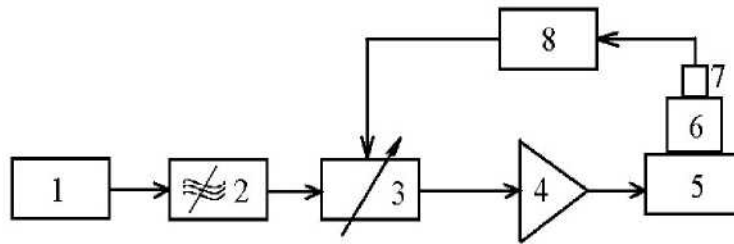


Рисунок 1.28 – Структурная схема испытаний методом случайной вибрации со сканированием полосы частот:

1 – генератор; 2 – полосовой фильтр; 3 – усилитель с автоматическим регулированием уровня; 4 – усилитель мощности; 5 – вибратор; 6 – изделие; 7 – преобразователь; 8 – виброизмерительная аппаратура.

1.4.3.3 Испытательное оборудование для испытаний на воздействие вибраций

В лабораторных условиях испытания на вибрационные нагрузки проводят на вибростендах, входящих в состав вибрационных установок. Основные требования, которым должны удовлетворять виброустановки - это возможность получения гармонической вибрации в требуемом диапазоне частот и ускорений, устойчивость и надежность в работе.

Виброустановки классифицируются:

1. По способу возбуждения вибрации:

- механические с кинематическим и центробежным возбуждением;
- электродинамические,
- электромагнитные,
- гидравлические,
- гидромеханические,
- гидроэлектромагнитные,
- пьезоэлектрические и др.

2. По частотным диапазонам воспроизводимой вибрации:

- низкочастотные и высокочастотные,
- узкополосные и широкополосные.

3. По методу поведения испытаний:

- на фиксированных частотах и качающейся частоте;
- на ШСВ и сканированием полосы частот.

4. По предельным значениям основных параметров в заданном диапазоне частот:

- силе возбуждения,
- выталкивающему усилию,
- перемещению,

- скорости.

5. По кинематическим и конструктивным признакам:

- для создания возвратно-поступательной или угловой вибрации;
- для воспроизведения вибрации в одном или нескольких направлениях (одно- и многокомпонентные) и другие.

Наиболее практическое применение в настоящее время находят электродинамические вибрационные установки.

Виброустановки с *механическим* возбуждением являются низкочастотными. Они используются для испытаний в диапазоне частот от 100 Гц в основном тяжёлых или крупногабаритных изделий массой до 100 кг.

Установки с электромагнитным возбуждением, в основном, используются для испытаний на фиксированных частотах 50 и 100 Гц. Достоинство: практически полное отсутствие магнитных полей в зоне испытаний. Недостаток: искажение синусоидальной формы колебаний.

Установки с гидравлическим возбуждением весьма эффективны на очень низких частотах (0,01 ÷ 1 Гц) с большими значениями возбуждающего усилия до 10^6 Н для изделий большой массы.

Пьезоэлектрические установки работают в области ВЧ больше 1000 Гц при очень малой грузоподъёмности (0,5 ÷ 1 Н).

Установки с электродинамическим возбуждением отличаются широким диапазоном воспроизводимых частот, высокая направленность вибрации, низкий коэффициент нелинейных искажений, небольшие магнитные поля в зоне испытаний. Применение специальной аппаратуры управления позволяет реализовать все основные режимы испытаний.

Структурная схема ЭВУ показана на рисунке 1.29.

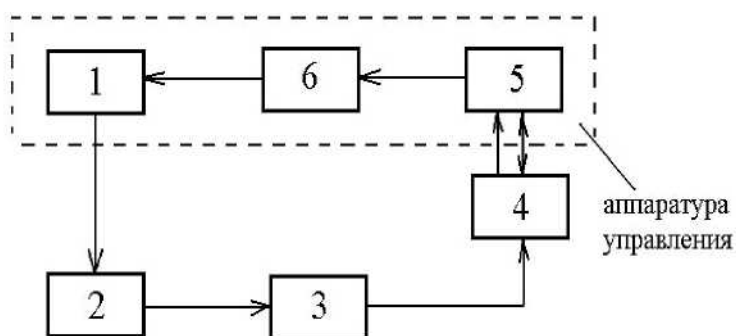


Рисунок 1.29 – Структурная схема ЭВУ:

1 – устройство управления вибрационной установкой; 2 – усилитель мощности; 3 – согласующее устройство; 4 – вибростенд; 5 – преобразователь; 6 – измерительная аппаратура.

Типовая конструкция ЭД вибростенда имеет вид (рисунок 1.30):

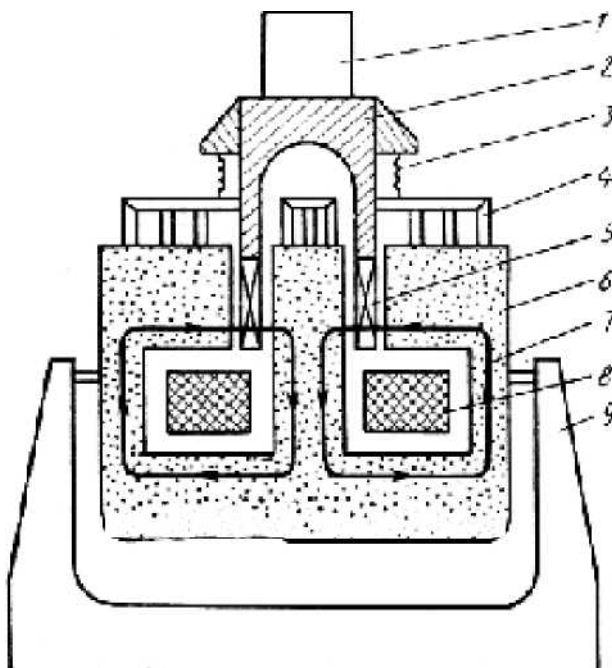


Рисунок 1.30 – Типовая конструкция ЭД вибростенда:

1 - испытываемое изделие; 2 - стол вибростенда; 3 - подвеска; 4 - магнитный экран; 5 - подвижная катушка; 6 - магнитопровод; 7 - магнитный поток; 8 - катушка подмагничивания; 9 - основание.

Обозначение вибростенда: УВЭ 5/1000, где первая цифра характеризует грузоподъемность стенда, а вторая – максимальную воспроизводимую частоту.

При проведении испытаний для крепления изделий к столу вибростенда используют различные дополнительные приспособления. Требования к ним:

- крепление изделия должно осуществляться тем же способом, что и при эксплуатации;
- f_0 приспособления больше в $1,5 \div 2$ раза верхнего значения частоты вибрации;
- центр тяжести совпадает с осью виброштока.

Наиболее предпочтительна конструкция в виде куба:

$$f_{рез.к} = 8 \cdot 10^8 / a \quad (1.4.11)$$

где a - длина ребра, м.

Для преобразования механических колебаний в электрический сигнал можно использовать преобразователи следующих типов:

- индуктивные,
- трансформаторные;
- электромагнитные,
- электродинамические;
- емкостные;
- пьезоэлектрические.

1.4.4 Испытания на ударную прочность и устойчивость

К основным параметрам ударного импульса относят пиковое ударное ускорение (перегрузка), длительность воздействия ударного ускорения и форма ударного импульса. Результат действия удара на изделие зависит от его динамических свойств - массы, жёсткости и частоты собственных колебаний.

Различают два вида испытаний:

- испытания на *ударную прочность*;
- испытания на *ударную устойчивость*.

Испытания на ударную прочность проводят с целью проверки способности изделия противостоять разрушающему действию механических ударов, сохранять свои параметры в пределах, указанных в НТД.

Испытания на ударную устойчивость проводят с целью проверки способности изделия выполнять свои функции в условиях действия механических ударов.

Характеристики режимов испытаний задаются в соответствии со степенью жесткости испытаний (таблица 1.11) и значения низшей резонансной частоты (таблица 1.12):

Таблица 1.11 – Характеристики режимов испытаний

Степень жёсткости	Пиковое ударное ускорение, g	Общее число ударов выборки:	
		3 шт. и менее	более 3 шт.
I	15	12.000	10.000
II	40	-//-	-//-
III	75	6.000	4.000
IV	150	-//-	-//-

Таблица 1.12 – Длительность действия ударного импульса

Значение низшей резонансной частоты, Гц	Длительность действия ударного ускорения, мс
60 и <	18±5
60 ÷ 100	11±4
100 ÷ 200	6±2
200 ÷ 500	3±1
500 ÷ 1000	2±0,5
> 1000	1±0,3

Изделия на столе вибростенда крепят с помощью специальных приспособлений. При этом должны выполняться условия:

- изделие должно крепиться на приспособлении с минимальным зазором

и тем же способом, что и при эксплуатации;

- резонансная частота приспособления должна быть в 1,5-2 раза выше верхнего значения частоты вибрации изделия.

Наиболее предпочтительной формой приспособления является приспособление в форме куба, что позволяет крепить изделие в трёх плоскостях. Резонансная частота куба связана с длиной его ребра соотношением:

$$f_{рез.к} = 8 \cdot 10^8 / a \quad (1.4.12)$$

где a - длина ребра, м.

1.4.4.1 Испытание на воздействие одиночных ударов

Таблица 1.13 – Параметры воздействий

Степень жёсткости	Ускорение
I	20g
VII	1500g
XIII	100000g

Длительность для импульса полусинусоидальной формы выбирают из таблицы 1.12 для $f_o < 1000$ Гц, и дополнительно

$$5000-10000 \quad 0,2 \pm 0,1$$

$$20.000 \text{ и } > 0,05 \pm 0,02$$

Длительность действия ударного ускорения в мс трапецеидальной и треугольной формы:

$$\tau = \frac{n \cdot 10^2}{f_{OH}} \quad (1.4.13)$$

где n от 3 до 100.

$$\tau = \frac{300}{f_{OH}} \quad (1.4.14)$$

Рекомендуется испытания на ударную устойчивость проводить после испытаний на ударную прочность. Характер закрепления РЭСИ на столе стенда зависит от её назначения, места установки и предполагаемого способа транспортирования.

Ударную прочность оценивают по целостности конструкции (отсутствию трещин, наличию контакта между составляющими конструкциями).

1.4.4.2 Оборудование для испытаний

Ударные стенды классифицируют по следующим признакам:

- по характеру воспроизводимых ударов: стенды одиночных и многократных ударов;
- по способу получения ударных перегрузок: стенды свободного падения и принудительного разгона платформы с изделием;
- по конструкции тормозных устройств: с жёсткой наковальней, с пружинящей наковальней, с амортизирующими прокладками и др.

В зависимости от конструкции УС и в особенности применяемого тормозного устройства получают ударные импульсы полусинусоидальной, треугольной, трапецеидальной формы.

Наиболее широко для испытаний на одиночные удары служат ударные стенды копрового типа, а на многократные удары - стенды кулачкового типа, воспроизводящие удары полусинусоидальной формы.

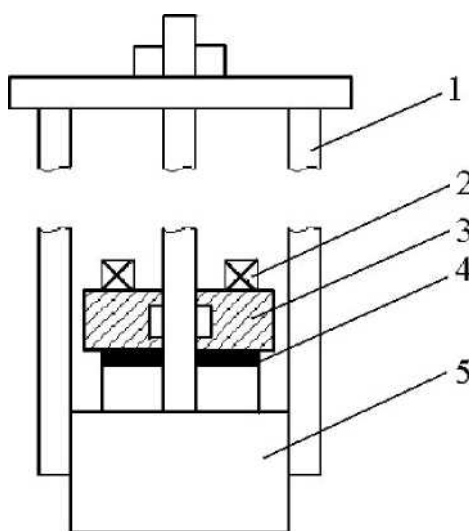


Рисунок 1.31 – Стенд для испытаний на воздействие многократных ударов: 1 - стол; 2 - изделие; 3 - кулачок; 4 - амортизационные прокладки; 5 - основание; 6 - направляющие; 7 - корпус; 8 - двигатель.

Таблица 1.14 – Основные характеристики некоторых УС

Тип стенда	Принцип работы	Грузоподъём - ность, Н	Число ударов/мин	Длительность, мс	Ускорение, σ
УУ 50/150	Механический	5000	20÷120	40	150
УУ 5/100		50	5÷80	1,5÷20	1000
К-50-1000	Электродинамический	50	10÷20	0,5÷10	1000
УУЭ 2/200	-//-	20	20÷80	1,5÷12	200
УУЭ 1/6000	-//-	10	5	0,1÷1	6000
К-5/3000	Пневмотический	20		0,4÷12	3000

Для измерения параметров ударного импульса используют аппаратуру, соединяемую следующим образом:

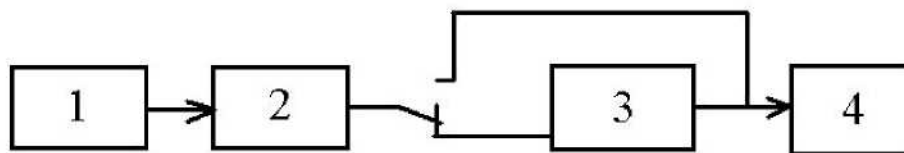


Рисунок 1.32 – Измерение параметров ударного импульса:

1 - измерительный преобразователь; 2 - согласующий усилитель; 3 - фильтр; 4 - регистрирующий прибор (осциллограф с запоминанием).

Более современным направлением при регистрации ударных процессов является аналого-цифровые измерители параметров удара. Использование таких ударов позволяет повысить точность измерений, даёт большую достоверность, оперативную связь с ЭВМ. Основными узлами таких устройств является фиксатор уровня и аналоговое запоминающее устройство. В фиксаторе уровня сигнал преобразуется в ступенчатую функцию, затем запоминается и можно его многократно воспроизводить.

1.4.5 Испытания на воздействие линейных нагрузок

Испытания проводят с целью проверки способности изделия выполнять свои функции при линейных нагрузках и разрушающем действии этих нагрузок. Испытания осуществляют на специальных стендах - центрифугах, создающих в горизонтальной плоскости радиально направленные ускорения. Скорость вращения платформы центрифуги (n) об/мин подсчитывают по формуле:

$$n = 300 \sqrt{\frac{j}{R}} \quad (1.4.15)$$

где j - ускорение, g ;

R - расстояние от центра вращения платформы до геометрического центра изделия или его центра тяжести, см.

Изделия испытывают без или под электрической нагрузкой (напряжением). Необходимость испытания под электрической нагрузкой, а также ее характер и параметры должны устанавливаться в стандартах и ПИ.

Режимы испытаний определяются значением линейного ускорения в соответствии с продолжительностью испытаний. При испытании с ускорением до 500 g продолжительность испытания три минуты в каждом направлении, больше 500 g - одна минута.

Испытания проводят на установках - центрифугах, которые классифицируют:

- по типу привода: с электрическим, с гидравлическим, с комбинированным.
- конструкции: с поворотным и не поворотным столами, с изменяющимся

радиусом вращения.

- грузоподъёмности: малые - до 10 кг, средние - до 50 кг, тяжёлые - до 100 кг, сверхтяжёлые - более 100 кг.
- по величине максимально воспроизводимого линейного ускорения: делят на категории А - до 25g, Б - до 50g, В - до 1000g, Г - до 2000g, Д > 2000g.

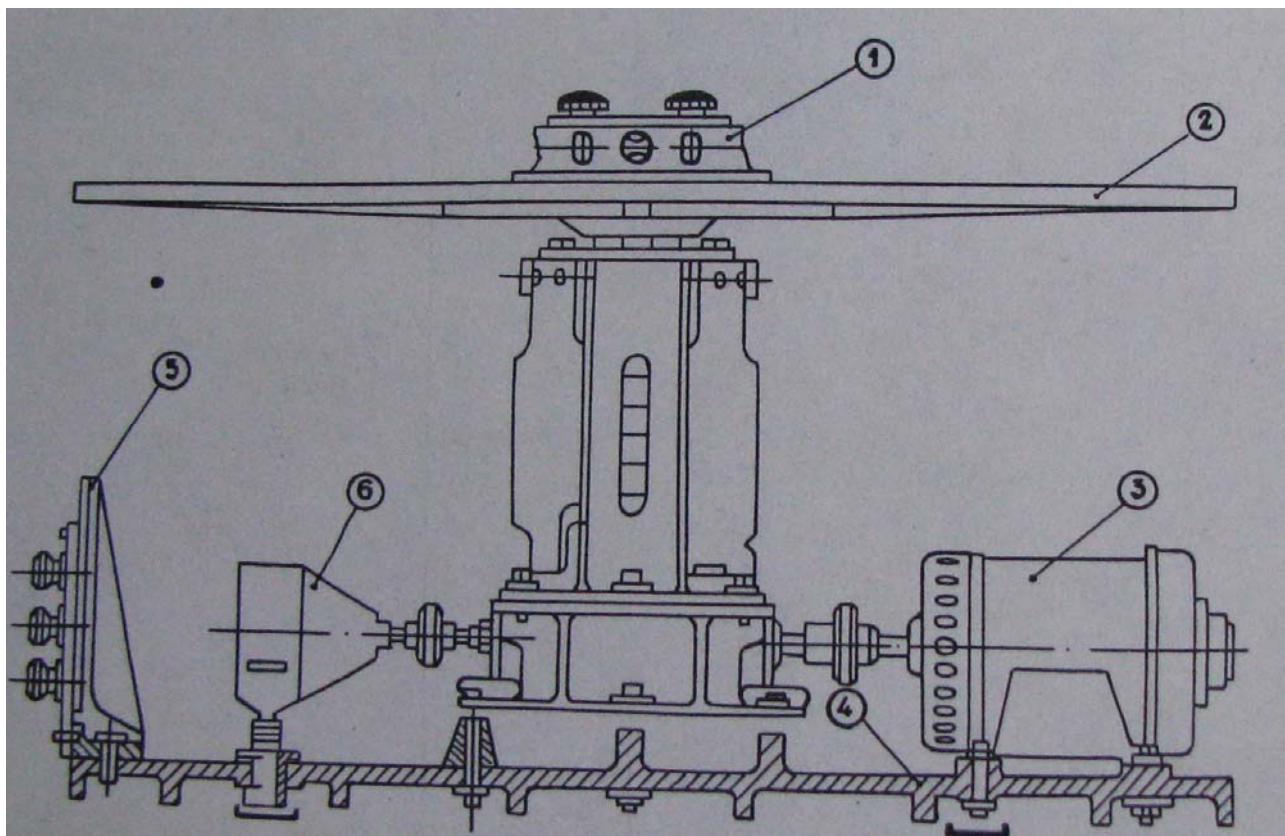


Рисунок 1.33 – Центрифуга

Таблица 1.15 – Значение линейных ускорений в зависимости от степени жесткости

Степень жёсткости	Линейное ускорение, g
I	10
II	20
III	50
.....	
VII	100
.....	
X	10000
.....	
XIV	100000

Таблица 1.16 – Данные некоторых центрифуг

Тип	Максимальное ускорение	Грузоподъёмность
Ц 5/300	300 g	5
Ц 50/50	150g	50
Ц100/200	200 g	100

Для измерения частоты вращения наиболее распространение получили электрические тахометры (импульсные, стробоскопические, с генераторами постоянного и переменного тока).

Изделия считают выдержавшими испытания, если в процессе и после испытания они удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытания.

1.4.6 Испытания на воздействие акустического шума

Испытания проводят с целью определения способности изделий выполнять свои функции, сохраняя параметры в пределах норм, указанных в НТД и программе испытаний в условиях воздействия повышенного акустического шума.

В отличие от МВ, при которых вибрация передаётся изделиям главным образом через точки крепления, звуковое давление возбуждает детали ЭС с помощью распределённого усилия, значение которого зависит не только от уровня звукового давления, но и от площади элементов. Наиболее критичным для ЭС является совместное воздействие звукового давления акустического шума и вибрации, при котором могут возникать резонансные явления преимущественно на частотах 1500÷2000 Гц.

Испытания на воздействие АШ проводят одним из двух методов:

- метод воздействия на изделие *случайного акустического шума*;
- метод воздействия *тона меняющейся частоты*

Таблица 1.17 – Режим испытаний

Степень жёсткости	Уровень звукового давления, дБ	
	Акустического шума	Тона меняющейся частоты
I	130	120
II	140	130
III	150	140
IV	160	150
V	170	160

Испытание на воздействие акустического шума проводят путём воздействия на ЭС шума с заданным равномерным звуковым давлением в

определённом спектре с частот в диапазоне 125÷10000 Гц. Продолжительность воздействия составляет пять минут, если не требуется большее время для контроля и/или измерения параметров.

Испытание на воздействия акустического тона меняющейся частоты проводят в том же диапазоне частот при плавном изменении частоты от низшей к высшей и наоборот (один цикл) по всему диапазону. При этом в диапазоне частот 200÷1000 Гц уровень звукового давления соответствует табличному, а на частотах больше и меньше должно происходить снижение уровня на 6 дБ/акт относительно уровня 1000 Гц. Время испытаний 30 мин, если не оговорено особенно.

Первый из методов предпочтительнее, когда изделие имеет несколько $f_{PEЗ}$ и сложную конструкцию, второй - при испытании простых изделий, имеющих малую $f_{PEЗ}$ или критичны к воздействию звукового давления определённой частоты.

1.4.6.1 Испытательное оборудование

Испытания изделий на воздействие АШ проводят:

- на открытых стендах с работающим двигателем;
- в закрытых блоках с натурным источником шума;
- в акустических камерах.

В качестве источника шума используется электродинамические преобразователи, реактивные струи воздуха, специальные сирены.

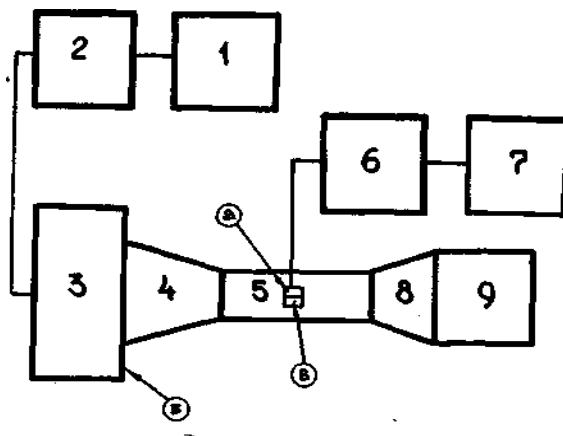


Рисунок 1.34 – Камера отраженной волны:

1 – ЗГ; 2 – усилитель; 3 – излучатель; 4 – поворотный рупор; 5 – испытательная камера; 6 – усилитель; 7 – система записи; 8 – акустическая раковина

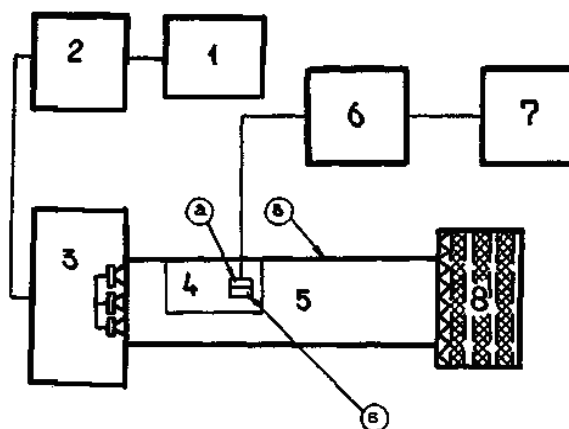


Рисунок 1.35 – Камера падающей волны:

1 – ЗГ; 2 – усилитель; 3 – излучатель; 4 – поворотный рупор; 5 – испытательная камера; 6 – усилитель; 7 – система записи; 8 – акустическая раковина

Данные источники могут устанавливаться в камерах с возрастающей волной и отражательного типа. Оба типа камер построены на использовании явлений отражения и поглощения звуковых волн при их распространении в замкнутом объёме. Т.о. могут быть достигнуты звуковые давления в 170 дБ в узкой и до 150 дБ в широкой полосе частот.

Широкое распространение получили акустические камеры реверберационного типа. Схема такой камеры имеет вид:

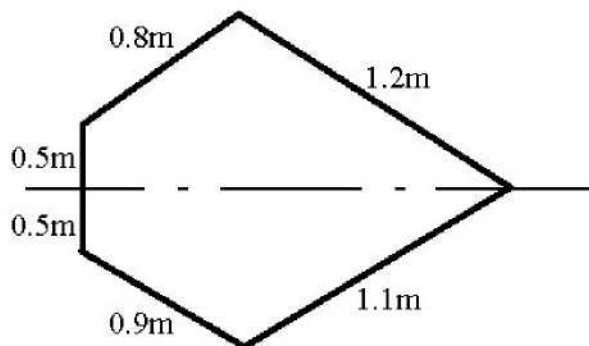


Рисунок 1.36 – Схема камеры реверберационного типа
($m \geq$ в 2 раза наибольшего габаритного размера изделия)

1.5 ИСПЫТАНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ, КОРРОЗИОННО-АКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

1.5.1 Испытание на грибоустойчивость

Испытания на *грибоустойчивость* проводят с целью определения способности материалов и покрытий противостоять грибковой плесени в среде, зараженной плесневыми грибами. Испытания осуществляются на образцах, которые не подвергались другим воздействиям. Допускается использовать образцы, забракованные по электрическим параметрам. Виды грибов, применяемых при испытании, установлены ГОСТ 9.048-75.

Перед испытанием поверхность изделия тщательно промывается или протирается спиртом. Изделия помещают в камеру грибообразования. Вместе с изделиями в камеру ставятся контрольные чашки Петри (обычно две) с питательной средой. Состав и порядок приготовления питательной среды дается в специальной инструкции. Изделия, а также контрольные чашки с питательной средой опрыскиваются из пульверизатора водной суспензией спор грибков из расчета 50 мл суспензии на 1 м³ полезного объема камеры. Вся поверхность изделий должна быть опрыскана равномерно. Подвергать испытаниям рекомендуется образцы, не прошедшие других испытаний.

Испытания проводятся в следующем порядке. В камере устанавливается температура $29 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительная влажность $95 \pm 3\%$ при отсутствии циркуляции воздуха. Испытываемые изделия должны быть затемнены от искусственного и естественного света. Изделия в этом режиме выдерживаются 48 ч, после чего производят осмотр контрольных чашек Петри. Если на чашках не наблюдается роста грибков из числа видов использованных для заражения, то следует провести вторичное опрыскивание изделий жизнеспособной суспензией спор грибков. Срок испытания в этом случае следует считать со времени вторичного опрыскивания.

Испытания продолжаются в течение 30 сут. После испытания изделия извлекаются из камеры и подвергаются визуальному осмотру под микроскопом при 56-кратном увеличении. Оценка качества изделий производится по шестибальной системе:

- Нет роста грибков, т. е. на образцах при контроле не обнаруживается роста грибков - 0 баллов;
- Очень слабый рост грибков, т. е. наблюдаются единичные проросшие споры - 1 балл;
- Слабый рост грибков, т. е. наблюдается единичное спороношение - 2 балла;
- Умеренный рост грибков, т. е. видны очаги плесени - 3 балла;
- Обильный рост грибков, видимое невооруженным глазом – 4 балла;
- Сплошное поражение грибками поверхности образца - 5 баллов;

Изделия считают выдержавшими испытание на грибоустойчивость, если степень биологического обрастания оценивается баллами 0 или 1. По окончании испытания образцы должны быть продезинфицированы или

уничтожены, чтобы предотвратить заражение окружающих предметов и продуктов.

1.5.1.2 Испытательное оборудование

Испытание на грибоустойчивость производят в специальных лабораториях. Применяемые для испытаний на грибоустойчивость камеры должны иметь внутренние стенки и детали, устойчивые к воздействию плесневых грибов. В передней стенке камеры обычно располагается дверь с застекленным окном для наблюдения за состоянием испытываемых изделий. Затемнение в камере создается с помощью еще одной съемной двери.

Для проведения испытаний на грибоустойчивость применяют камеры грибообразования (рисунок 1.37) КВТ/Г-1М*, обеспечивающие получение повышенной температуры и влажности, незначительной подвижности среды и затемненности, автоматического поддержания заданной температуры и влажности.

Собственно испытательная камера 1 расположена в верхней правой части шкафа. В нижней части шкафа под камерой находятся два центробежных вентилятора, нагреватель и регулятор влажности. Слева от двери камеры расположена панель блока сигнализации и управления 2.

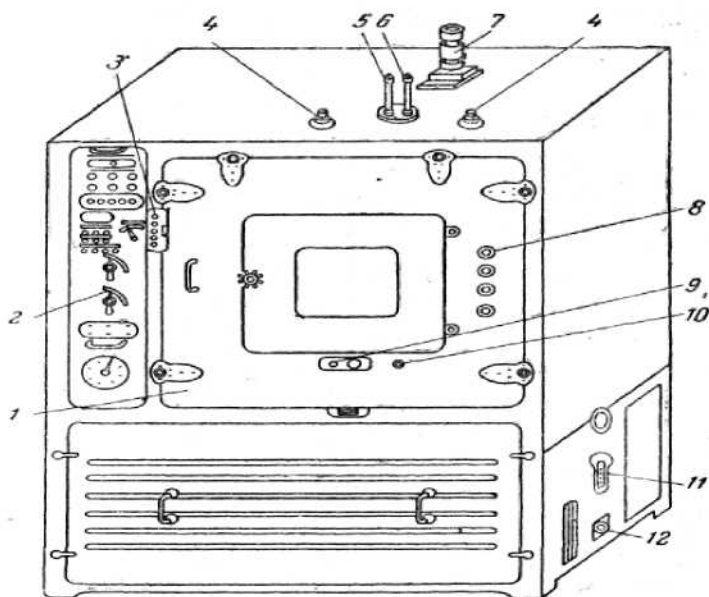


Рисунок 1.37 – Общий вид камеры грибообразования:

1 — испытательная камера; 2 — панель блока сигнализации и управления; 3 — гнезда для замера параметров испытываемых изделий; 4 — температурные фильтры; 5 — «сухой» контактный термометр; 6 — «влажный» контактный термометр; 7 — осевой вентилятор; 8 — отверстия, закрытые гайками с резиновыми пробками для ввода высокочастотных кабелей; 9 — тумблер для включения обогревателя стекол; 10 — отверстие для обмена воздуха; 11 — контактный термометр регулятора влаги; 12 — штепсельный разъем.

Испытательная камера (рисунок 1.38) выполнена с двойными стенками, образующими воздушную рубашку 1, в которой циркулирует нагретый воздух, равномерно нагревающий камеру. Теплоизоляция камеры достигается тем, что пространство между ее стенками и обшивкой каркаса заполнено матами 2 из стекловолокна. В передней стенке камеры расположена дверь с застекленным окном для наблюдения за состоянием испытываемых изделий. Затемнение в камере создается с помощью еще одной съемной двери. Для предохранения стекол окна двери от запотевания между ними расположены нагреватели.

С целью обеспечения притока в камеру свежего воздуха, необходимого для развития аэробных культур, в нижней части двери имеется отверстие, а в потолке камеры два температурных фильтра 5, обеспечивающих обезвреживание воздуха, выходящего из камеры. Регулировка и автоматическое поддержание режима тепла и влаги достигаются с помощью блока термометров 4, 5, расположенных в верхней части испытательной камеры. На потолке камеры установлен осевой вентилятор 7 для перемешивания воздуха и лампа освещения. Влажность в камере создается закрытым способом путем барботирования воздуха в увлажнителе 5, представляющем собой цилиндрический резервуар, заполненный на $\frac{1}{3}$ объема водой. Нагрев воды в увлажнителе осуществляется легкоъемным электронагревателем 10, расположенным под его дном. Регулировка и автоматическое поддержание температуры воды в увлажнителе достигается контактным термометром 9, установленным на его крышке. Центробежный вентилятор 11 обеспечивает циркуляцию увлажненного воздуха в замкнутой системе испытательная камера - вентилятор - увлажнитель - испытательная камера. Всасывающее отверстие вентилятора соединено с испытательной камерой, а выхлопное отверстие — с регулятором влажности. Для спуска конденсата из кожуха вентилятора внизу его имеется пробка.

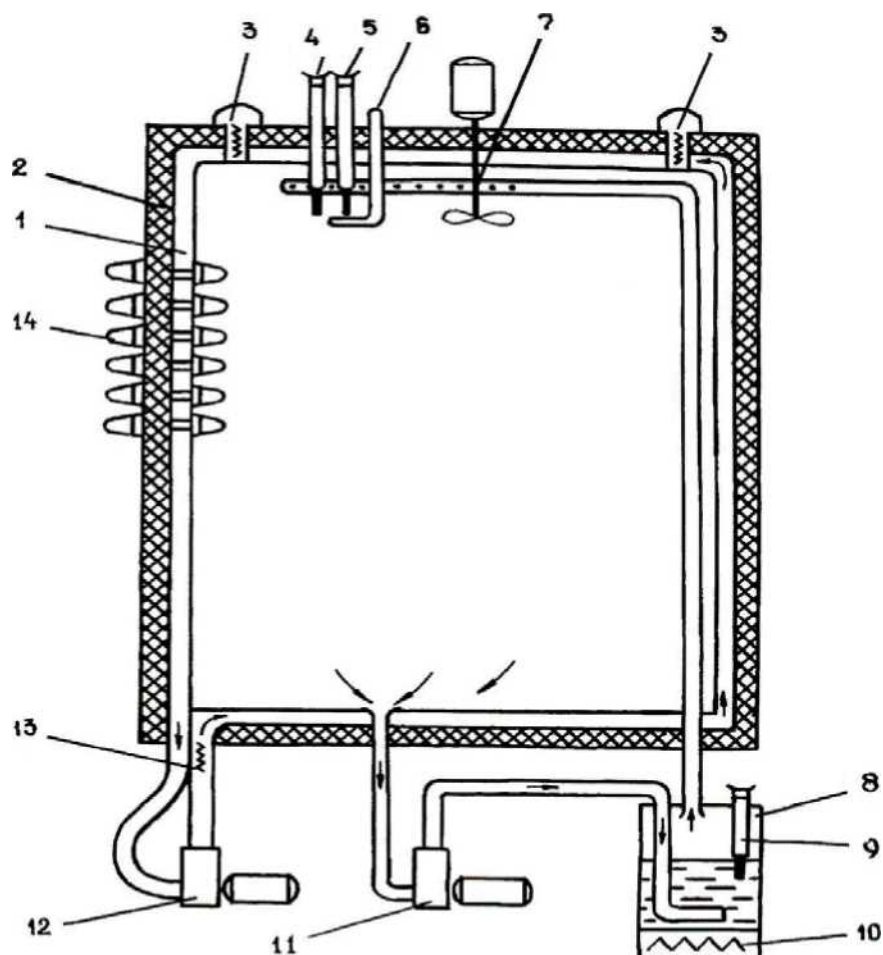


Рисунок 1.38 – Схема камеры для испытаний на грибоустойчивость:

1 — воздушная рубашка; 2 — маты из стекловолна; 3 — температурный фильтр; 4 — «сухой» контактный термометр; 5 — «влажный» контактный термометр; 6 — баллон для смачивания «влажного» термометра; 7 — осевой вентилятор; 8 — увлажнитель; 9 — контактный термометр увлажнителя; 10 — электронагреватель воды; 11 — центробежный вентилятор увлажненного воздуха; 12 — центробежный вентилятор нагретого воздуха; 13 — электронагреватель воздуха; 14 — электровводы.

Температурный режим в испытательной камере обеспечивается циркуляцией нагретого воздуха в рубашке камеры, создаваемой центробежным вентилятором 12 и электронагревателем 13, расположенными под дном камеры. Электронагреватель воздуха в камере выполнен в виде вставной легкоъемной кассеты. Для регулировки мощности электронагревателя под блоком автоматики установлен автотрансформатор. Между передней панелью блока автоматики и дверью камеры расположены шесть гнезд электровводов 14 для электрической связи испытываемых изделий с контрольно-измерительным оборудованием. Для ввода в камеру высокочастотных кабелей в двери камеры имеется четыре отверстия, закрытых гайками с резиновыми пробками. Камера оборудована блокировкой, разрывающей цепь питания камеры при открывании двери.

Камера КТВ/Г-1М характеризуется следующими техническими данными: температура от 25 ± 10 °С до 60 ± 2 °С; относительная влажность от $65 \pm 15\%$ до $98 \pm 2\%$ при температуре до $+35 \pm 2$ °С; повышение температуры осуществляется со скоростью от 0,1 до 0,5° С в минуту; увеличение относительной влажности

на 0,2% в минуту; неравномерность распределения температуры в камере $\pm 2^{\circ}\text{C}$, относительной влажности 2—3%.

После окончания испытания следует удалить воду из всех узлов камеры, промыть увлажнитель, продезинфицировать испытательную камеру и просушить ее нагреванием.

1.5.2 Испытание на устойчивость материалов к воздействию термитов

В лабораторных условиях испытание осуществляют в термостатах при температуре $+(26\pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ и влажности воздуха, близкой 100 %.

Испытание проводят следующим образом. На образец материала, имеющий форму пластины размером 40x80 мм, накладывают полоску фильтровальной бумаги так, чтобы она закрывала половину поверхности образца. Смачиваемая бумага является источником питания и влаги. Затем на каждый образец устанавливают по два стеклянных садка и прижимают их к образцу пружинами или резиновыми кольцами. В каждый садок помещают по 50 термитов. Для наблюдения за жизнеспособностью термитов готовят контрольные садки. Садки с образцами и контрольные садки вводят в термостаты. Три раза в неделю визуально учитывают степень повреждения термитами образцов (отверстия, царапины, разрыхление и т.д.) и заменяют погибших термитов равным числом жизнеспособных. Продолжительность испытания составляет 30 сут.

1.5.3 Испытание изделий и материалов на устойчивость к воздействию грызунов

Для проведения испытания используют взрослых особей грызунов, которых заранее дрессируют, чтобы приучить доставать пищу, преодолевая преграду—картон толщиной 2...3 мм. Клетки для проведения испытания изготавливают из каркаса и сетчатых металлических стенок с размером ячейки не более 5...8 мм. В середине клетки имеется перегородка с отверстием 70x70 мм, которое закрывают преградой — испытываемыми образцами. Продолжительность испытания 24 ч. По окончании испытания образцы осматривают, отмечают характер и размеры повреждений. Образцы считают выдержавшими испытание, если они не повреждены (0 баллов) или на их поверхности имеются следы зубов грызунов в виде неглубоких царапин. (1 балл).

1.5.4 Коррозионно-активное воздействие

Испытание на коррозионно-активное воздействие проводят для оценки коррозионной стойкости металлов, сплавов и покрытий, применяемых в ЭС, к воздействию рабочей среды (среды, в контакте с которой происходит эксплуатация ЭС, их деталей или сборочных единиц), способной изменять свою коррозионную активность в зависимости от температуры и влажности.

Различают зоны эксплуатации (испытания) ЭС с высокими температурами рабочей среды (до +2500°C), низкими температурами (до -253 °C) и их сочетанием (нагрев до высоких температур после воздействия низких). При выборе методов лабораторных и стендовых испытаний ЭС необходимо учитывать не только температуру рабочей среды, но и характер температурного воздействия (кратковременное, длительное, циклическое), а также условия эксплуатации и хранения, заданные ТЗ.

Рабочей средой, оказывающей коррозионное воздействие на ЭС, может служить воздух, топливо (в том числе многокомпонентное), окислители, рабочие жидкости гидросистем, синтетические и минеральные масла, охлаждающие жидкости, смазки, продукты сгорания топлива, морская и даже дистиллированная вода, различные агрессивные среды (газы), коррозионная активность которых часто возрастает не столько с повышением температуры, сколько с повышением влажности.

В зависимости от рабочей среды, в которой происходит эксплуатация ЭС, коррозионную стойкость можно определить в ходе проведения испытания на следующие воздействия: инея и росы, повышенной влажности, плесневых грибов, соляного тумана, дождя, сернистого газа или сероводорода и др.

Под *коррозионно-активным воздействием* обычно понимают совместное воздействие агрессивного газа, влажности и температуры. В качестве агрессивного газа, ускоряющего коррозионный процесс при испытаниях иногда применяют кислотный раствор хлористого натрия и двухлористой меди. Газ вводят в рабочую среду для определения защитных свойств покрытий медь-никель-хром и никель-хром, а также анодно-оксидных покрытий из алюминия и его сплавов. При испытании покрытий из драгоценных металлов, исключая серебро, используют сернистый газ. Для определения защитных свойств медь-никель-хромовых и никель-хромовых покрытий, нанесенных на сталь и цинковые сплавы, в качестве агрессивной среды применяют коррозионно-агрессивные пасты, которые наносят на поверхность испытываемых образцов.

Испытание металлов, сплавов и покрытий на коррозионно-активное воздействие проводят только в тех случаях, когда отсутствуют данные по их стойкости к этому воздействию. Подобное испытание деталей и сборочных единиц ЭС позволяет определить влияние их конструктивных и технологических особенностей на коррозионную стойкость и работоспособность в конкретной среде. Для испытания образцов служит газовая камера, в которой можно изменять температуру и влажность.

1.5.5 Испытание ЭС на воздействие сернистого газа

Испытание изделий на воздействие атмосферы, содержащей сернистый газ, проводят для определения способности изделий сохранять свои параметры в условиях воздействия данной атмосферы. Данному типу испытаний подвергают только контактные коммутационные присоединительные и установочные изделия электронной техники, в том числе имеющие соединения, выполненные обжимкой и навивкой. Испытания проводят двумя методами:

1) метод 301-1: периодическое воздействие атмосферы содержащей сернистый газ.

2) метод 301-2: непрерывное воздействие атмосферы содержащей сернистый газ.

Метод 301-1 применяют для определения влияния сернистого газа на свойства изделий с контактами, не содержащими драгоценных металлов и серебра. Испытательная камера для данного метода должна обеспечивать испытательный режим (концентрацию, температуру и относительную влажность испытательной среды) с отклонениями, установленными в стандарте. Камера должна быть изготовлена из материалов, стойких к воздействию сернистого газа. Поток газовой смеси в полезном объеме камеры должен обеспечить 3 – 5-кратный обмен в час. Заданную относительную влажность в камере создают подачей увлажненного воздуха. Постоянную концентрацию сернистого газа в камере поддерживают подачей газа от баллона. Концентрацию сернистого газа в камере контролируют периодически, не реже раза в сутки. Испытательная камера должна иметь:

а) устройство для ввода газа извне, которое должно обеспечивать равномерность поступления его в камеру и не допускать прямого попадания струи на изделия;

б) устройство для отбора проб газа, измерения температуры и относительной влажности, удаления отработанного газа из камеры с последующей нейтрализацией его.

Перед началом испытаний проводят визуальный осмотр и измерение параметров изделий. Затем изделия помещают в камеру агрессивного газа так, чтобы они не соприкасались друг с другом и не экранировали друг друга от воздействия испытательной среды. Объем, занимаемый оболочками изделий, не должен превышать 30% испытательного пространства. В камере устанавливают следующий режим испытаний:

концентрация сернистого газа – массовая $0,075 \text{ г/м}^3$ или объемная – $25 \text{ см}^3/\text{м}^3$;

температура 25°C ;

относительная влажность 85%.

Допускаемые отклонения температуры $\pm 2^\circ\text{C}$, относительно влажности $\pm 3\%$, концентрация сернистого газа $\pm 20\%$. Продолжительность выдержки при данной концентрации сернистого газа 8 ч. Сернистый газ вводят в камеру сразу после установления заданных значений температуры и относительной влажности. Затем температуру в камере устанавливают $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$,

относительную влажность (70 ± 3) %. Изделия выдерживают при данном режиме в течении 14 ч, при этом подача сернистого газа в камеру не производится. Данная последовательность операций составляет один цикл продолжительностью 24 ч. Количество циклов устанавливают 2, 4, 8 в зависимости от цели испытания и требований и указывают в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. По окончании выдержки изделия извлекают из камеры агрессивного газа и выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний не менее 1 ч и не более 24ч. Конкретное время устанавливают в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. После этого производят визуальный осмотр и измерение параметров изделий. Затем производят оценку результатов и оценку коррозионных разрушений изделий.

Метод 301-2 применяют для определения влияния сернистого газа на свойства изделий с контактами из драгоценных металлов или покрытых драгоценными металлами. Испытательная камера и порядок проведения испытания идентичен методу 301-1, за исключением того, что при установлении в камере режима испытаний, относительную влажность в камере устанавливают 75%. Заданный испытательный режим в течение времени выдержки поддерживают постоянным. Продолжительность выдержки 4, 10, 21 сут. Конкретную продолжительность выдержки устанавливают в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. По окончании выдержки действия аналогичны методу 301-1.

1.5.6 Испытание на паяемость

Проводят с целью проверки способности выводов изделий образовывать соединения в течение определенного времени, названного в стандарте «временем пайки». Оно определяется временем, которое требуется для достижения в заданных условиях необходимой степени смачивания поверхности выводов припоем. На практике применяют несколько методов испытания на способность к пайке:

- испытание с применением капельной установки;
- испытание с применением паяльной ванны;
- испытание с применением паяльника;
- испытание на десмачивание;
- испытание методом баланса смачивания.

Капельную установку используют для определения времени пайки проволочных выводов круглого сечения. Испытываемый вывод покрывают флюсом, затем погружают в каплю расплавленного припоя таким образом, чтобы она разделилась пополам. На железный стержень, нагретый до температуры $(235 \pm 2)^\circ\text{C}$, наносят кусочек припоя. Перед установкой нового кусочка припоя припой, оставшийся на железном стержне от предыдущего испытания, должен быть удален. Время с момента деления капли припоя пополам до момента соединения ее над выводом составляет время пайки. При этом отношение диаметра испытываемого вывода к высоте капли выбирают таким, чтобы слияние капли припоя над выводом не могло произойти без

смачивания. Выводы выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, установленного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Остатки флюса удаляют изопропиловым или этиловым спиртом.

Паяльную ванну используют для испытания на паяемость в случае, если форма элемента или его вывода не позволяет применить капельную установку (например, для элементов с лепестковыми выводами или печатных плат). Паяльная ванна должна быть глубиной не менее 40 мм, иметь объем не менее 300 мл и содержать припой, температура которого (235 ± 5) °С (для элементов, предназначенных для печатного монтажа) и (270 ± 10) °С (для прочих элементов). Испытываемый вывод сначала погружают во флюс. Применяемый флюс должен состоять из 25% по массе канифоли (ГОСТ 19113-84) и 75% по массе изопропилового или этилового спирта (ГОСТ 18300-87). Избыточный флюс удаляют, давая ему стекать в течение 1 мин ± 5 с. Предварительную подготовку выводов не проводят, если это не указано в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. При необходимости выводы обезжиривают путем погружения в нейтральный органический растворитель при комнатной температуре. Выводы изделия опускают во флюс, затем вынимают и выдерживают для удаления избытка флюса в вертикальном положении в течение 30-60 с. Затем вывод сразу же погружают в ванну с припоем в направлении продольной оси. Место погружения должно находиться на расстоянии не менее 10 мм от стенок ванны. Скорость погружения $(25\pm 2,5)$ мм·с⁻¹, время выдержки в припое $(5\pm 0,5)$ с. После извлечения выводов из ванны с расплавленным припоем их выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний в течение времени, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Остатки флюса на выводах удаляют прополаскиванием их в изопропиловом или этиловом спирте.

Изделия считают выдержавшими испытания, если при визуальном осмотре установлено, что испытываемая поверхность выводов покрыта гладким блестящим слоем припоя. Допускается незначительное количество отдельных дефектов в виде пор, зон, не подвергшихся смачиванию, или зон, где произошло десмачивание. Эти выводы не должны концентрироваться на одном участке поверхности вывода.

Для испытания применяют трубчатый припой марки ПОС 61 ГОСТ 21931-76 с сердечником из канифоли по ГОСТ 19113-84. Припой представляет собой трубку с сердечником из флюса. Для паяльника первого типа используют трубку припоя диаметром 1,2 или 1,5 мм для паяльника II типа – трубку припоя диаметром 0,8 мм или 1,0 мм.

Паяльник, нагретый до (350 ± 10) °С, применяют, когда нельзя оценить паяемость, испытывая образцы на капельной установке или с помощью паяльной ванны (например, для самофлюсующихся эмалированных проводов, для которых температура припоя при других методах пайки слишком низка, или для элементов с лепестковыми выводами, не предназначенными для пайки погружением). Стержень паяльника должен быть изготовлен из меди и иметь железное покрытие или выполнен из эрозийного медного сплава. Форма заточки стержня – односторонний клин. Время выдержки 2-3 с, если другое время не оговорено в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. В момент выдержки

паяльник должен быть неподвижным. Между последовательными приложениями паяльника к различным выводам одного и того же изделия следует соблюдать 5-10 с. Вывод должен быть облужен на расстоянии не менее 6 мм от корпуса изделия или до половины длины паяемого лепестка в случае лепесткового вывода, если другие условия не указаны в стандартах и ТУ на изделия и ПИ.

Испытание на десмачивание проводят в паяльной ванне. Испытываемые выводы опускают во флюс, затем погружают в ванную с расплавленным припоем в направлении продольной оси изделия. Температура припоя в ванне устанавливают $(260 \pm 5)^\circ\text{C}$. Точка погружения выводов должна быть на расстоянии не менее 10 мм от стенок ванны. Скорость погружения (извлечения) $(5 \pm 2) \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$, время выдержки в припое $(5 \pm 0,5) \text{ с}$. После извлечения из ванны с расплавленным припоем выводы выдерживают в вертикальном положении до затвердения припоя. Остатки флюса на выводах удаляют прополаскиванием их в изопропиловом или этиловом спирте. Необходимо, чтобы суммарное время выдержки выводов в припое составляло 10 с.

Испытание методом балансного смачивания заключается в погружении изделия в ванну с расплавленным припоем и регистрацией результирующей силы, действующей на изделие, как функция от времени. Полученную кривую сравнивают с кривой, зарегистрированной при испытании идеально смоченного изделия того же типа и размеров. Температура расплавленного припоя в ванне устанавливают $(235 \pm 3)^\circ\text{C}$. Изделие погружают в ванну с припоем со скоростью $(20 \pm 5) \text{ мм/с}$ и выдерживают на глубине и в течение времени, указанного в стандартах и ТУ на изделия и ПИ. Изделие извлекают из ванны с припоем с той же скоростью. Когда изделие находится в погруженном состоянии неподвижно, регистрируют результирующую силу, действующую на изделие, как на функцию от времени.

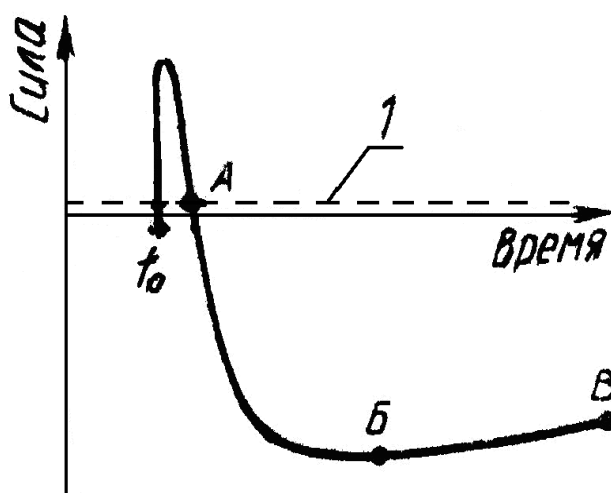


Рисунок 1.39 – Зависимость результирующей силы от времени 1 – линия отсчета сил, действующих на изделие.

На рисунке 1.39 силы, направленные вверх (несмачивания), представлены

как положительные, а силы, направленные вниз (смачивание), как отрицательные. Характерные точки:

- время t_0 — время первоначального контакта изделия с поверхностью припоя, когда сила, действующая на изделие, равна нулю;

- точка A характеризует момент времени, когда сила, действующая на изделие, равна расчетной выталкивающей силе. При расчете выталкивающей силы за глубину погружения принимают глубину ниже уровня припоя в ванне. Все силы измеряют относительно горизонтальной линии, проходящей через точку A ;

- точка B характеризует максимальное значение результирующей силы, направленной вниз, в течение времени погружения;

- точка B — точка в конце времени погружения. Сила в точках B и B может иметь одинаковые значения для одного и того же изделия, что указывает на стабильность условий смачивания. Если сила смачивания в точке B меньше, чем в точке B , то процесс смачивания является нестабильным

Примеры кривых «сила — время» приведены на рисунке 1.40.

Для исследования способности к пайке материалов изделия с низкой степенью смачивания эталонную силу смачивания сравнивают с расчетной силой смачивания. Расчетную силу смачивания (F) в миллиньютонах получают по формуле

$$F=0,08V - 0,4p, \quad (1.5.1)$$

где p — периметр погружения части изделия, мм;

V — объем погружения части изделия, мм³.

При использовании всех методов изделия считают выдержавшими испытание на паяемость, если при визуальном осмотре установлено, что поверхность их выводов покрыта сплошным слоем припоя не менее чем на 95%.

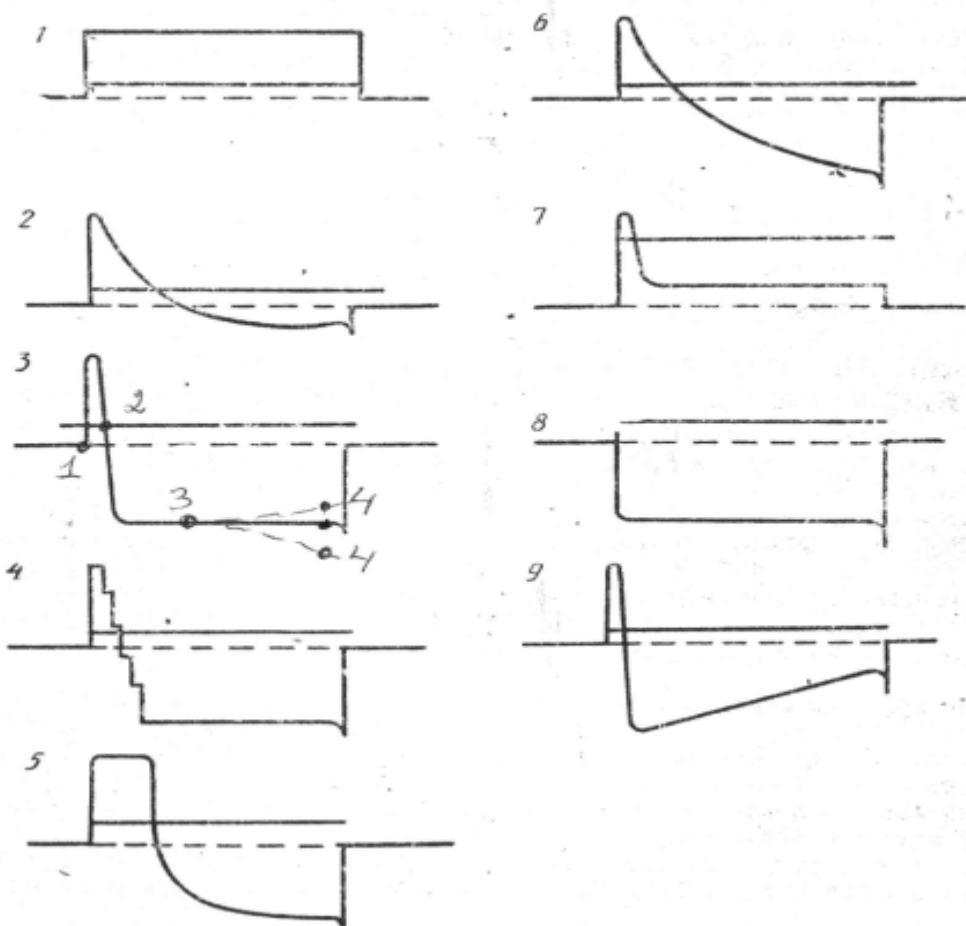


Рисунок 1.40 – Примеры кривых «сила — время»

1 – несмачивание; 2 — плохое смачивание; 3 — хорошее смачивание; 4 — быстрое смачивание для изделий с большой теплоемкостью; 5 — замедленное смачивание; 6 — медленное смачивание; 7 — несмачивание; 8 — очень быстрое смачивание; 9 — нестабильное смачивание.

Критериями оценки результатов испытаний являются следующие параметры:

Максимальное значение интервала времени ($t_A - t_0$), характеризующее начало смачивания;

Максимальное значение силы в процентах от эталонной силы смачивания после указанного интервала времени, характеризующее распространение смачивания;

Минимальное значение отношения силы в точке В к силе в точке Б, характеризующее стабильность смачивания.

Состав параметров и их значения устанавливают в стандартах и ТУ на изделие и ПИ.

1.5.6.1 Испытание на теплостойкость при пайке

Проводят с целью определения способности изделий выдерживать воздействие теплоты, образующейся при пайке. Для испытания служат два метода: с применением паяльной ванны или паяльника. Эти методы отличаются

от предыдущих (на паяемость) только более длительным временем выдержки в ванне и в контакте с паяльником. Изделия считаются выдержавшими испытание, если их внешний вид и параметры соответствуют установленным в стандартах нормам.

1.5.7 Испытание прочности выводов и их креплений

Проводят для определения способности выводов изделий выдерживать воздействия механических факторов, аналогичные воздействиям на эти элементы при монтаже и эксплуатации изделий. К воздействующим механическим факторам относят: растягивающие силы, направленные вдоль осей выводов, имеющих жесткое крепление; сжимающие силы, определяющие способность выводов выдерживать нагрузки, аналогичные тем, которые возникают при монтаже и эксплуатации; изгибающие силы (для ленточных и проволочных выводов); крутящий момент (для резьбовых выводов); скручивание (для одножильных осевых проволочных выводов диаметром 0,3... 1,2 мм). Таким образом, прочность гибких выводов изделий проверяют испытанием на воздействие растягивающей силы, изгиб и скручивание, а резьбовых выводов — на воздействие крутящего момента. Перед испытанием производят внешний осмотр выводов и измеряют те их параметры, которые могут изменяться в процессе испытания. Рассмотрим испытания на указанные воздействия.

1.5.8 Испытание выводов (выводных концов) на воздействие растягивающей силы

Испытание проводят с целью проверки прочности крепления выводов (выводных концов) в изделии и способности их выдерживать растягивающую силу.

Испытание проводят путем плавного приложения статической силы в соответствии со стандартами, которая должна быть направлена вдоль оси вывода, а для вывода, закрепленного на изоляторе, - вдоль оси изолятора. Силу плавно прикладывают к каждому выводу изделия и выдерживают в течение 10 с.

Для изделий с двумя осевыми противоположно направленными выводами допускается прикладывать силу к одному выводу при закрепленном другом.

Изделия считают выдержавшим испытание, если отсутствуют обрывы выводов и изделия удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытания.

1.5.9 Испытание гибких проволочных и ленточных выводов на изгиб

Испытание проводят с целью определения способности проволочных и ленточных выводов выдерживать изгибы.

Для испытания к каждому выводу изделия в направлении его оси

поочередно подвешивают груз в два раза меньший, чем при испытании на воздействие растягивающей силы. Затем корпус изделия медленно наклоняют на угол 90° и медленно возвращают в прежнее положение. Сгибание вывода и разгибание считают одним изгибом. Всего производят три изгиба. Изгибы производят в одной вертикальной плоскости.

Изделия считают выдержавшим испытание, если отсутствуют обрывы выводов и изделия удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытания.

1.5.10 Испытание гибких лепестковых выводов на изгиб

Испытание проводят с целью определения способности лепестковых выводов выдерживать изгибы.

Лепестковый вывод изгибают на 45° от исходного положения, затем на 90° в противоположном направлении, если позволяет конструкция, и снова возвращают в исходное положение. Это принимается за один изгиб.

Изделия считают выдержавшим испытание, если отсутствуют обрывы выводов и изделия удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытания.

1.5.11 Испытание гибких проволочных выводов на скручивание

Испытание проводят с целью определения способности проволочных выводов выдерживать скручивание.

Каждый проволочный вывод изгибают на 90° на расстоянии 5- 6 мм от места присоединения к изделию при радиусе кривизны 0,7- 0,8 мм. Свободный конец вывода закрепляют на расстоянии 1- 1,5 мм от места изгиба и поворачивают вокруг оси изделия на 180° или 360°. Конкретный угол поворота указывают в стандартах и ПИ.

Всего производят три поворота. Каждый последующий производят в направлении, противоположном предыдущему.

Изделия считают выдержавшим испытание, если отсутствуют обрывы выводов и изделия удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытания.

1.5.12 Испытание резьбовых выводов на воздействие крутящего момента

Испытание проводят с целью определения способности резьбовых выводов выдерживать воздействие крутящего момента.

Изделия крепят к неподвижной опоре за корпус. На выводы с наружной резьбой навинчивают до упора гайки, а в выводы с внутренней резьбой ввинчивают стержни. К гайкам или стержням плавно прикладывают крутящий момент и выдерживают в течение 10 с.

Изделия считают выдержавшим испытание, если не наблюдается

проворачивания выводов в месте заделки и изделия удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытания.

1.6 ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА КОСМИЧЕСКИЕ И РАДИАЦИОННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

1.6.1 Воздействие ультранизких давлений

Испытание ЭС на воздействие ультранизких давлений проводят для определения способности материалов и элементов ЭС сохранять при таких давлениях свои параметры в пределах, указанных в НТД, а также для проверки правильности принятых схемных и конструктивно-технологических решений. Испытание осуществляют в глубоком вакууме. Минимальная продолжительность испытания равна (или несколько превышает) времени установления стационарного исследуемого процесса или явления. Ориентировочные значения давлений, необходимые для воспроизведения в лабораторных условиях основных физических явлений, происходящих в космосе, приведены в таблице 1.18

Материалы, узлы, элементы, а также ЭС в целом подвергают испытаниям в вакуумных установках. Современная *вакуумная испытательная установка* — сложная система, в состав которой входят: вакуумная камера с системой трубопроводов, разнообразные насосы, вакуумметры, термометры, расходомеры криогенных жидкостей, емкости и баллоны с криогенными жидкостями, регуляторы, клапаны и краны, электроприводы, блоки контрольно-измерительной и управляющей аппаратуры.

Параметры вакуумных испытательных установок: рабочий объем камеры от $0,2 \text{ м}^3$ (для малогабаритных установок) до $134\,000 \text{ м}^3$ (установка центра им. Арнольда, США, для испытания космических кораблей); минимальное давление до 10^{-12} Па; коэффициент возврата молекул $Z_0 \sim 10^{-2} \dots 10^{-2}$. Вакуумные испытательные установки различаются также по следующим параметрам: составу остаточных газов; виду откачивающих насосных систем (масляная, безмасляная, парортутная и т.д.); скорости откачки камеры; неравномерности распределения давлений, потоков частиц и температур по объему и внутренней поверхности камеры; диапазону рабочих температур; времени выхода на рабочий режим; производительности и сроку службы.

Многие молекулы газа, покидая поверхность исследуемого объекта, отражаются от стенок испытательной установки и возвращаются на объект. Это происходит многократно до тех пор, пока молекулы не будут захвачены стенками. Отношение числа молекул, возвращающихся на объект в единицу времени, к числу молекул, покидающих его, называют коэффициентом возврата молекул (Z_0).

В вакуумных испытательных установках в зависимости от наибольшего давления запуска (максимального давления во входном сечении насоса, при котором он может начать работу) и предельного остаточного давления в вакуумной камере используют *насосы предварительной, основной и вспомогательной откачки*. Одновременно используют несколько типов насосов из-за избирательной откачной способности насоса каждого типа к удалению различных паров и газов. Наиболее часто применяют комбинацию

турбомолекулярного и ротационного (для предварительной откачки) насосов; цеолитового и диффузионного с ловушками на жидком азоте для защиты от миграции паров масел; титанового сублимационного, криогенного, гетероионного или магнитного электроразрядного (для основной и вспомогательной откачки).

Таблица 1.18 – Ориентировочные значения давлений, необходимые для воспроизведения основных физических явлений в космосе, при испытании ЭС в лабораторных условиях

Вид испытания	Давление, Па
Проверка механической прочности и герметичности корпусов ЭС при воздействии перепада давлений	$\sim 10^3$
Проверка на отсутствие воздушного демпфирования конструкции ЭС при вибрации	$\leq 10^{-1}$
Проверка теплового режима ЭС при теплопередаче излучением	$\leq 10^{-2}$
Влияние электрических зарядов, утечек, ионизации на работоспособность ЭС	$\leq 10^{-3}$
Исследование физических свойств конструкционных материалов (прочности, ползучести, внутреннего демпфирования)	$\leq 10^{-4}$ (в зависимости от давления насыщенных паров исследуемых материалов)
«Холодная» сварка	$< 10^{-5}$
Излучение процессов испарения и сублимации материалов и их переконденсации	Длина свободного пробега молекул должна быть больше характерного размера установки
Исследование адсорбции и химического взаимодействия остаточных газов с поверхностью материалов	$< 10^{-5} \dots 10^{-12}$
Проверка узлов трения	$< 10^{-5} \dots 10^{-12}$

По принципу действия вакуумные насосы делятся на проточные и сорбционные. Проточные насосы удаляют газ из откачиваемого объема. В сорбционных газ обычно остается внутри насосов в связанном виде на сорбционных поверхностях или подповерхностных слоях; скорость откачки пропорциональна площади сорбирующей поверхности; предельное остаточное давление зависит от процессов десорбции.

По назначению вакуумные насосы делятся на форвакуумные (для создания в системе низкого и среднего вакуума при наибольшем давлении запуска 1-10 Па) и высоковакуумные (для создания высокого и сверхвысокого вакуума).

Иногда между ними ставят промежуточный (бустерный) вакуумный насос. Форвакуумными насосами производят начальное вакуумирование установок, т. е. снижение давления от 1,33-10 Па примерно до 10^{-1} Па. По достижении требуемого давления эти насосы отключаются и начинают одновременно работать насосы основной и вспомогательной откачки (в диапазоне давлений $10^{-3} \dots 10^{-12}$ Па).

Основную откачку вакуумной установки осуществляют обычно криогенными насосами (примерно до 10^{-12} Па), обеспечивающими огромную скорость откачки, низкий коэффициент возврата, а также остаточный газ, приближающийся по составу к газу в космосе. Эти насосы изготавливают в виде криорешеток различной конфигурации, охлаждаемых специальными хладагентами. Эффективным технологическим способом, облегчающим получение ультранизких давлений, является прогревание установок с целью усиленного газоотделения из их отдельных частей. Прогревают, как правило, малогабаритные и иногда среднегабаритные установки.

Для вспомогательной откачки раньше применялись исключительно паромасляные диффузионные насосы. Однако у них есть существенный недостаток — наличие обратного потока паров масла из насоса в рабочую камеру испытательной установки. Создание ловушек, охлаждаемых жидким азотом, только уменьшает, но не исключает поступление в камеру масляных паров. В космосе такие пары отсутствуют. Поэтому возникла необходимость применения так называемой «безмасляной» откачки, т. е. откачки насосными системами, не использующими масла и другие органические продукты. В качестве насосов вспомогательной откачки служат криосорбционные и ионные насосы.

Для измерения давления газов ниже атмосферного применяют *вакуумметры*, действие которых основано на использовании различных физических закономерностей, прямо или косвенно связанных с давлением газа. Так как диапазон давлений в вакуумных установках очень широк (от атмосферного до 10^{-12} Па), то существуют вакуумметры различных типов: механические, термодинамические, ионизационные и др.

Вакуумметры обычно состоят из двух частей: манометрического преобразователя и измерительной установки. Преобразователи вакуумметров имеют неодинаковую чувствительность к различным газам. Если преобразователь градуирован по воздуху, а применяется для измерения давления других газов, необходимо учитывать относительную чувствительность:

$$R = K_g / K_a, \quad (1.6.1)$$

где K_g — чувствительность преобразователя к данному газу;

K_a — чувствительность к воздуху.

Вакуумметры измеряют общее давление газов, присутствующих в вакуумной системе. Однако при оптимизации вакуумных технологических процессов и проведении испытаний ЭС требуется измерять не только общие, но и парциальные давления остаточных газов.

Работа *измерителей парциальных давлений* (ИПД) основана на принципе

ионизации молекул газа и разделении положительных ионов в зависимости от отношения массы к заряду иона (m/q). По характеру используемых электромагнитных полей ИПД можно разделить на статические и динамические. В статических приборах используют постоянные, а в динамических - переменные электромагнитные поля.

Измерители парциальных давлений (как и общих) характеризуются нижним и верхним пределами измеряемых давлений, чувствительностью, а также присущим только им параметром — разрешающей способностью. Под разрешающей способностью ИПД понимают отношение массового числа иона Me к наименьшему различаемому его изменению ΔMe :

$$\rho_m = Me/\Delta Me, \quad (1.6.2)$$

где $Me = M/nq$;

M - молекулярная масса иона, а.е.м.; n - число элементарных зарядов.

Экспериментально ρ_m определяют с помощью масс-спектрометра.

1.6.2. Воздействие криогенных температур

Испытание ЭС на воздействие криогенных (ниже 120 К) температур проводят с целью проверки устойчивости параметров изделий при низких температурах. Криогенные (охлаждающие) системы, предназначенные для испытания, входят в состав термовакуумных испытательных установок с многоступенчатой откачной системой и включают следующие элементы:

- собственно криокамеру (или криостат), т.е. конструкцию с рабочим объемом, в котором непосредственно размещается испытываемый объект (образец) и происходит его охлаждение (в криокамере — парами хладагента или охлажденным газом, в криостате — жидким хладагентом) до заданной температуры;

- хладагент;

- устройства подачи хладагента в рабочую камеру.

Выбор типа хладагента определяется предельной температурой охлаждения испытываемого объекта. Для охлаждения до температур ниже 200 К обычно используют жидкие газы: азот (температура кипения 77 К), водород (20 К), гелий (4,2 К), неон (30 К). Охлаждение ниже 4 К достигается откачкой паров над поверхностью жидкого гелия. Испытываемые образцы охлаждают обычно в два этапа: сначала жидким азотом до температуры около 73 К, а затем до более низких температур — жидким гелием и его парами.

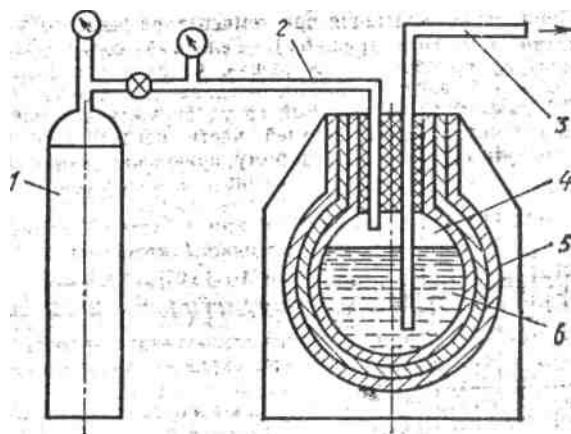


Рисунок 1.41 – Устройство подачи хладагента с помощью сжатого газа:
 1 – баллон со сжатым газом; 2 – трубопровод с клапанами; 3 – трубка; 4 – сосуд Дьюара;
 5 – вакуумно-порошковая изоляция; 6 – жидкий хладагент

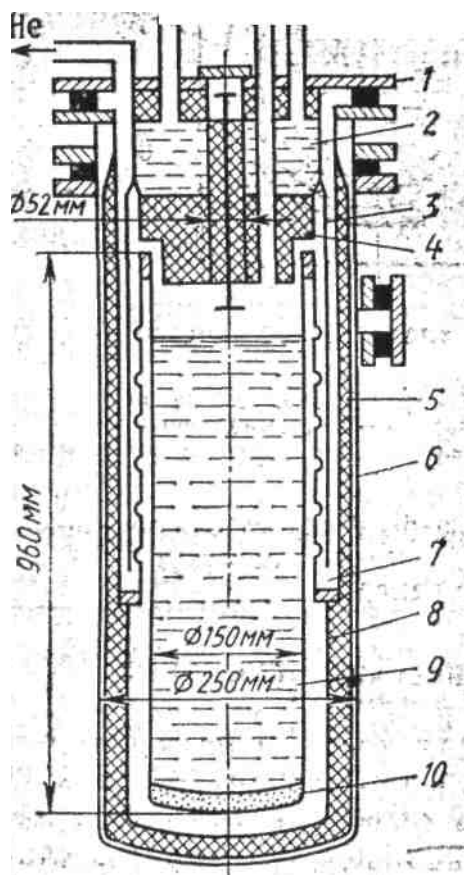


Рисунок 1.42 – Схема гелиевого криостата КГ-15/150:
 1 – крышка; 2 – сосуд с жидким азотом; 3,8 – экраны; 4 – пенополиуретан; 5 – вакуумно-
 многослойная изоляция; 6 – кожух; 7 – горловина гелиевого сосуда; 9 – сосуд с гелием;
 10 – адсорбент (активированный уголь)

1.6.3 Специальные виды космических испытаний

Эксплуатация ЭС в условиях космоса оказывает существенное влияние на тепловой режим работы изделий.

Термовакuumные испытания проводят для исследования работоспособности ЭС в зависимости от их теплового режима в условиях космоса. Для обеспечения теплового режима ЭС в лабораторных условиях, аналогичных условиям их эксплуатации в космосе, достаточно воспроизвести основные факторы космического пространства: глубокий вакуум; солнечное излучение; излучения планет солнечной системы, влияющие на условия эксплуатации ЭС (например, Земли, если ЭС эксплуатируются на околоземной орбите); «холод» и «черноту» пространства за пределами телесных углов, занимаемых Солнцем и рассматриваемой планетой. Цикл отработки теплового режима ЭС включает: проверку работоспособности ЭС и их составных частей в условиях реальных нестационарных градиентов температуры; исследование поля температур в отсеках космического аппарата (КА), где размещены ЭС, и взаимного влияния температурных полей различных тепловыделяющих устройств КА на работоспособность ЭС; выбор оптимального размещения ЭС и тепловыделяющих устройств КА; определение фактических температурных пределов работоспособности ЭС; проверку эффективности работы системы терморегулирования в условиях, максимально приближающихся к реальным; исследование работы системы терморегулирования в аварийных ситуациях; определение ресурса ЭС и их составных частей; исследование деформаций конструкций ЭС, вызванных температурными воздействиями.

Моделирование теплового режима ЭС производят в вакуумной камере, в которой устанавливают имитаторы лучистых потоков Солнца, планеты и орбиты КА. Для испытания выбирают КА, аналогичный предназначенному для полета в космос. На нем устанавливают датчики температуры в точках, наиболее полно характеризующих его тепловое поле, и датчики других величин (давления, расхода теплоносителя и др.).

Перед помещением в испытательную камеру КА тщательно очищают от всевозможных загрязнений, которые могут явиться источником «ложных» течей при откачке. Затем его закрепляют в раме механизма вращения - имитаторе орбиты. Далее проверяют работу бортовой и контрольно-измерительной аппаратуры, а также программно-временного устройства, задающего режим в испытательной камере. По достижении в камере давления около 10^{-3} Па включают криогенную систему охлаждения (до температуры жидкого азота) экранов. Как только в камере установится заданный режим испытания, по командам программно-временного устройства включают имитаторы внешних лучистых потоков, бортовые ЭС и начинают эксперимент, продолжительность которого определяется условиями полета и цикличностью работы бортовых ЭС. Показания датчиков (давление, температура и др.) передаются на пульт управления с помощью бортовой телеметрической аппаратуры или специальной радиопередающей аппаратуры, размещаемой на КА только во время испытания.

Качество имитатора солнечного излучения характеризуется плотностью потока лучистой энергии и углом расхождения лучей в рабочей зоне, соответствием спектра лучистого потока спектру естественного излучения Солнца и поляризацией лучей. Для весьма совершенного имитатора не должны быть превышены следующие значения: неоднородность плотности потока лучистой энергии во всем объеме рабочей зоны $\pm 5\%$, расхождение лучей $\pm 2^\circ$, среднее квадратическое отклонение спектральных плотностей энергии излучения имитатора от соответствующих спектральных плотностей солнечного излучения $\pm 5\%$ в диапазоне длин волн 0,2...3 мкм, степень поляризации 3...5 %.

По способу формирования лучистого потока оптические схемы солнечных имитаторов можно разделить на осевые и неосевые. Схема солнечного имитатора с осевым имитатором Солнца представлена на рисунке 1.43.

Солнечный имитатор дает вертикальный осевой поток излучения, максимальная плотность энергии которого достигает 2700 Вт/м^2 . Лучи от источника лучистой энергии (ртутно-ксеноновых ламп) собираются параболическим зеркалом 3 и концентрируются на псевдогиперболическом выпуклом зеркале 2. Далее пучок лучей проходит через линзу 4, выполняющую одновременно роль окна, и попадает на рассеивающее зеркало 6, направляющее лучи на главное параболическое зеркало 5, которое и формирует коллимированный поток в рабочей зоне 7.

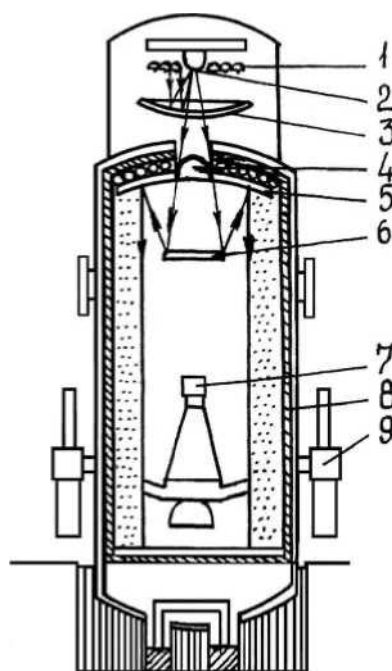


Рисунок 1.43 – Схема установки лаборатории реактивного движения NASA с осевым имитатором Солнца:

1 — ртутно-ксеноновые лампы; 2 — гиперболическое зеркало; 3 — параболическое зеркало; 4 — линза; 5 — главное коллимирующее параболическое зеркало; 6 — многогранный отражатель; 7 — рабочая зона с испытываемый КА; 8 — криогенные экраны; 9 — диффузионные насосы

Описанный имитатор имеет ряд недостатков: чрезвычайно сложную

конструкцию; трудоемкую юстировку всех элементов схемы; наличие неконтролируемых вторичных лучистых потоков, приводящих к температурным ошибкам; низкий коэффициент использования энергии (около 1,14%). Низкий КПД имитатора в основном определяется большими потерями энергии из-за неполного использования лучистого потока источника. Значительные потери обусловлены также поглощением лучей на многочисленных зеркалах и линзах. Применение более совершенных конструкций и меньшего числа отражающих и преломляющих оптических элементов позволяет повысить КПД такого имитатора до 12 %.

Более экономичным является имитатор, в котором используются дуговая лампа с эллипсоидным отражателем и одно неосевое параболоидное или сферическое зеркало (рисунок 1.44). Размещение рабочей зоны в стороне от оси симметрии главного зеркала, формирующего почти параллельный поток, позволяет избежать взаимного переизлучения между зеркалом и испытываемым КА и тем самым избавиться от неконтролируемых вторичных лучистых потоков. Общий коэффициент использования энергии имитатора такого типа составляет 16,2 %.

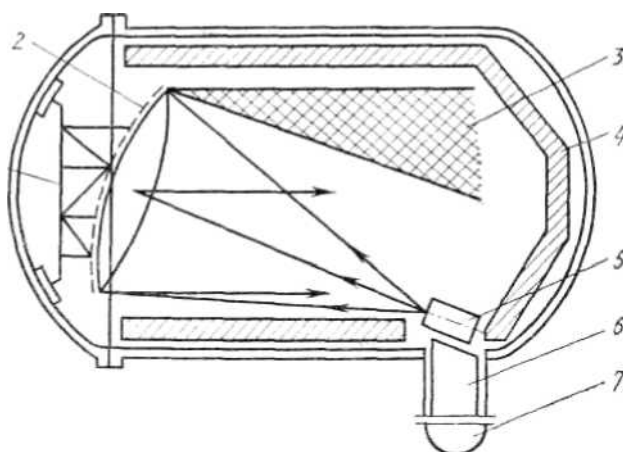


Рисунок 1.44 – Схема установки модуля солнечного имитатора с неосевым зеркалом:

1 — кронштейн для крепления и юстировки фасет зеркала; 2 — сферическое зеркало; 3 — зона невозврата лучей; 4 — криогенные экраны; 5 — источник лучистой энергии; 6 — кронштейн для крепления источника; 7 — крышка люка

1.6.4 Испытания ЭС на влияние невесомости

Проводят для исследования их работоспособности в условиях невесомости. Для имитации этих условий применяют различные методы. Кратковременное состояние невесомости может быть достигнуто с помощью специально оборудованного самолета, выполняющего маневр по кеплеровским траекториям.

Для проведения точных экспериментов по изучению парообразования, кипения, конденсации, поведения топлива в баках и т.д. необходимо, чтобы возмущающие механические силы (например, вибрации) были устранены. С этой целью применяют «плавающие» контейнеры, внутри которых размещают

испытываемые изделия и контрольно-измерительную аппаратуру. В начале полета контейнер удерживается на упругих растяжках в середине кабины самолета, но по достижении состояния невесомости растяжки отстегиваются и контейнер движется свободно по эллиптической траектории. Если требуется, чтобы перед наступлением невесомости жидкость длительное время не подвергалась внешним возмущениям, для проведения испытания используют вертикальные башни, с которых сбрасывают контейнеры с приборным оборудованием. При поддержании вакуума внутри башни свободно падающее в ней тело находится в состоянии невесомости в течение всего времени падения. Однако контейнер, падая в вакууме, развивает очень большую скорость (около 2100 км/ч) в конце участка падения. Кроме того, для увеличения продолжительности периода невесомости требуется сооружать высокие башни. Поэтому на практике строят башни без вакуумируемой шахты и приемлемой высоты.

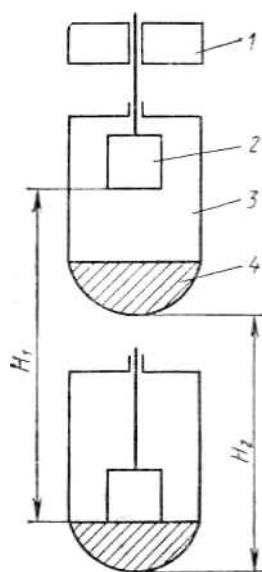


Рисунок 1.45 – Схема падающего капсулированного контейнера:

1 — зажимное устройство; 2 — контейнер с испытываемым изделием и контрольно-измерительной аппаратурой; 3 — вакуумированная капсула; 4 — демпфер: H_1 — высота падения контейнера; H_2 — высота падения капсулы.

Чтобы приблизить условия испытания к условиям невесомости, необходимо уменьшить силу аэродинамического торможения контейнера, отнесенную к единице его массы. С этой целью контейнер с приборным оборудованием помещают внутри верхней части вакуумированной капсулы, которую сбрасывают с вершины башни в обычной атмосфере (рисунок 1.45). По мере торможения капсулы о воздух внутренний контейнер постепенно приближается к переднему концу капсулы, оставаясь все время в состоянии свободного падения. Для реализации описанного метода испытания высота башни должна быть около 300 м, что обеспечивает имитацию невесомости в течение почти 8 с.

Применение ракет и спутников для исследования влияния невесомости позволяет увеличить время проведения научных экспериментов, но значительно удорожает их.

1.6.5 Радиационные воздействия

Электронные средства, работающие в условиях космоса и на объектах, содержащих радиационные установки, могут подвергаться воздействию радиоактивного излучения. Для измерения поглощенной дозы радиоактивного излучения применяется специальная единица — грей. Грей равен поглощенной дозе радиоактивного излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия излучения 1 Дж: $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Воздействие на ЭС радиоактивного излучения приводит к радиационным повреждениям изделий. При этом различают необратимые (остаточные) и обратимые (временные) нарушения.

Необратимые нарушения связаны с изменением структуры применяемых в ЭС материалов и прежде всего полупроводниковых. К таким нарушениям относятся: перегруппировка атомов в кристаллической решетке; появление вакансий; междоузельных атомов, дислокаций; внедрение инородных атомов. *Обратимые нарушения*, например в ИС, наблюдаются при переходе электронов и дырок в неравновесное состояние, которое из-за большой подвижности носителей заряда быстро восстанавливается после прекращения облучения. Тем не менее, и обратимые изменения могут ухудшать параметры ЭС, вызывая увеличение токов утечки и снижение сопротивления изоляционных, полупроводниковых и проводящих материалов технике испытаний под радиационными дефектами обычно понимают только необратимые нарушения.

В зависимости от вида и энергии излучения процессы, приводящие к нарушениям, могут происходить по всему объему применяемого в ЭС материала или только в приповерхностном его слое. Нейтроны и гамма-кванты обладают высокой проникающей способностью, и поэтому вызываемые ими изменения, как правило, носят объемный характер. Естественно, они могут приводить одновременно и к поверхностным изменениям. Альфа-частицы и осколки ядер вследствие малой длины их пробега в веществе воздействуют только на поверхность. Протоны и электроны (бета-излучение) могут приводить к дефектам, как в поверхностном слое, так и в объеме материала, поскольку глубина их проникновения зависит от энергии частиц и возникновения в данном материале вторичных ионизирующих излучений (нейтронов, гамма-квантов и т.д.).

Влияние радиоактивных излучений на электрические свойства полупроводников связано с появлением новых энергетических уровней в запрещенной зоне. Некоторые из них (центры рекомбинации) могут захватывать носители зарядов, в результате чего уменьшается эффективное время жизни последних и заметно ухудшаются основные параметры полупроводниковых приборов и ИС. Интенсивность возникающих при облучении процессов рекомбинации носителей зарядов существенно различна для разных полупроводниковых материалов. Например, на дефектах в кристаллической решетке кремния, облученного нейтронами, рекомбинация в 10 раз активнее, чем на дефектах в облученном германии. Поэтому германий - радиационно более стойкий материал, чем кремний. Как правило, материалы с

меньшим удельным электрическим сопротивлением являются радиационно более стойкими.

Наиболее чувствительны к облучению в полупроводниковых приборах р-п-переходы и область базы. Транзисторы с узкой базой выдерживают большую дозу облучения, чем транзисторы с широкой базой, так как эффективность работы транзистора тем выше, чем меньше рекомбинирует при прохождении через базу инжектированных в нее неосновных носителей. Следовательно, высокочастотные транзисторы радиационно более стойкие, чем низкочастотные.

Наряду с нарушениями структуры материалов при облучении происходит также их нагрев (радиационный разогрев) вследствие преобразования поглощенной энергии радиоактивного излучения в тепловую. В связи с этим в ряде случаев целесообразнее использовать в ЭС материалы, менее стойкие к облучению, но более стойкие к воздействию повышенных температур.

Изменение сток-затворной характеристики полевого транзистора с р-п-переходом после радиоактивного облучения его в реакторе потоками быстрых нейтронов показано на рисунке 1.46, причем кривой с большим порядковым номером соответствует большая энергия излучения. При нулевом напряжении на затворе ширина обедненного слоя у р-п-перехода затвора минимальна, а ток максимален. Максимальный ток в канале транзистора определяется главным образом концентрацией свободных носителей заряда в канале. Поскольку при облучении быстрыми нейтронами эта концентрация уменьшается, уменьшается и максимальный ток. Сток-затворная и стоковая характеристики полевых транзисторов с р-п-переходом практически не зависят от поверхностных эффектов, что определяет их высокую стойкость к радиоактивным излучениям. Предельная поглощенная доза для них может составлять 10^7 Гр.

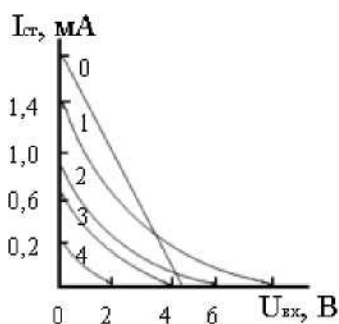


Рисунок 1.46 – Изменение сток-затворной характеристики полевого транзистора при облучении его быстрыми нейтронами: 0 — до облучения; 1-4 — после облучения.

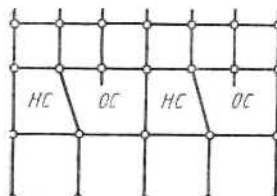


Рисунок 1.47 – Схема образования напряженных (НС) и оборванных (ОС) валентных связей между атомами на границе раздела двух материалов с различными кристаллическими решетками.

Изменение параметров МДП-транзисторов в результате воздействия радиоактивного излучения обусловлено главным образом радиационными дефектами в диэлектрике затвора и на границе диэлектрик-полупроводник. Повышенная концентрация дефектов в переходном слое связана с различием в строении и физических свойств полупроводника и диэлектрика. Контактное взаимодействие двух материалов с различными кристаллическими решетками приводит к возникновению дефектов в виде оборванных и напряженных валентных связей в переходном слое (рисунок 1.47). При воздействии радиационного излучения на структуру диэлектрик - полупроводник наблюдается увеличение плотности поверхностных состояний и образование пространственного заряда в объеме диэлектрика. Плотность наведенного облучением заряда определяется поглощенной дозой ионизирующего излучения, значением и полярностью приложенного к затвору напряжения, концентрацией ловушек. В пленке диоксида кремния в результате облучения происходит накопление положительного пространственного заряда. Это приводит к изменению поверхностной концентрации носителей заряда, образованию поверхностных проводящих каналов, появлению поверхностного тока утечки и уменьшению пробивного напряжения.

Стойкость резисторов к радиоактивному излучению зависит от технологии их изготовления и исходных материалов. Пленочные металлические резисторы обладают большей радиационной стойкостью, чем углеродистые. В свою очередь, резисторы из чистых металлов имеют большую радиационную стойкость, чем резисторы из сплавов или оксидов металлов. Степень радиационных нарушений в пленочных углеродистых резисторах зависит от вида защитного покрытия. Резисторы, впрессованные в пластмассу, противостоят облучению лучше резисторов с корпусами из керамики, стекла и эпоксидной смолы, причем стойкость резисторов повышается, если вместо воздуха корпуса заполнены внутри азотом или гелием.

Диффузионные резисторы ИС подвержены резкому влиянию радиации. Их стойкость существенно зависит от изоляции элементов ИС. Наименее чувствительны к радиоактивному излучению резисторы, с диэлектрической изоляцией, а наиболее чувствительны — резисторы, изолированные р-п-переходом. Это объясняется тем, что обратные включенные р-п-переходы оказывают шунтирующее действие при радиоактивном излучении, так как обратный ток диодов в результате облучения значительно возрастает. Поэтому в ЭС, эксплуатируемых при повышенном уровне радиации, нежелательно применять ИС с изоляцией элементов при помощи обратносмещенных р-п-переходов.

Радиационная стойкость конденсаторов определяется технологией их изготовления и применяемыми материалами. Как показывает практика, органические диэлектрики почти на порядок более чувствительны к радиоактивным излучениям, чем неорганические. Барьерная емкость закрытого р-п-перехода, часто используемая в качестве конденсатора ИС, очень чувствительна к облучению. При больших дозах облучения эта емкость существенно увеличивает время задержки включения логических ИС, а

следовательно, ухудшает их быстродействие. Тонкопленочные структуры типов МДМ и МДП, также используемые в качестве конденсаторов ИС, радиационно более стойки. Наиболее чувствительным параметром тонкопленочных конденсаторов является проводимость диэлектрической пленки, которая при облучении в большинстве случаев увеличивается.

Радиационная стойкость катушек индуктивности определяется в основном степенью повреждения материалов. Катушки индуктивности без сердечника и пленочные спиральные катушки индуктивности наиболее стойки к радиации. За счет радиационного изменения активного сопротивления катушки индуктивности может незначительно измениться только добротность. Однако этот эффект не проявляется при облучении потоками плотностью до $10^{18} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Индуктивность пленочных спиральных катушек с ферромагнитными пленками при облучении в реакторе или на гамма-установке большими дозами (10^5 Гр) уменьшается за счет радиационного изменения магнитной проницаемости сердечников. При таких дозах облучения в катушках индуктивности, покрытых защитными лаками или смолами, происходят механические разрушения конструкции катушек и уменьшение сопротивления изоляции.

1.6.5.1 Источники радиоактивного излучения

В качестве источников радиоактивного излучения в лабораторных условиях применяют ускорители заряженных частиц и ядерные реакторы. В «классических» ускорителях ускоряющее поле создается внешними радиотехническими устройствами (генераторами). В ускорителях с коллективными методами ускорения заряженных частиц ускоряющее поле создается другими заряженными частицами (электронным пучком, электронным кольцом, плазменными волнами). В линейных ускорителях траектории заряженных частиц близки прямой линии, а в циклических ускорителях частицы под действием ведущего магнитного поля (постоянного или изменяющегося во времени) движутся по орбитам, близким к круговым. В резонансных ускорителях ускорение производится высокочастотным электрическим полем и ускоряемые частицы движутся синхронно в резонанс с изменением поля. В нерезонансных — направление поля за время ускорения не изменяется.

Классификация ускорителей заряженных частиц:

1. По способу получения ускоряющего поля:
 - "классические"
 - с коллективными методами ускорения
2. По виду траекторий частиц:
 - линейные
 - циклические
3. По типу ускоряемых частиц:
 - электронные
 - протонные

- ионные

4. По характеру ускоряющего поля:

- резонансные
- нерезонансные (индукционные и высоковольтные)

Увеличение энергии частиц в ускорителях происходит за счет действия на них сил электрического поля. Большую кинетическую энергию заряженные частицы могут получать в результате: однократного прохождения ускоряющего зазора, к которому приложена большая разность потенциалов; движения в вихревом электрическом поле; многократного прохождения ускоряющего зазора, к которому приложена сравнительно невысокая разность потенциалов (частицы возвращаются в область ускоряющего зазора поперечным магнитным полем).

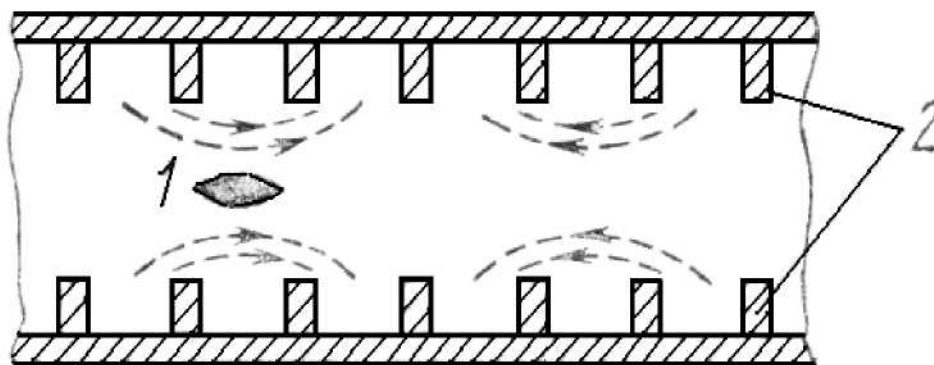


Рисунок 1.48 – Диафрагмированный волновод с бегущей волной:

1 — ускоряемый сгусток электронов; 2 — диафрагмы; штриховыми линиями показано распределение магнитного поля.

В электростатических ускорителях линейного типа ускорение заряженных частиц осуществляется в ускорительной линии.

Ускорительная линия представляет собой вакуумную трубку с расположенными в ее торцах электродами, к которым прикладывается высокая разность потенциалов. Остаточное давление газа в ускорительной трубке должно быть довольно низким, чтобы при работе в ней не возникал газовый разряд. Поскольку и функционировании ускорителя происходит непрерывное газовыделение элементами конструкции трубки и натекание газа из ионного источника, ускорительные трубки работают при непрерывной откачке высокопроизводительными насосами. В качестве источников ионов в настоящее время применяют источники с холодным катодом и источники с высокочастотным разрядом, в которых происходит ионизация газа. Образовавшиеся ионы с помощью специальной системы электродов формируются в пучок, попадают в ускорительную трубку, где приобретают высокую энергию.

Электростатические ускорители нашли широкое применение при проведении радиационных испытаний ЭС для получения энергии заряженных частиц в диапазоне 1...12 МэВ. Кроме того, их используют для инъекции заряженных частиц в другие, более крупные ускорители.

Волноводный ускоритель линейного типа позволяет получить более

высокую энергию заряженных частиц, в частности электронов. Ускоряющей системой в нем служит цилиндрический диафрагмированный волновод (рисунок 1.48).

Циклические ускорители работают на принципе ускорения заряженных частиц, движущихся по окружности под действием магнитного поля. При этом частицы набирают большую конечную энергию благодаря многократному прохождению ими ускоряющего зазора, к которому приложена сравнительно небольшая разность потенциалов. Траектории частиц в циклических ускорителях имеют различную форму (рисунок 1.49). В современных циклических ускорителях используют постоянные или переменные управляющие магнитные поля.

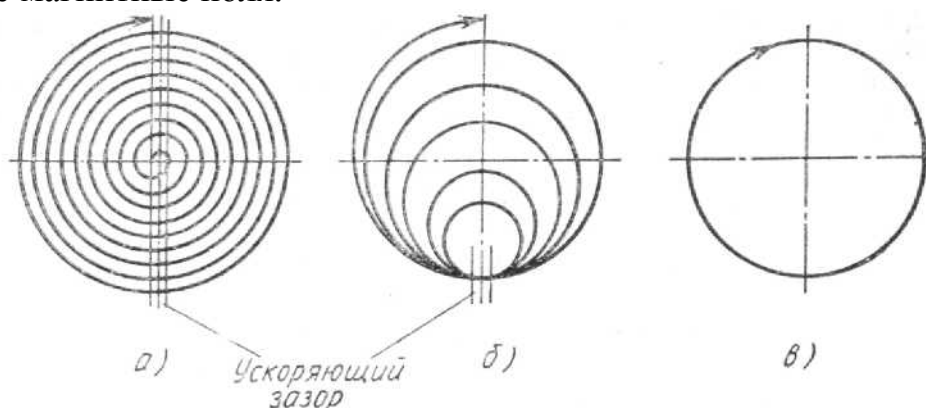


Рисунок 1.49 – Идеальная траектория заряженных частиц в некоторых циклических ускорителях:

а — спиральная (циклотрон); б — спиральная (микротрон); в — круговая (бетатрон).

К циклическим ускорителям с постоянным во времени магнитным полем относятся циклотроны, фазотроны (синхроциклотроны) и микротроны.

Циклотрон предназначен для циклического ускорения тяжелых частиц — протонов и ионов. Частота ускоряющего электрического поля в нем постоянна во времени. Движение частиц в циклотроне происходит по спирали (рисунок 1.49, а), разворачивающейся от центра к периферии вакуумной камеры ускорителя. Ускоряемые частицы дважды за период обращения проходят ускоряющий зазор. Ускоренные частицы выводятся из вакуумной камеры с помощью специального устройства, называемого дефлектором, и далее попадают в вакуумную трубку ионопровода, по которому направляются к месту использования. С помощью циклотрона протонам можно сообщать энергию 20...25МэВ.

Фазотрон, или синхроциклотрон, — циклический резонансный ускоритель тяжелых частиц. Движение частиц в фазотроне, как и в циклотроне, происходит по раскручивающейся спирали. В фазотроне для обеспечения резонанса частота ускоряющего электрического поля изменяется синхронно с изменением частоты обращения частиц. Благодаря этому в данном ускорителе может быть получена значительно большая энергия, чем в циклотроне. Ускоренные частицы выводятся из вакуумной камеры к месту использования аналогично способу, рассмотренному в циклотроне.

К циклическим ускорителям с изменяющимся во времени управляющим магнитным полем относятся бетатрон, синхротрон и синхрофазотрон. *Бетатрон* — циклический индукционный ускоритель; предназначенный для ускорения бета-частиц, т. е. электронов.

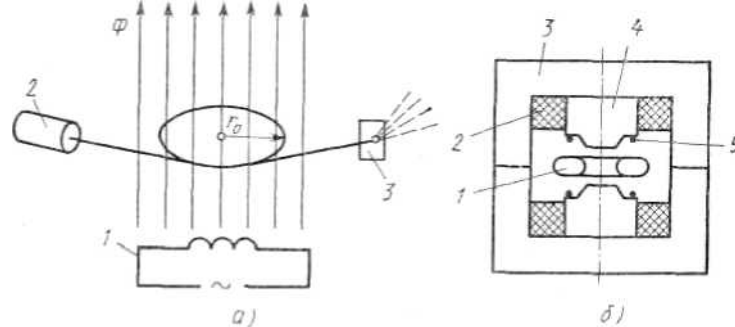


Рисунок 1.50 – Конструкция бетатрона:

а — к пояснению принципа действия (1 — катушка возбуждения; 2 — инжектор; 3 — мишень); б — конструкция (1 — вакуумная камера; 2 — обмотка возбуждения; 3 — магнитопровод; 4 — полюсные наконечники; 5 — смещающие обмотки).

Принцип работы бетатрона поясняет рисунок 1.50, а. Частицы, вылетающие из инжектора 2, попадают в переменное магнитное поле Φ , двигаясь в котором по круговой орбите они увеличивают свою энергию под действием вихревого электрического поля. Ускорение электронов при движении по орбите происходит за время нарастания магнитного поля от нуля до максимального значения, т. е. за четверть периода. Направление ускоряющего вихревого электрического поля в течение этого промежутка времени не меняется. За время ускорения электрон успевает сделать огромное (до нескольких миллионов) число оборотов по круговой орбите постоянного радиуса r_0 , так называемой равновесной орбите. Хотя энергия, приобретаемая электроном за один оборот, невелика, конечное значение энергии оказывается очень большим. Ускоренные электроны выводятся на мишень 3.

По принципу действия бетатрон аналогичен обычному трансформатору, поэтому не случайно их конструктивное сходство (рисунок 1.50, б). Катушка возбуждения соответствует первичной обмотке трансформатора, а роль вторичной обмотки выполняет электронный луч. Число оборотов, совершаемых электронами в процессе ускорения, соответствует числу витков вторичной обмотки. Ускорение электронов осуществляется в вакуумной камере тороидальной формы. По окончании цикла ускорения электроны должны быть смещены с равновесной орбиты для бомбардировки мишени, установленной в вакуумной камере (для бетатронов, предназначенных для генерирования жесткого рентгеновского излучения), или выведены из камеры в атмосферу (для бетатронов, служащих в качестве источников электронов высокой энергии) через выводное устройство (например, дефлектор). Бетатрон может ускорять электроны до энергий 100... 300 МэВ. Однако ввиду громоздкости его конструкции для энергий выше 100 МэВ предпочтительнее использовать синхротрон.

Синхротрон — циклический резонансный ускоритель электронов, ускорение частиц в котором осуществляется высокочастотным электрическим

полем постоянной частоты, а управление траекторией их движения в вакуумной камере — переменным магнитным полем. Поскольку в процессе повышения энергии частиц магнитное поле на орбите ускорителя также нарастает, радиус орбиты электронов остается постоянным. Магнитное поле в синхротроне обеспечивает устойчивое движение электронов по орбите постоянного радиуса. Синхротроны позволяют повышать энергию электронов до 5.. 10ГэВ.

Максимальная энергия частиц достигается в синхрофазотронах. *Синхрофазотрон* — циклический резонансный ускоритель протонов (или ионов), в котором частота ускоряющего электрического поля меняется во времени так, чтобы частицы под действием переменного магнитного поля двигались по орбите с постоянным радиусом, т. е. по равновесной орбите. Конструктивно синхрофазотрон аналогичен синхротрону.

В синхрофазотронах применяют ускоряющие устройства двух типов: объемные резонаторы и дрейфовые трубки. Резонаторы используют для перестройки частоты ускоряющего напряжения в сравнительно небольших пределах. Сечение одной из конструкций такого резонатора показано на рисунке 1.49,а. Для регулирования частоты в полости резонатора устанавливают ферритовые кольца, играющие роль дополнительной индуктивности. Регулировку частоты осуществляют изменением намагничивающего тока.

Дрейфовая трубка (рисунок 1.51,б) состоит из трех цилиндров круглого и эллиптического сечения: длинного (среднего) и двух коротких (крайних). При подаче на трубку высокочастотного напряжения в зазорах между цилиндрами образуются переменные электрические поля, направленные встречно. При указанной на рисунке 1.51,б полярности приложенного к электродам напряжения частица, попавшая в левый зазор, ускоряется и попадает в средний цилиндр. За время ее движения через него полярность электродов меняется на противоположную, поэтому в правом зазоре частица также ускоряется. Дрейфовая трубка входит в резонансный контур входного усилительного каскада высокочастотного генератора. Частота ускоряющего напряжения на зазорах дрейфовой трубки регулируется с помощью индуктивности, включенной в резонансный контур. Значение индуктивности, выполненной в виде катушки с ферритовым сердечником, зависит от силы намагничивающего тока.

В настоящее время в эксплуатации находятся синхрофазотроны с энергией частиц до 500 ГэВ (США). Предельная энергия частиц в синхрофазотроне лимитируется себестоимостью ускорителя.

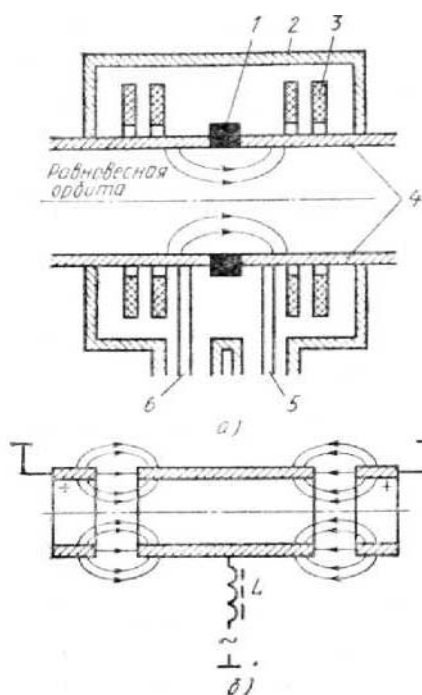


Рисунок 1.51 – Сечение ускоряющего синхрофазотрона:

а — объемный резонатор (1 — изолятор; 2 — корпус резонатора; 3 — ферритовые кольца; 4 — вакуумная камера; 5, 6 — коаксиальные кабели); б — дрейфовая трубка.

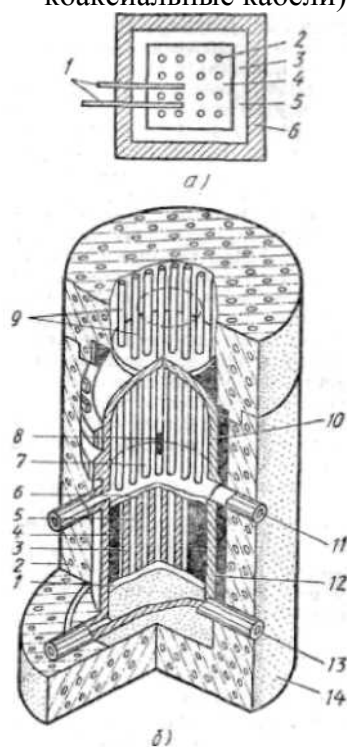


Рисунок 1.52 – Гетерогенный ядерный реактор на тепловых нейтронах:

а — схематический разрез (1 — регулирующие стержни; 2 — блок с топливом; 3 — активная зона; 4 — замедлитель нейтронов; 5 — отражатель нейтронов; 6 — защитное устройство); б — конструкция (1 — нижняя опорная плита; 2 — каналы охлаждения биологической защиты; 3 — тепловыделяющий элемент; 4 — корзина реактора; 5 — автоматически регулирующий стержень; 6 — верхняя опорная плита; 7 — компенсирующий стержень; 8 — стержень аварийной защиты; 9 — тяги системы управления и защиты; 10 — крышка реактора; 11 — трубопровод для выхода теплоносителя; 12 — корпус реактора; 13 — трубопровод для входа теплоносителя; 14 — биологическая защита).

Ядерные реакторы применяют наряду с ускорителями заряженных частиц для испытания ЭС на воздействие радиоактивных излучений. В реакторах происходит управляемая цепная ядерная реакция деления, приводящая к излучению интенсивного потока нейтронов и гамма-излучению. По принципу работы все реакторы делятся на импульсные (развивающие большую мощность при очень малом времени функционирования — $10^{-5} \dots 10^{-2}$ с) и статические (длительного действия).

Любой ядерный реактор состоит из активной зоны, отражателя, систем регулирования, контроля, охлаждения и биологической защиты. В активной зоне, где находится ядерное топливо, протекает цепная ядерная реакция с выделением энергии, главным образом тепловой. В качестве делящегося вещества в ядерном реакторе применяют природное ядерное топливо — уран, который содержит делящиеся ядра ^{235}U , обеспечивающие поддержание цепной реакции; и «сырьевые» ядра ^{238}U , способные захватывать нейтроны и превращаться в новые делящиеся ядра ^{239}Pu , не существующие в природе (вторичное горючее). К вторичному горючему относятся также ядра ^{233}U . Если активная зона кроме ядерного топлива включает замедлитель нейтронов (графит, воду и другие вещества, содержащие легкие ядра), то основная часть делений происходит под действием тепловых нейтронов — ядерный реактор на тепловых нейтронах. Замедлитель позволяет получить нейтроны с низкими энергиями, равными тепловым (около $25 \cdot 10^{-4}$ эВ). Если же замедлителя в активной зоне нет, то основная часть делений вызывается быстрыми нейтронами с энергией, превышающей 10 кэВ, — быстрый реактор.

По конструкции ядерные реакторы делятся на гомогенные и гетерогенные. В гомогенных реакторах ядерное топливо и замедлитель представляют однородную смесь (раствор или суспензию). В гетерогенных ядерное топливо распределено в активной зоне дискретно по блокам, между которыми находится замедлитель нейтронов (рисунок 1.52,а). В наиболее распространенных ядерных реакторах блоки с ядерным топливом в виде стержней, называемых тепловыделяющими элементами, образуют правильную решетку. Конструкция гетерогенного ядерного реактора на тепловых нейтронах представлена на рисунке 1.52, б.

Мощность ядерного реактора в основном зависит от возможности быстрого отвода тепла, выделяющегося в активной зоне. Управление реактором, поддержание реакции и мощности на заданном уровне, пуск и остановку производят специальными подвижными управляющими стержнями, изготовленными из материалов, интенсивно поглощающих тепловые нейтроны. Перемещением стержней управляют дистанционно с пульта управления. При небольшом перемещении стержней от положения, соответствующего критическому состоянию реактора, цепной процесс либо развивается, либо затухает, т. е. мощность потока нейтронов в активной зоне можно регулировать. Если стержни ввести глубоко в активную зону, поглощение в них нейтронов будет настолько велико, что цепной процесс станет невозможен.

Испытываемые изделия при помощи манипулятора вводят в активную зону либо через вертикальный канал, разрез которого показан на рисунке

1.52,б, либо через специально сделанный для этих целей боковой горизонтальный канал.

Основными характеристиками излучения тепловых ядерных реакторов, которыми необходимо располагать при испытании изделий, являются следующие: поток нейтронов в месте расположения испытываемого изделия; энергетическое распределение нейтронов; экспозиционная доза гамма-излучения и ее максимальная мощность; энергетическое распределение гамма-квантов. Для реакторов быстрых частиц, которые могут работать также и в импульсном режиме, к указанным характеристикам добавляются форма и длительность нейтронного импульса и импульса гамма-излучения.

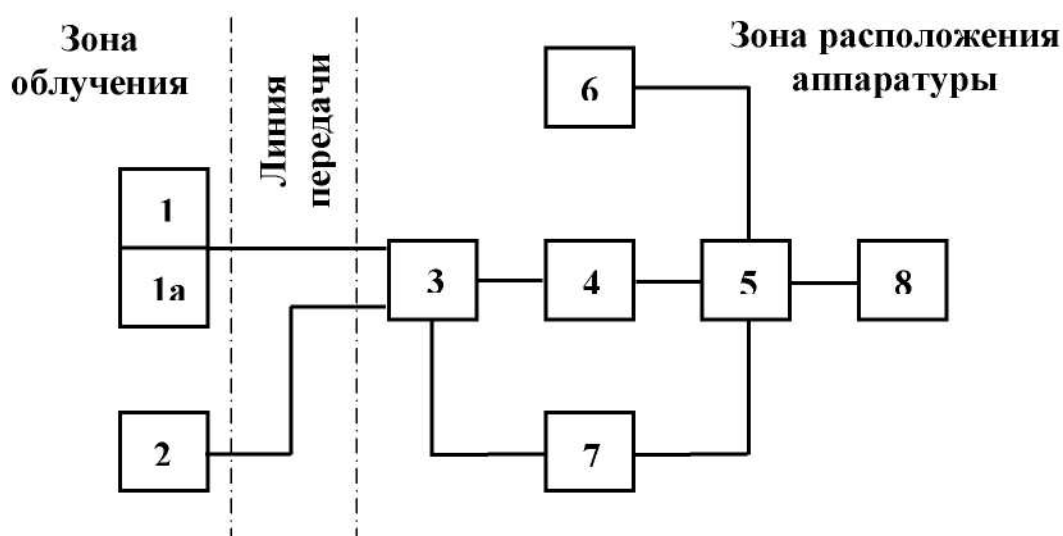


Рисунок 1.53 – Структурная схема испытательного комплекса:

1 — испытываемые изделия; 1а — дозиметры и датчики температуры; 2 — блок датчиков; 3 — блок коммутации и согласования; 4 — регистрирующая аппаратура; 5 — командный блок; 6 — вспомогательная аппаратура; 7 — блок измерений; 8 — блок питания.

Радиационное испытание ЭС. Испытание проводят с целью проверки работоспособности и сохранения внешнего вида ЭС в соответствии с НТД (требования ТЗ и ТУ) во время и после воздействия радиации. Испытание проводят в электрических режимах, оговоренных в стандартах и программах испытаний, по специально разработанной методике, которая составляется на каждый вид радиоактивного излучения. При выборе контролируемых параметров необходимо исходить из требования получения максимального объема информации и из технологических возможностей методов измерения параметров ЭС в условиях облучения.

Испытательный комплекс, схема одного из возможных вариантов которого приведена на рисунке 1.53, должен обеспечивать одновременное испытание выбранного числа образцов, дистанционное измерение и регистрацию контролируемых параметров. Состав блоков комплекса и их функции определяются видом испытаний, типом моделирующего источника радиоактивного излучения и характеристиками контролируемого параметра.

Блок датчиков содержит датчик формы импульса гамма-излучения и

датчик импульса запуска регистрирующей аппаратуры (электронных осциллографов). Этот блок необходим только при импульсных источниках излучения. В качестве датчика формы импульса служит фотоэлектронный умножитель с фотолуминесцентным кристаллом. Датчик импульса запуска электронных осциллографов вместе с блоком согласования обеспечивают запуск разверток с опережением сигнала реакции ЭС на излучение, что необходимо для качественной записи импульса реакции и его фронта. Опережение определяется временем срабатывания схемы развертки осциллографа и длительностью фронта импульса воздействующего излучения.

Блок коммутации и согласования обеспечивает переключение каналов регистрации параметров ЭС на одно регистрирующее устройство при проведении испытания на статическом ядерном реакторе и временное согласование сигналов от испытываемых изделий и сигналов на запуск регистрирующей аппаратуры при испытании на импульсной моделирующей установке. Командный блок предназначен для программного автоматического или ручного управления работой аппаратуры измерительного комплекса. Вспомогательная аппаратура служит для градуировки осциллографов и проверки измерительных трактов.

Измерение температуры окружающей среды или корпусов изделий следует проводить в случае ожидаемого нарушения температурного режима изделий за счет радиационного разогрева или повышенной температуры в зоне облучения. Датчики и блок измерения, температуры обеспечивают одновременное измерение и регистрацию ее в заданном диапазоне. Они должны быть нечувствительны или мало чувствительны к воздействию проникающих излучений. Обычно для этих целей используют термопары.

1.6.5.2 Организация защиты от радиационных излучений

При работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений важное значение имеет правильная организация защиты от радиационных излучений, обеспечивающая безопасность обслуживающей персонала.

Наиболее просто осуществляется *защита от альфа- и бета-излучений*. Так как длина пробега альфа-частиц испускаемых радиоактивными веществами, в воздухе составляет 8...9 см, то обслуживающему персоналу достаточно находиться на расстоянии 9... 10 см от источника радиоактивного излучения. В случае бета-излучения обслуживающий персонал должен находиться за специальными ширмами (экранами) или в специальных защитных шкафах с толщиной стенок, превышающей максимальный пробег бета-частиц. В качестве защитных материалов используют плексиглас, алюминий или стекло.

Защитные устройства от гамма-излучения и нейтронов представляют собой довольно громоздкие сооружения; толщина применяемых для защиты материалов (бетон, свинец, песок и др.) может достигать нескольких десятков и даже сотен сантиметров (например, для защиты ядерного реактора). Защита должна проектироваться с коэффициентом запаса, равным двум. Поэтому

мощность дозы излучения за защитой $P = D_{\text{дон}}/(2t)$, где $D_{\text{дон}}$ — предельно допустимая доза, выражаемая в зивертах в неделю (Зв/нед); t — время облучения в неделю.

Входная дверь в помещение, где размещена установка радиоактивного излучения, должна быть обязательно снабжена блокирующим устройством, препятствующим входу при включенной установке. Кроме того, должно быть предусмотрено устройство для принудительного дистанционного перемещения источника излучения в положение хранения в случае аварии. Все манипуляции с источниками гамма- и нейтронного излучения следует производить при помощи длинных захватов и держателей.

Необходимо периодически производить контроль эффективности защиты по дозиметрическим приборам, так как с течением времени она может частично утратить свои защитные свойства вследствие нарушения целостности (появления микротрещин в бетонных ограждениях, вмятин, разрывов свинцовых листов и т.д.).

Изделия, подвергшиеся облучению, в зависимости от степени его активности и необходимости последующего анализа должны быть либо перегружены в места, предусмотренные для выдержки образцов после облучения, либо разрушены в установленном порядке.

РАЗДЕЛ 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ РЭСИ НА НАДЕЖНОСТЬ

2.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О НАДЕЖНОСТИ

2.1.1 Характеристика РЭСИ как объекта теории надежности.

При анализе и оценке надежности в радиоэлектронике, конкретные РЭСИ именуется обобщенным понятием «объект».

Объект - это предмет определенного целевого назначения, рассматриваемый в периоды проектирования, производства, эксплуатации, изучения, исследования и испытаний на надежность. Объектами могут быть как системы, так и отдельные РЭСИ и их элементы.

При расчетах и анализе надежности широко используются термины «элемент» и «система». Под элементом понимается часть сложного объекта, которая имеет самостоятельную характеристику надежности, используемую при расчетах и выполняющую определенную частную функцию в интересах сложного объекта, который по отношению к элементу представляет собой систему.

Каждый объект характеризуется рядом выходных качественных параметров, допустимые значения которых в процессе эксплуатации оговорены в нормативно-технической (стандарты, технические условия) и (или) конструкторской документации.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 надежность трактуется как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

С позиций надежности объект может находиться в следующих технических состояниях:

- исправное;
- неисправное;
- работоспособное;
- неработоспособное;
- предельное.

Исправное состояние. Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Неисправное состояние. Состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Работоспособное состояние. Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Неработоспособное состояние. Состояние объекта, при котором значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Предельное состояние. Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Для сложных объектов возможно наличие нескольких работоспособных состояний, отличающихся уровнем эффективности применения объекта. Возможно также наличие нескольких неработоспособных состояний, при этом из всего множества неработоспособных состояний выделяют частично неработоспособные состояния, при которых объект способен частично выполнять требуемые функции.

Понятие "исправное состояние" является более «жестким» по отношению к объему требований, предъявляемых к объекту, чем понятие «работоспособное состояние» (рисунок 2.1). Исправный объект всегда работоспособен. Работоспособный объект, в отличие от исправного, удовлетворяет не всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации, а лишь тем, которые обеспечивают его нормальное функционирование. При этом он может не удовлетворять, например, требованиям, относящимся к его внешнему виду. Работоспособный объект может быть неисправным, однако, его повреждения при этом не настолько существенны, чтобы они могли препятствовать функционированию объекта.



Рисунок 2.1 – Соотношение понятий «исправное состояние», «работоспособное состояние».

Переход объекта из одного вышестоящего технического состояния в нижестоящее обычно происходит вследствие событий: *повреждений* или *отказов*. Совокупность фактических состояний объекта и возникающих событий, способствующих переходу в новое состояние, охватывает так называемый жизненный цикл объекта, который протекает во времени и имеет определенные закономерности, изучаемые в теории надежности.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Отказ - это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Переход объекта из исправного состояния в неисправное не связан с отказом.

Как правило, теория надежности рассматривает объект с точки зрения вероятности возникновения отказа, поэтому необходимо дать классификацию отказов.

Таблица 2.1 – Классификация отказов

Отказы	
1. По характеру изменения выходного параметра объекта до момента возникновения отказа	1) внезапные отказы 2) постепенные (износные) отказы 3) сложные отказы
2. По возможности последующего использования объекта после возникновения отказа	1) полные отказы 2) частичные отказы
3. По связи между отказами объекта	1) независимые отказы 2) зависимые отказы
4. По устойчивости состояния неработоспособности.	1) устойчивые отказы 2) самоустраняющиеся отказы 3) сбои 4) перемежающиеся отказы
5. По наличию внешних проявлений отказа	1) явные отказы 2) скрытые отказы
6. По причине возникновения отказа	1) конструктивные отказы 2) производственные отказы 3) эксплуатационные отказы 4) деградационные отказы
7. По природе происхождения отказа	1) естественные отказы 2) искусственные отказы 3) отказы при испытаниях 4) приработочные отказы
8. По времени возникновения отказа	1) отказы периода нормальной эксплуатации 2) отказы последнего периода эксплуатации
9. По возможности устранения отказа	1) устранимые отказы 2) неустранимые отказы
10. По критичности отказа	1) критические отказы 2) некритические отказы

Постепенные (износные) отказы возникают в результате постепенного протекания того или иного процесса повреждения, прогрессивно ухудшающего выходные параметры объекта.

Внезапные отказы возникают в результате сочетания неблагоприятных факторов и случайных внешних воздействий, превышающих возможности объекта к их восприятию. Внезапные отказы характеризуются скачкообразным характером перехода объекта из работоспособно в неработоспособное состояние.

Сложный отказ включает особенности двух предыдущих отказов.

К *полным отказам* относятся отказы, после которых использование объекта по назначению невозможно (для восстанавливаемых объектов - невозможно до проведения восстановления).

Частичные отказы - отказы, после возникновения которых объект может быть использован по назначению, но с меньшей эффективностью или когда вне допустимых пределов находятся значения не всех, а одного или нескольких выходных параметров.

Независимый отказ - отказ, не обусловленный другими отказами или повреждениями объекта.

Зависимый отказ - отказ, обусловленный другими отказами или повреждениями объекта.

Устойчивые отказы - отказы, которые можно устранить только путем восстановления (ремонта).

Отказы, устраняемые без операций восстановления путем регулирования или саморегулирования, относятся к *самоустраняющимся*.

Сбой - самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

Перемежающийся отказ - многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

Явный отказ - отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе его применения по назначению.

Скрытый отказ - отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики.

Большинство параметрических отказов относятся к категории скрытых.

Конструктивный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования.

Производственный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии.

Эксплуатационный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Деградационный отказ - отказ, обусловленный естественным процессом

старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Искусственные отказы вызываются преднамеренно, например, с исследовательскими целями, с целью необходимости прекращения функционирования и т.п.

Отказы, происходящие без преднамеренной организации их наступления в результате направленных действий человека (или автоматических устройств), относятся к категории *естественных отказов*.

Для правильной оценки отказа вводят понятие критерия отказа.

Критерий отказа - признак или совокупность признаков неработоспособного состояния объекта, установленных в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Типичные критерии отказов:

- прекращение выполнения объектом заданных функций (отказ функционирования); снижение качества функционирования по одному или нескольким из выходных параметров (производительность, мощность, точность и др.) за пределы допускаемого уровня;
- искажения информации на выходе объектов, имеющих в своем составе ЭВМ или другие устройства дискретной техники из-за сбоев;
- внешние проявления, связанные с наступлением или предпосылками наступления неработоспособного состояния (шум, вибрации, перегрев и др.).

В ГОСТ 15467-79 введено еще одно понятие, отражающее состояние объекта - *дефект*. Дефектом называется каждое отдельное несоответствие объекта установленным нормам или требованиям. Дефект отражает состояние отличное от отказа. В соответствии с определением отказа, как события, заключающегося в нарушении работоспособности, предполагается, что до появления отказа объект был работоспособен. Отказ может быть следствием развития неустранимых повреждений или наличия дефектов: царапин; потертости изоляции; небольших деформаций.

По признаку стадии происхождения дефекты можно разделить на три группы:

1. *Дефекты (ошибки) проектирования*. Сюда можно отнести:

- недостаточную виброзащищенность РЭСИ;
- наличие повышенных напряжений на ЭРЭ;
- неправильный выбор материалов;
- неправильное определение предполагаемого уровня эксплуатационных нагрузок.

2. *Дефекты изготовления (производственные)*. К ним можно отнести:

- дефекты ЭРЭ;
- дефекты механической обработки;
- дефекты пайки;
- дефекты термообработки;
- дефекты сборки.

3. *Дефекты эксплуатации*. Сюда можно отнести:

- нарушение условий применения;
- неправильное техническое обслуживание и ремонт;
- наличие перегрузок и непредвиденных нагрузок;
- применение некачественных эксплуатационных материалов.

Учитывая все вышесказанное можно дать более обобщенную характеристику надежности.

Надежность - сложное обобщенное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя *безотказность*, *долговечность*, *ремонтпригодность*, *сохраняемость* или определенные сочетания этих частных свойств, охватываемых понятием «надежность».

Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или *наработки*.

Под *наработкой* понимается продолжительность или объем работы объекта. Размерность наработки определяется видом объекта и особенностями его применения, например, наработка двигателя измеряется в моточасах, автомобиля - в километрах пробега, станка-автомата - количеством обработанных деталей, реле - количеством циклов срабатывания и т. п. Нарботка может определяться до отказа, между отказами, до наступления предельного состояния или до некоторого фиксированного момента времени.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Основное отличие понятий «безотказность» и «долговечность» состоит в том, что понятие «безотказность» предполагает как бы самостоятельную работу объекта без какого-либо вмешательства извне для поддержания его работоспособности. Понятие «долговечность» предполагает рассмотрение работоспособности объекта за весь период его эксплуатации и учитывает, что длительная работа объекта (особенно сложного) невозможна без проведения мероприятий по поддержанию и восстановлению его работоспособности, утрачиваемой в процессе эксплуатации.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта. Ремонтпригодность объекта характеризуется оперативной продолжительностью (трудоемкостью) операций обнаружения отказа, поиска его причин и устранения причин и последствий отказа.

Сохраняемость - свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования. Это свойство особенно важно для объектов, для которых предусмотрена сезонная эксплуатация или которые применяют по назначению в аварийных или особых. Номенклатура и классификация показателей надежности. Характеристика основных показателей надежности и их статистическое определение.

2.1.2 Номенклатура и классификация показателей надежности. Характеристика основных показателей надежности и их статистическое определение.

Показатель надежности - количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Эти показатели позволяют проводить расчетно-аналитическую оценку количественных характеристик отдельных свойств при выборе различных схемных и конструктивных вариантов объектов при их разработке, испытаниях и в условиях эксплуатации.

Под номенклатурой показателей надежности понимают состав показателей, необходимый и достаточный для характеристики объекта или решения поставленной задачи. Полный состав номенклатуры показателей надежности, из которой выбираются показатели для конкретного объекта и решаемой задачи, установлен ГОСТ 27.002-89.

Показатели надежности принято классифицировать по следующим признакам:

1. *По свойствам надежности различают:*

- показатели безотказности;
- показатели долговечности;
- показатели ремонтпригодности;
- показатели сохраняемости.

2. *По числу свойств надежности, характеризуемых показателем, различают:*

- единичные показатели (характеризуют одно из свойств надежности);
- комплексные показатели (характеризуют одновременно несколько свойств надежности, например, безотказность и ремонтпригодность).

3. *По числу характеризуемых объектов различают:*

- групповые показатели;
- индивидуальные показатели;
- смешанные показатели.

Групповые показатели — показатели, которые могут быть определены и установлены только для совокупности объектов; уровень надежности отдельного экземпляра объекта они не регламентируют.

Индивидуальные показатели - показатели, устанавливающие норму надежности для каждого экземпляра объекта из рассматриваемой совокупности (или единичного объекта).

Смешанные показатели могут выступать как групповые или индивидуальные.

4. *По источнику информации для оценки уровня показателя различают:*

- расчетные показатели;
- экспериментальные показатели;
- эксплуатационные показатели;
- экстраполированные показатели;

Экстраполированный показатель надежности - показатель надежности,

точечная или интервальная оценка которого определяется на основании результатов расчетов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путем экстраполяции на другую продолжительность эксплуатации и другие условия эксплуатации.

5. По размерности показателя различают показатели, выражаемые:

- наработкой;
- сроком службы;
- безразмерные (в том числе, вероятности событий).

На стадиях экспериментальной отработки, испытаний и эксплуатации, как правило, роль показателей надежности выполняют статистические оценки соответствующих вероятностных характеристик. В целях единообразия все показатели надежности, в соответствии с ГОСТ 27.002-89, определяются как вероятностные характеристики. В данном пособии отказ объекта рассматривается как случайное событие, то есть заданная структура объекта и условия его эксплуатации не определяют точно момент и место возникновения отказа.

2.1.2.1 Основные показатели безотказности для невосстанавливаемых объектов

Вероятность безотказной работы - это вероятность того, что в пределах заданий наработки отказ объекта не возникает. На практике этот показатель определяется статистической оценкой:

$$\tilde{P}(t) = \frac{N_0 - nt}{N_0} \quad (2.1.1)$$

где N_0 - число однотипных объектов, поставленных на испытания (находящихся под контролем); во время испытаний отказавший объект не восстанавливается и не заменяется исправным;

$n(t)$ - число отказавших объектов за время t .

Из определения вероятности безотказной работы видно, что эта характеристика является функцией времени, причем она является убывающей функцией и может принимать значения от 1 до 0.

График вероятности безотказной работы объекта изображен на рисунке 2.2

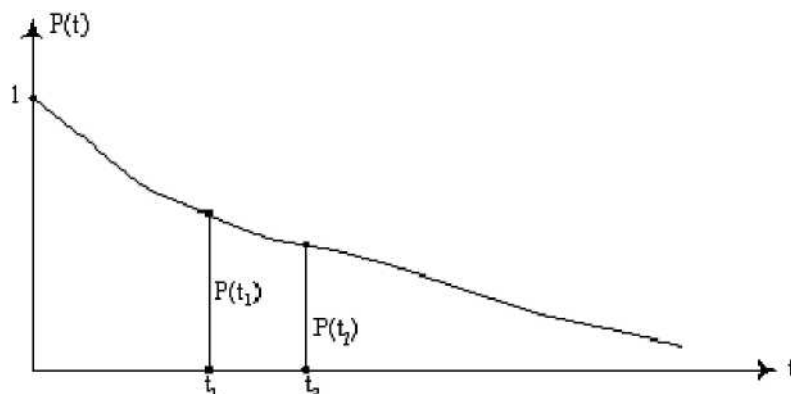


Рисунок 2.2 – График вероятности безотказной работы объекта.

Как видно из графика, функция $P(t)$ характеризует изменение надежности во времени и является достаточно наглядной оценкой

Иногда практически целесообразно пользоваться не вероятностью безотказной работы, а вероятностью отказа $Q(t)$. Поскольку работоспособность и отказ являются состояниями несовместимыми и противоположными, то их вероятности связаны зависимостью:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (2.1.2)$$

Согласно законам теории вероятности вероятность безотказной работы можно определить по формуле:

$$p(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt, \quad (2.1.3)$$

где $f(t)$ - плотность вероятности (согласно закона распределения).

Таким образом, зная плотность вероятности $f(t)$, легко найти искомую величину $P(t)$.

Связь между $P(t)$, $Q(t)$ и $f(t)$ можно интерпретировать, как показано на рисунке 2.3.

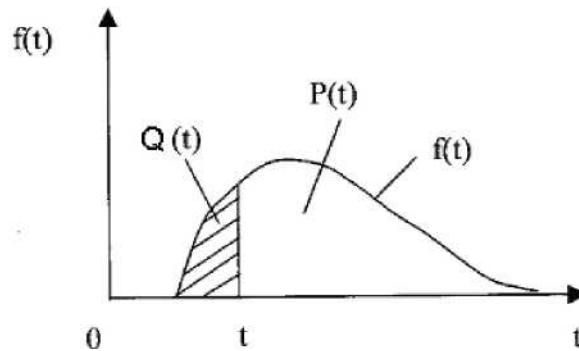


Рисунок 2.3 – Графическая интерпретация вероятности безотказной работы и вероятности отказа.

Отметим, что не всегда в качестве наработки выступает время (в часах, годах). К примеру, для оценки вероятности безотказной работы коммутационных аппаратов с большим количеством переключений в качестве переменной величины наработки целесообразно брать количество циклов "включить" - "выключить". При оценке надежности скользящих контактов удобнее в качестве наработки брать количество проходов токоприемника по этому контакту, а при оценке надежности движущихся объектов наработку целесообразно брать в километрах пробега. Суть математических выражений оценки $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$ при этом остается неизменной.

Средней наработкой до отказа называется математическое ожидание наработки объекта до первого отказа T_1 .

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (2.1.4)$$

Таким образом, средняя наработка до отказа равна площади, образованной кривой вероятности безотказной работы $P(t)$ и осями координат.

Статистическая оценка для средней наработки до отказа определяется по формуле

$$\tilde{T}_1 = \frac{1}{N_0} \sum_j^{N_0} t_j \quad (2.1.5)$$

где N_0 - число работоспособных однотипных невосстанавливаемых объектов при $t = 0$ (в начале испытания);

t_j - наработка до отказа j -го объекта.

Отметим, что как и в случае с определением $P(t)$ средняя наработка до отказа может оцениваться не только в часах (годах), но и в циклах, километрах пробега и другими аргументами.

Интенсивность отказов - это условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не наступил. Из вероятностного определения следует, что

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - Q(t)}. \quad (2.1.6)$$

Статистическая оценка интенсивности отказов имеет вид:

$$\tilde{\lambda}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp.i} \cdot \Delta t_i} \quad (2.1.7)$$

где $n(\Delta t_i)$ - число отказов однотипных объектов на интервале Δt_i , для которого определяется интенсивность отказов;

$N_{cp.i}$ - число работоспособных объектов в середине интервала Δt_i (см. рисунок 2.4).

$$N_{cp.i} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2} \quad (2.1.8)$$

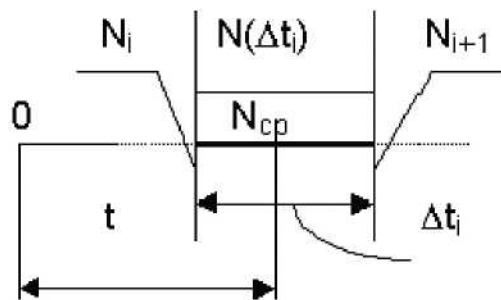


Рисунок 2.4 – Схема для определения N_{cp} :

N_i - число работоспособных объектов в начале интервала Δt_i ;

N_{i+1} - число работоспособных объектов в конце интервала Δt_i .

Если при статистической оценке интенсивности отказов время эксперимента разбить на достаточно большое количество одинаковых интервалов Δt за длительный срок, то результатом обработки опытных данных будет график, изображенный на рисунке 2.5.

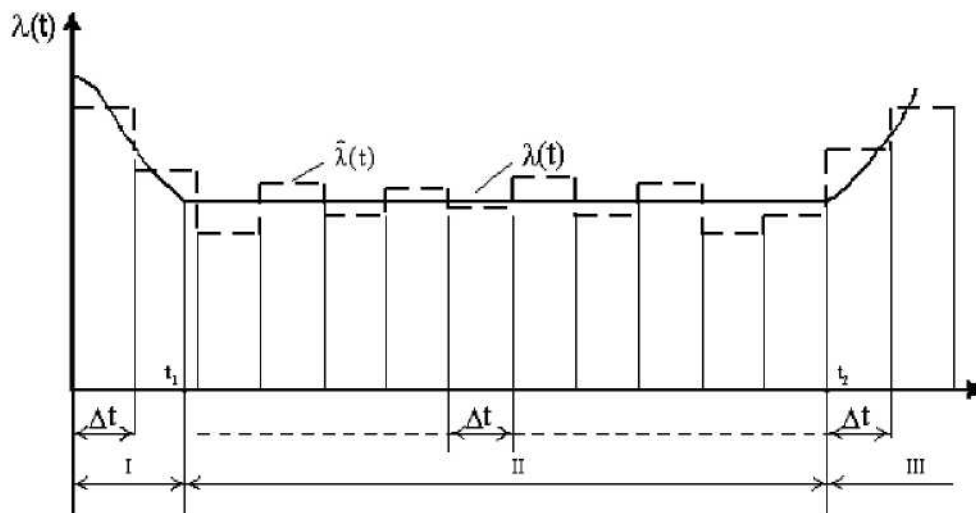


Рисунок 2.5 – Кривая жизни объекта:

----- (опытные данные); — (линейризованная усредненная кривая); I - интервал приработки; II - интервал нормальной эксплуатации; III - интервал старения.

Как показывают многочисленные данные анализа надежности большинства объектов линейризованная обобщенная зависимость $\lambda(t)$ представляет собой сложную кривую с тремя характерными интервалами (I, II, III). На интервале II ($t_2 - t_1$) $\lambda = const$. Этот интервал может составлять более 10 лет, он связан с нормальной эксплуатацией объектов. Интервал I ($t_1 - 0$) часто называют периодом приработки элементов. Он может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от уровня организации отбраковки элементов на заводе-изготовителе, где элементы с внутренними дефектами своевременно изымаются из партии выпускаемой продукции. Величина интенсивности отказов на этом интервале во многом зависит от качества сборки схем сложных устройств, соблюдения требований монтажа и т.п. Включение под нагрузку собранных схем приводит к быстрому «выжиганию» дефектных элементов и по истечении некоторого времени t_1 в схеме остаются только исправные элементы, и их эксплуатация связана с $\lambda = const$. На интервале III ($t > t_2$) по причинам, обусловленным естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и т.д., интенсивность отказов резко возрастает, увеличивается число деградационных отказов. Для того, чтобы обеспечить $\lambda = const$ необходимо заменить неремонтируемые элементы на исправные новые или работоспособные, отработавшие время $t \ll t_2$. Интервал $X = const$ соответствует экспоненциальной модели распределения вероятности безотказной работы. Здесь же отметим, что при $\lambda = const$ значительно упрощается расчет надежности и λ наиболее часто используется как исходный показатель надежности элемента.

Гамма-процентная наработка до отказа - наработка, в течение которой отказ в объекте не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах, иначе это минимальная наработка до отказа которую будут иметь гамма процентов объектов данного вида. Обычно $\gamma = 100\%$.

$$P(t_\gamma) = \int_{t_\gamma}^{\infty} f(t) dt = \gamma \quad (2.1.9)$$

2.1.2.2 Основные показатели безотказности для восстанавливаемых объектов.

Процесс функционирования восстанавливаемого объекта можно представить как последовательность чередующихся интервалов работоспособности и восстановления (простоя) как показано на рисунке 2.6

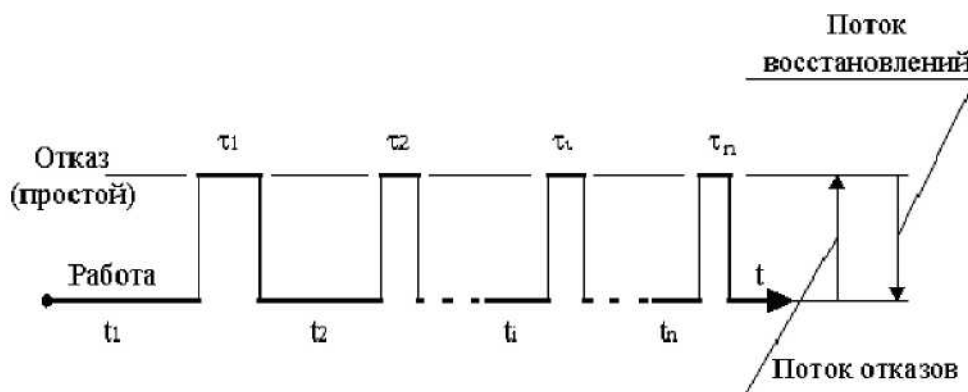


Рисунок 2.6 – График функционирования восстанавливаемого объекта:
 $t_1 \dots t_n$ - интервалы работоспособности, $\tau_1 \dots \tau_n$ - интервалы восстановления.

Для характеристики безотказности восстанавливаемых объектов при рассмотрении периода до первого отказа или между двумя последовательными отказами могут использоваться те же показатели, что и для невосстанавливаемых объектов. Специфическими показателями безотказности восстанавливаемых объектов являются следующие.

Средняя наработка на отказ объекта (наработка на отказ) определяется как отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к числу отказов, происшедших за суммарную наработку:

$$\tilde{T} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n(t)} \quad (2.1.1.10)$$

где t_i - наработка между $i-1$ и i -м отказами;
 $n(t)$ - суммарное число отказов за время t .

Параметр потока отказов показывает число отказов объекта за наблюдаемый интервал времени.

По статистическим данным определяется с помощью формулы:

$$\tilde{\omega} = \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (2.1.11)$$

где $n(t_1)$ и $n(t_2)$ - количество отказов объекта, зафиксированных соответственно, по истечении времени t_1 и t_2 .

Параметр потока отказов представляет собой плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта. Отказы объектов возникают

в случайные моменты времени и в течение заданного периода эксплуатации наблюдается поток отказов. Существует множество математических моделей потоков отказов. Наиболее часто при решении задач надежности РЭСИ используют простейший поток отказов - пуассоновский поток. Простейший поток отказов удовлетворяет одновременно трем условиям: стационарности, ординарности, отсутствия последствия.

Опыт эксплуатации РЭСИ показывает, что отказы элементов происходят мгновенно и если старение элементов отсутствует ($\lambda = const$), то поток отказов в системе можно считать простейшим.

Случайные события, образующие простейший поток, распределены по закону Пуассона:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, \text{ при } n \geq 0 \quad (2.1.12)$$

где $P_n(t)$ - вероятность возникновения в течение времени t ровно n событий (отказов);

λ - параметр распределения, совпадающий с параметром потока событий.

Если в выражении (2.1.12) принять $n = 0$, то получим $P(t) = e^{-\lambda t}$ - вероятность безотказной работы объекта за время t при интенсивности отказов $\lambda = const$. Нетрудно доказать, что если восстанавливаемый объект при отсутствии восстановления имеет характеристику $\lambda = const$, то, придавая объекту восстанавливаемость, мы обязаны записать

$$\omega(t) = const; \lambda = \omega.$$

Это свойство широко используется в расчетах надежности ремонтируемых устройств. В частности важнейшие показатели надежности РЭСИ даны в предположении простейших потоков отказов и восстановлений, когда

$$\lambda = \omega = \frac{1}{T}$$

2.1.2.3 Основные показатели долговечности

Средний срок службы (математическое ожидание срока службы) для восстанавливаемого объекта представляет собой среднюю календарную продолжительность эксплуатации объекта от ее начала или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

$$\bar{t}_c = \int_0^{\infty} t \cdot f_c(t) dt \quad (2.1.13)$$

Средний ресурс представляет собой среднюю наработку объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после предупредительного ремонта до наступления предельного состояния.

$$\bar{t}_p = \int_0^{\infty} t \cdot f_c(t) dt \quad (2.1.14)$$

Поскольку средний и капитальный ремонты позволяют частично или полностью восстановить ресурс, то отсчет наработки при исчислении ресурса возобновляют по окончании такого ремонта, различая в связи с этим

следующие временные понятия ресурса: полный ресурс, назначенный ресурс (срок службы) объекта и остаточный ресурс (срок службы).

Полный ресурс отсчитывают от начала эксплуатации объекта до его перехода в предельное состояние, соответствующее окончательному прекращению эксплуатации.

Назначенный ресурс - суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния. Аналогично определяются понятия «назначенный срок службы», «назначенный срок хранения».

По истечении назначенного ресурса (назначенного срока службы, назначенного срока хранения) объект должен быть изъят из эксплуатации, и должно быть принято решение, предусмотренное соответствующей нормативно-технической документацией - направление в ремонт, списание, уничтожение, проверка и установление нового назначенного срока (ресурса) и т.д.

Указанные временные понятия применяются по отношению к объектам, предельные состояния которых приводят к большим экономическим потерям, угрожают безопасности человека или приводят к вредному воздействию на окружающую среду.

Остаточный ресурс (остаточный срок службы) - суммарная наработка (календарная продолжительность эксплуатации) объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Соотношение значений ресурса и срока службы зависит от интенсивности использования объекта. Полный срок службы, как правило, включает продолжительность всех видов ремонта, то есть учитывается календарный срок.

Для невосстанавливаемого объекта ресурс представляет собой среднюю продолжительность работы до отказа или до наступления предельного состояния. Практически эта величина совпадает со средней наработкой до отказа T_1 .

Гамма-процентный ресурс, представляет наработку, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью (численно равной заданной величине γ в процентах).

$$\int_{t_{p\gamma}}^{\infty} f_p(t) dt = \gamma \quad (2.1.15)$$

2.1.2.4 Основные показатели ремонтпригодности

При количественном описании этого свойства, которое присуще только восстанавливаемому объекту, время восстановления является случайной величиной, зависящей от целого ряда факторов: характера возникшего отказа; приспособленности объекта к быстрому обнаружению отказа; квалификации обслуживающего персонала; наличия технических средств; быстроты замены отказавшего элемента в объекте и др. Время восстановления - это время, затраченное на обнаружение, поиск причины отказа и устранения последствий

отказа. Опыт показывает, что в сложных РЭСИ 70-90% времени восстановления приходится на поиск отказавшего элемента.

Вероятность восстановления - вероятность того, что время восстановления объекта не превысит заданное:

$$P(t_B) = \int_0^{t_B} f_B(t) dt \quad (2.1.16)$$

где $f_B(t)$ - функция плотности вероятности (согласно закона распределения).

Графическая интерпретация вероятности восстановления приведена на рисунке 2.7

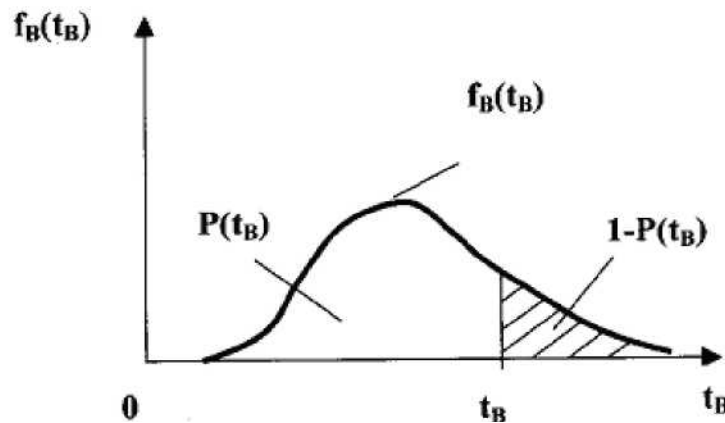


Рисунок 2.7 – К определению вероятности восстановления.

Среднее время восстановления - это математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа. Из определения следует, что:

$$T_B = \int_0^{\infty} t \cdot f_B(t) dt \quad (2.1.17)$$

Статистически данный показатель определяется

$$\tilde{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i \quad (2.1.18)$$

где n - число восстановлений, равное числу отказов;

τ_i - время, затраченное на восстановление (обнаружение, поиск причины и устранение отказа).

Интенсивность восстановления - это отношение условной плотности вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенной для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено, к продолжительности этого интервала. То есть:

$$\mu(t_B) = \frac{f_B(t_B)}{1 - P(t_B)} \quad (2.1.19)$$

Статистическая оценка этого показателя находится как

$$\bar{\mu}(t) = \frac{n_B(\Delta t)}{N_{н.сп} \cdot \Delta t} \quad (2.1.20)$$

где $n_B(\Delta t)$ - количество восстановлений однотипных объектов за интервал Δt ;

$N_{н.ср}$ - среднее количество объектов, находящихся в невосстановленном состоянии на интервале Δt .

В частном случае, когда интенсивность восстановления постоянна, то есть $\mu(t) = \mu = const$, вероятность восстановления за заданное время t подчиняется экспоненциальному закону.

Этот частный случай имеет наибольшее практическое значение, поскольку реальный закон распределения времени восстановления большинства РЭСИ (поток восстановлений) близок к экспоненциальному. Используя свойства этого распределения, запишем очень важную зависимость:

$$\mu = \frac{1}{T_B} \quad (2.1.21)$$

Гамма-процентное время восстановления - это время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью γ , выраженной в процентах - время восстановления, достигаемое объектом с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах:

$$\int_0^{t_{B\gamma}} f_B(t) dt = \gamma. \quad (2.1.22)$$

2.1.2.5 Основные показатели сохраняемости

Гамма-процентный срок сохраняемости - срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах:

$$\int_{t_{с\gamma}}^{\infty} f_{сx}(t) dt = \gamma, \quad (2.1.23)$$

где $f_{сx}(t)$ - функция плотности распределения случайной величины $T_{сx}$ - срока сохраняемости объекта.

Средний срок сохраняемости - математическое ожидание срока сохраняемости:

$$\bar{t}_{сx} = \int_0^{\infty} t \cdot f_{сx}(t) dt. \quad (2.1.24)$$

Назначенный срок хранения — срок хранения, по достижении которого хранение объекта должно быть прекращено независимо от его технического состояния.

2.1.2.6 Комплексные показатели надежности.

Коэффициент готовности - это вероятность того, что объект окажется в

работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. Этот показатель одновременно оценивает свойства работоспособности и ремонтпригодности объекта,

$$K_{Гmax}=1$$

Для одного ремонтируемого объекта коэффициент готовности

$$K_{Г} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i} \quad (2.1.25)$$

Для определения коэффициента готовности необходим достаточно длительный календарный срок функционирования объекта.

Зависимость коэффициента готовности от времени восстановления затрудняет оценку надежности объекта, так как по $K_{Г}$ нельзя судить о времени непрерывной работы до отказа

Коэффициент оперативной готовности определяется как вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени (кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается) и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Из вероятностного определения следует, что

$$K_{ОГ}=K_{з}-P(t_p), \quad (2.1.26)$$

где $K_{Г}$ - коэффициент готовности;

$P(t_p)$ - вероятность безотказной работы объекта в течение времени (t_p), необходимого для безотказного использования по назначению.

Коэффициент технического использования равен отношению математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период эксплуатации:

$$K_{ТИ} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{j=1}^k \tau_j} \quad (2.1.27)$$

где t_i - время сохранения работоспособности в i -м цикле функционирования объекта;

τ_i - время восстановления (ремонта) после i -го отказа объекта;

τ_j - длительность выполнения j -й профилактики, требующей вывода объекта из работающего состояния (использования по назначению);

n - число рабочих циклов за рассматриваемый период эксплуатации;

m - число отказов (восстановлений) за рассматриваемый период;

k - число профилактик, требующих отключения объекта в рассматриваемый период.

Как видно из выражения (2.1.27), коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения объекта в работоспособном состоянии относительно общей (календарной) продолжительности эксплуатации. Следовательно, $K_{ТИ}$ отличается от K_G тем, что при его определении учитывается все время вынужденных простоев, тогда как при определении K_G время простоя, связанное с проведением профилактических работ, не учитывается.

Суммарное время вынужденного простоя объекта обычно включает время:

- на поиск и устранение отказа;
- на регулировку и настройку объекта после устранения отказа;
- для простоя из-за отсутствия запасных элементов;
- для профилактических работ.

2.1.3 Основные математические модели, используемые в теории надежности

В приведенных выше математических соотношениях зачастую использовалось понятие плотности вероятности и закон распределения.

Закон распределения - устанавливаемая определенным образом связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими их вероятностями.

Плотность распределения (вероятностей) - широко распространенный способ описания закона распределения

2.1.3.1 Распределение Вейбулла

Распределение Вейбулла является двухпараметрическим распределением. Согласно этому распределению плотность вероятности момента отказа

$$f(t) = \lambda \cdot \delta \cdot t^{\delta-1} \cdot e^{-(\lambda \cdot t^\delta)} \quad (2.1.28)$$

где δ - параметр формы (определяется подбором в результате обработки экспериментальных данных, $\delta > 0$);

λ - параметр масштаба,

От значения коэффициента формы во многом зависит график функции плотности вероятности.

Интенсивность отказов определяется по выражению

$$\lambda(t) = \lambda \cdot \delta \cdot t^{\delta-1} \quad (2.1.29)$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t^\delta} \quad (2.1.30)$$

Отметим, что при параметре $\delta = 1$ распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное, а при $\delta = 2$ - в распределение Рэлея.

При $\delta < 1$ интенсивность отказов монотонно убывает (период приработки), а при $\delta > 1$ монотонно возрастает (период износа). Следовательно, путем подбора параметра δ можно получить, на каждом из трех участков, такую теоретическую кривую $\lambda(t)$, которая достаточно близко совпадает с

экспериментальной кривой, и тогда расчет требуемых показателей надежности можно производить на основе известной закономерности.

2.1.3.2 Экспоненциальное распределение

Как было отмечено экспоненциальное распределение вероятности безотказной работы является частным случаем распределения Вейбулла, когда параметр формы $\delta = 1$. Это распределение однопараметрическое, то есть для записи расчетного выражения достаточно одного параметра $\lambda = const$. Для этого закона верно и обратное утверждение: если интенсивность отказов постоянна, то вероятность безотказной работы как функция времени подчиняется экспоненциальному закону:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.1.31)$$

Среднее время безотказной работы при экспоненциальном законе распределения интервала безотказной работы выражается формулой:

$$T_1 = \frac{1}{\lambda} \quad (2.1.32)$$

Таким образом, зная среднее время безотказной работы T_1 (или постоянную интенсивность отказов λ), можно в случае экспоненциального распределения найти вероятность безотказной работы для интервала времени от момента включения объекта до любого заданного момента t .

2.1.3.3 Распределение Рэлея

Плотность вероятности в законе Рэлея имеет следующий вид

$$f(t) = \frac{t}{\delta_*^2} e^{-\left(\frac{t^2}{2\delta_*^2}\right)} \quad (2.1.33)$$

где δ_* - параметр распределения Рэлея.

Интенсивность отказов равна:

$$\lambda(t) = \frac{1}{\delta_*^2} \cdot t. \quad (2.1.34)$$

Характерным признаком распределения Рэлея является прямая линия графика $\lambda(t)$, начинающаяся с начала координат.

Вероятность безотказной работы объекта в этом случае определится по выражению

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t^2}{2\delta_*^2}\right)} \quad (2.1.35)$$

2.1.3.4 Нормальное распределение (распределение Гаусса)

Нормальный закон распределения характеризуется плотностью вероятности вида

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left(\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right)} \quad (2.1.36)$$

где m_x , σ_x - соответственно математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение случайной величины X .

При анализе надежности РЭСИ в виде случайной величины, кроме времени, часто выступают значения тока, электрического напряжения и других аргументов. Нормальный закон - это двухпараметрический закон, для записи которого нужно знать m_x и s_x .

Вероятность безотказной работы определяется по формуле

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{\left(\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2} \right)} dt \quad (2.1.37)$$

а интенсивность отказов - по формуле

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (2.1.38)$$

В данном пособии показаны только наиболее распространенные законы распределения случайной величины. Известен целый ряд законов, так же используемых в расчетах надежности: гамма-распределение, χ^2 -распределение, распределение Максвелла, Эрланга и др.

2.1.4 Определение закона распределения и выбор числа показателей надежности

2.1.4.1 Определение закона распределения

Во многих случаях возникает задача определения на основе имеющихся статистических данных закона распределения некоторой случайной величины X .

Необходимо сразу же подчеркнуть, что в настоящее время не существует никакого способа непосредственно получить из некоторых статистических данных математическую модель закона распределения X . Известные методы позволяют лишь подтвердить (или не подтвердить) соответствие данного статистического материала некоторой заранее выдвинутой гипотезе о законе распределения. Таким образом, процедура нахождения хорошей (в некотором смысле) математической модели закона распределения случайной величины по статистическим данным всегда слагается из двух этапов:

- Выдвижение гипотез о математических моделях распределения.
- Проверка соответствия выдвинутых гипотез имеющимся статистическим данным.

Гипотезы о законе распределения могут выдвигаться на основе теоретического анализа физической природы и свойств рассматриваемой случайной величины. Источником этих гипотез может служить также предварительный анализ имеющихся статистических данных

Проверка соответствия гипотезы статистическим данным сводится к установлению степени близости гипотетического и статистического распределений X . Для проверки гипотез о законе распределения применяются специально разработанные количественные критерии, получившие название критериев согласия. Наиболее широкое применение нашли два критерия - *критерий Пирсона* и *критерий Колмогорова*.

2.1.4.2 Выбор числа показателей надежности

Остановимся на вопросе о выборе числа показателей для каждой составляющей надежности объекта.

Выбор числа показателей той или иной составляющей надежности в большинстве технических документов (в том числе и стандартов) на различные изделия производится без достаточного обоснования. В то же время, если рассматривать эти показатели не как изолированные величины, а как носители информации о законе распределения некоторой случайной величины, то вопрос о выборе числа показателей для каждой составляющей надежности получает достаточно простое и четкое решение.

Известно, что для однозначного определения закона распределения, относящегося к некоторому типу, необходимо задать столько независимых чисел, сколько параметров имеет этот тип законов распределения. Этими числами могут быть, в частности, числовые характеристики распределения, т. е. показатели некоторой составляющей надежности. Таким образом, выбор числа показателей некоторой составляющей надежности связывается с числом параметров того типа законов распределения, к которому относятся распределение определяющей эту составляющую надежности случайной величины.

Такой - достаточно строгий и общий - подход может применяться по отношению к любой составляющей надежности. Однако, во-первых, в настоящее время предъявляются различные требования к полноте описания различных составляющих надежности объектов. Во-вторых, не для всех составляющих надежности в достаточной мере изучены типы законов распределения соответствующих случайных величин.

Описанный выше подход достаточно широко применяется при выборе числа показателей безотказности, поскольку для большинства объектов в настоящее время считается необходимым знать весь закон распределения. В качестве примера можно указать рекомендации по выбору номенклатуры и числа показателей безотказности изделий ГСП, приведенные в ГОСТ 13216- 74.

Реже такой же подход используется при выборе числа показателей ремонтпригодности. Это связано с тем, что пока еще лишь для небольшой номенклатуры промышленных изделий считается необходимым задавать распределение вероятности восстановления.

Что же касается таких составляющих надежности, как сохраняемость и долговечность, то в настоящее время знание всего закона распределения не считается необходимым. В связи с этим для описания каждой из этих

составляющих выбирается обычно один показатель (редко два), и выбор этот не связывается с типом закона распределения соответствующей случайной величины.

В таблице 2.2 для каждой составляющей надежности указаны случайных величины (показатели) а также типы законов распределения, используемые при их описании.

Таблица 2.2

Составляющая надежности	Случайная величина	Используемый закон распределения	Показатели надежности для объектов	
			невосстанавливаемых	восстанавливаемых
Безотказность	Время безотказной работы T	Экспоненциальный Нормальный Гамма	T_1 - средняя наработка до отказа $P(t)$ -вероятность безотказной работы X -интенсивность отказов	\bar{T} - наработка на отказ $P(t)$ - вероятность безотказной работы ω - параметр потока отказов
Ремонтопригодность	Время восстановления T_B	Эрланга Нормальный Экспоненциальный	—	\bar{T}_B - среднее время восстановления $P(t_B)$ - вероятность восстановления
Сохраняемость	Время хранения до потери объектом своих характеристик T	Нормальный Логарифмически-нормальный Гамма Вейбулла Экспоненциальный	Аналогично с восстанавливаемыми	\bar{t}_{cx} - средний срок сохраняемости $T_{c\gamma}$ - гамма-процентный срок сохраняемости $P(t_c)$ - вероятность сохранения
Долговечность	Время от начала эксплуатации до предельного СОСТОЯНИЯ ТД	Нормальный Логарифмически-нормальный Гамма Вейбулла Экспоненциальный	Совпадают с показателями безотказности	t_c - средний срок службы \bar{t}_p - средний ресурс $t_{p\gamma}$ - гамма-процентный ресурс

2.1.5 Точность и достоверность статистической оценки показателей надежности

Как было показано выше, показатели надежности представляют собой числовые характеристики случайных величин или их комбинации.

Результат эксперимента над случайными величинами всегда случаен. Если на основе этого результата определяются некоторые числовые характеристики исследуемой случайной величины, то следует ясно понимать, что получаемые таким образом цифры могут отличаться от искомых истинных значений. В связи с этим значения числовых характеристик, получаемые путем статистических исследований, принято называть оценками, подчеркивая тем самым возможность несовпадения их с истинными значениями.

В математической статистике различаются два вида статистических оценок:

- точечные
- интервальные.

Как следует из теории вероятностей, основными показателями качества статистической оценки являются точность и достоверность.

Общепринятым количественным показателем достоверности оценки показателей надежности является доверительная вероятность. Причем, ввиду того, что очень часто принимается условие симметричности доверительного интервала (равенство односторонних доверительных вероятностей по верхней и по нижней доверительным границам), в качестве количественной меры достоверности оценки можно принять одно значение односторонней доверительной вероятности:

$$Q_B = Q_H = Q. \quad (2.1.39)$$

Сложнее обстоит дело с выбором количественной меры точности статистической оценки показателей надежности. Во всех случаях (т. е. при любом оцениваемом показателе надежности а) количественную меру точности оценки естественно связать с шириной доверительного интервала, т. е. со значениями его границ a_H и a_B . Тогда относительную доверительную ошибку показателя a можно записать как:

$$\delta_a = \frac{\ln a_H - \ln \tilde{a}}{\ln \tilde{a}} \quad (2.1.40)$$

2.1.6 Особенности программ на надежность

Испытания на надежность позволяют определить показатели надежности РЭСИ в заданных условиях эксплуатации. Это необходимо для:

- установления соответствия вновь разрабатываемой РЭСИ требованиям ТЗ;
- для оценки эффективности применения схемных и конструктивно-технологических решений при модернизации РЭСИ;
- для выявления недостатков производства, влияющих на надежность.

По назначению испытания на надежность могут быть *определятельными и контрольными*. Группа определятельных испытаний подразделяется на испытания по определению запасов надежности, параметров *безотказности, сохраняемости, ремонтпригодности, долговечности*. Указанные характеристики определяют уровень качества разработки. Задачей контрольных испытаний является показ неизменности уровня качества продукции, изготавливаемой на конкретном производстве. Обычно проводят для получения одной из указанных характеристик надежности, по которой оценивают уровень качества изделия.

Общими чертами испытаний на надежность с другими видами испытаний являются:

- испытания являются, преимущественно, выборочными;
- характеризуются большим объемом испытаний.

Выборочный метод испытаний позволяет судить о характеристиках всей генеральной совокупности изделий по характеристикам выборки, взятой из этой совокупности. Основным требованием к выборке является то, что изделия, входящие в выборку, должны в полной мере отражать характер и структуру генеральной совокупности, т. е. выборка должна быть *представительной или репрезентативной*.

Выборки различают по:

- способу образования - *повторные и неповторные*;
- по преднамеренности отбора - *преднамеренные и случайные*;
- по отношению ко времени образования - *единовременные и текущие*.

Повторная выборка образуется путем извлечения изделий из генеральной совокупности с последующим их возвращением после определения параметров качества.

Такое извлечение и возвращение может быть многократным.

При *бесповторной* выборке извлеченные изделия не могут быть возвращены в генеральную совокупность. Обычно используется в тех случаях, когда вырабатывается ресурс изделия, что гарантирует невозможность попадания одного изделия в выборку.

Если изделие отбирается преднамеренно (по заранее оговоренным признакам, характеристикам), то такую выборку называют *преднамеренной*.

Случайная выборка образуется при отборе изделий из партии генеральной совокупности, если для любого изделия обеспечивается равная вероятность быть отобранным и включенным в выборку.

Единовременная выборка образуется из партии изделий после их изготовления независимо от того, в какой момент времени изготовлено каждое изделие.

Текущая выборка состоит из изделий, последовательно изготовленных за определенный промежуток времени. Методику текущей выборки применяют при анализе стабильности производства.

2.1.7 Случайные величины и способы их описания

Случайные величины могут быть:

- *дискретными* (если количество возможных значений конечно);
- *непрерывными*.

Характеристикой случайной величины является *закон распределения*, т.е. связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими их вероятностями.

Для непрерывных случайных величин используют четыре способа аналитического описания законов распределения:

- плотность распределения $f(x)$;
- интегральная функция распределения $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) \cdot dt$
- обратная интегральная функция распределения $G(x) = 1 - F(x) = 1 - \int_{-\infty}^x f(x) \cdot dx$
- функция интенсивности $H(x) = \frac{f(x)}{G(x)} = \frac{f(x)}{1 - \int_{-\infty}^x f(x) \cdot dx}$

Соответствующие графические зависимости

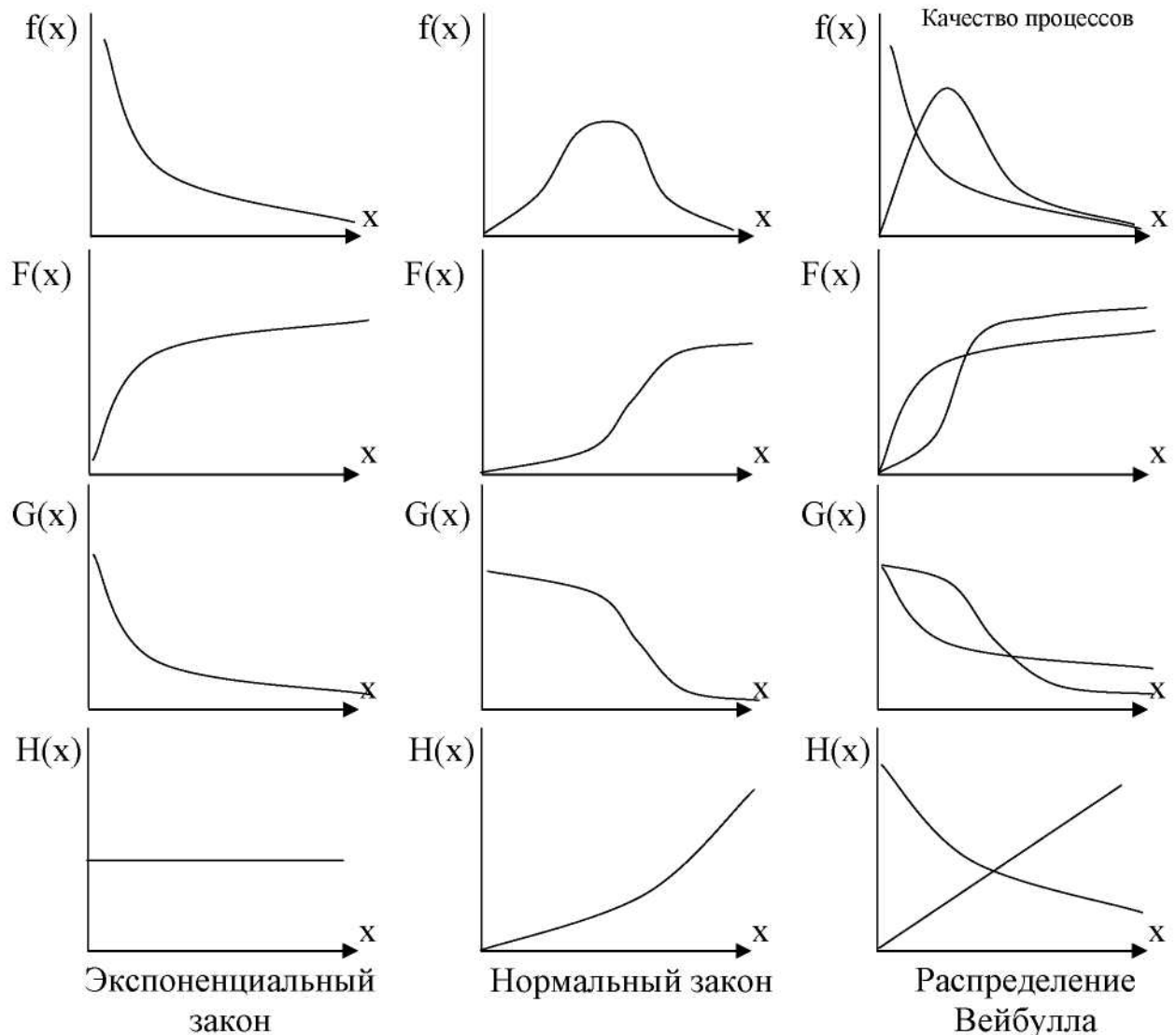


Рисунок 2.8 – Графические зависимости законов распределения.

Таким образом, распределения случайных величин T , T_b , T_c , T_d , задаваемые в любой из возможных форм, являются характеристиками надежности (безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости и долговечности).

Широко используются в инженерной практике различные численные показатели надежности (показатели безотказности, сохраняемости, долговечности, ремонтпригодности). В качестве таких показателей используются числовые характеристики соответствующих случайных величин.

Наиболее широко используются математические ожидания:

- среднее время безотказной работы T ;
- среднее время восстановления T_b ;
- среднее время сохраняемости T_c ;
- средний срок службы $T_{c.c}$;
- средний ресурс T_p и другие показатели.

Приведем основные показатели для восстанавливаемой и невосстанавливаемой аппаратуры.

Таблица 2.3 – Основные показатели для восстанавливаемой и невосстанавливаемой аппаратуры

Составляющая надежности	Случайная величина	Математическая модель распределения	Показатели	
			Невосстанавливаемая	Восстанавливаемая
Безотказность	Время безотказной работы T	Экспоненциальное Нормальное Гамма	T - среднее время безотказной работы. $P(t)$ - вероятность безотказной работы за заданное время. λ - интенсивность отказов	T - наработка на отказ. $P(t)$ - вероятность безотказной работы. λ - параметр потока отказов
Ремонтопригодность	Время восстановления T_B	Эрланга Нормальное Экспоненциальное		T_B - среднее время восстановления. $F_B(\tau)$ - вероятность восстановления работоспособности отказавших изделий за заданное время.
Сохраняемость	Время хранения до потери изделием своих характеристик T_c	Нормальное Логарифмически-нормальное Гамма Вейбулла Экспоненциальное	Те же, что и для восстанавливаемой.	T_c - среднее время сохраняемости. $G_c(\tau)$ - вероятность сохранения технических характеристик в течении заданного времени τ_{Gt} -гамма-процентный срок сохраняемости

<p>Долговечность</p>	<p>Время от начала эксплуатации до предельного состояния T_d $T_{с.с.}$ - срок службы. T_p-технический ресурс.</p>	<p>Нормальное Логарифмически-нормально Гамма Вейбулла Экспоненциальное</p>	<p>Показатели, как и для показателей безотказности.</p>	<p>$T_{с.с.}$-средний срок службы. T_p-средний ресурс. $T_{с.с.j}$- гамма-процентный срок службы $G_{сс}(\tau)$-вероятность того, что срок службы образца превысит заданное время. $G_p(\tau)$-вероятность того, что ресурс изделия превысит τ</p>
----------------------	---	--	---	---

Для количественной оценки безотказности по результатам испытаний наиболее часто используют следующие характеристики:

- *вероятность безотказной работы изделия на момент времени t .*

Характер изменения вероятности безотказной работы РЭСИ от времени выглядит следующим образом:

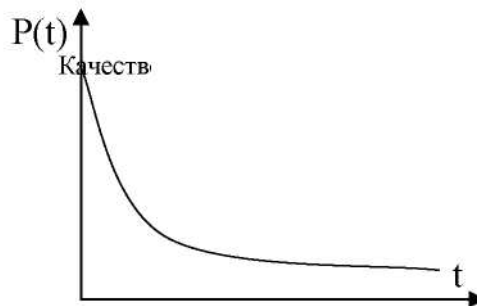


Рисунок 2.9 – Характер изменения вероятности безотказной работы РЭСИ от времени.

Площадь, ограниченная функцией $P(t)$ и осями координат численно равна средней наработке изделия до отказа. При заданной \min вероятности безотказной работы P_2

Можно по графику определить значение гарантийной наработки t_2 :

$$P = (n - \Delta d_i) / n = 1 - \Delta d_i / n \quad (2.1.41)$$

где n - число изделий, работоспособных при $t_i=0$;

Δd_i - число отказов изделий за Δt_i .

- *интенсивность отказов $\lambda(t)$* - показывает, какая доля исправных в начальный момент рассматриваемого промежутка времени изделий в

выборке отказывает к концу этого промежутка:

$$\lambda = \Delta d_i / [n - d_i] * \Delta t_i \quad (2.1.42)$$

где d_i — общее число отказавших изделий к началу промежутка времени Δt_i
 Δd_i — число отказавших изделий за Δt_i .

По рассчитанным частным значениям λ можно построить функцию зависимости отказов от времени, т.е. лямбда характеристику:

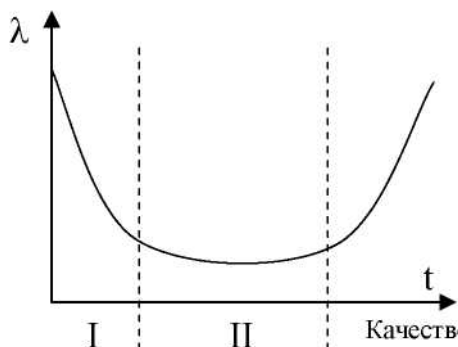


Рисунок 2.10 – Лямбда характеристика:

I - период приработки; II - рабочая область; III- область износа.

Интенсивность отказов связана с $P(t)$ соотношением:

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) \cdot dt \right] \quad (2.1.43)$$

средняя наработка до отказа:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (2.1.44)$$

где T_i - наработка i -го экземпляра.

2.1.8 Требования к содержанию программы испытаний на надежность (ГОСТ 21317-87)

1. Объем испытаний.

- указывают полное наименование аппаратуры в соответствии с ГОСТ 26794 и стадию производства;
- число аппаратов и порядок их отбора;
- изготовителя аппаратуры;
- комплектность;
- перечень составных частей, замена которых предусмотрена в ходе испытаний.

2. Категория испытаний.

Указывается вид испытаний с учетом следующих признаков:

- назначение испытаний (контрольные, определительные);
- стадия производства (например, испытания готовой продукции - квалификационные, предъявительские, приемо-сдаточные, типовые, аттестационные, сертификационные);
- место проведения испытаний;

- продолжительность или объем испытаний

3. Цель испытаний.

Указываются конкретные цели и задачи, которые должны быть достигнуты и решены в процессе испытаний. Цель испытаний должна соответствовать виду испытаний.

4. Общие положения.

Указывается:

- перечень руководящих документов, на основании которых проводят испытания.
- место и продолжительность испытаний;
- организации (предприятия, участвующие в испытаниях);
- перечень ранее проведенных испытаний, порядок использования их результатов;
- перечень предъявляемых на испытания конструкторских и технологических документов.

5. Объем испытаний.

- Перечень этапов испытаний и проверок, номенклатуру и значения показателей надежности, подлежащих контролю;
- последовательность, продолжительность и режимы испытаний для каждого показателя надежности;
- исходные данные для планирования испытаний каждого вида или непосредственно планы контроля показателей (тип плана, объем выборки, правила принятия решения);
- требования к наработке аппаратуры в процессе испытаний;
- перечень работ, проводимых после завершения испытаний, требования к ним, объем и порядок проведения;

Дополнительно могут быть указаны и другие требования, согласованные между разработчиком и заказчиком.

6. Условия и порядок проведения испытаний.

Указывают:

- условия проведения испытаний в соответствии со стандартами по надежности и ТУ на конкретный вид аппаратуры;
- условия начала и завершения отдельных видов испытаний;
- ограничения на проведение испытаний;
- порядок и правила контроля (оценки) показателей надежности, регламентирующие методы испытаний на надежность аппаратуры конкретного типа;
- порядок взаимодействия организаций при проведении испытаний;
- требования к квалификации и численности персонала, порядок его допуска к испытаниям;
- порядок привлечения экспертов для исследования отказов аппаратуры;
- меры, обеспечивающие безопасность и безаварийность проведения испытаний (в виде подраздела "Требования безопасности труда").

7. Материально-техническое обеспечение испытаний.

Указывают конкретные виды материально-технического обеспечения с

распределением задач и обязанностей организаций (предприятий), участвующих в испытании, устанавливаются сроки готовности материально-технического обеспечения.

Могут вводиться подразделы: материально - технического, математического, обеспечения документацией и др.

8. Метрологическое обеспечение.

Приводят перечень необходимых средств измерений с указанием метрологических характеристик и назначения их при испытаниях, сроки их поверки.

9. Отчетность

Указывают перечень отчетных документов, которые должны оформляться в процессе испытаний и по их завершении, с указанием организаций и предприятий, утверждающих их, и сроков выполнения документов.

10. Приложения

Указывают перечень методик испытаний, применяемых для оценки показателей надежности.

2.1.9 Основные понятия теории вероятности применяемые при испытаниях РЭСИ

В процессе испытаний ЭС приходится иметь дело со случайными событиями. Если сдаётся партия изделий, состоящая из N образцов и в ней имеется D дефектных изделий, то вероятность извлечения из этой партии дефектного образца:

$$Q = D \div N \quad (2.1.45)$$

а извлечения бездефектного образца

$$P = (N - D) \div N = 1 - Q \quad (2.1.46)$$

Величины Q и P называют генеральными характеристиками. Если

$D = 0$, то $P = 1$, т.е. такое событие называют *достоверным*

Если, $D = N$ т.е. $P = 0$ - *невозможное* событие.

На практике имеем дело с практически невозможными ($P \rightarrow 0$) и практически достоверными ($P \rightarrow 1$) событиями.

Если методом случайного поиска или отбора из сдаваемой партии изделий взята выборка объёмом n изделий и в ней окажется d дефектных изделий, то $q = d \div n$ — статистическая вероятность дефектных изделий и $p = (n - d) \div n = 1 - q$ - статистическая вероятность бездефектных изделий.

Величины q и p - выборочные характеристики.

С ростом числа изделий в выборке статистические вероятности q и p приближаются к значениям генеральных характеристик Q и P .

Выборные характеристики, с помощью которых делают статистические выводы относительно генеральной совокупности, называют *оценками генеральных характеристик*. Чтобы дать представление о точности и надёжности оценки числа D дефектных изделий в выборке, пользуются *доверительными границами*.

Вероятность нахождения оцениваемого параметра в доверительных

границах называют *достоверностью*.

Обычно достоверность берётся близкой к 1 и составляет 0,9; 0,95; 0,99.

Достоверность P^* называют односторонней, если она отражает степень нашего доверия к тому, что $Q \geq Q_H$ или $Q \leq Q_B$, где Q_H и Q_B – нижняя и верхняя доверительные границы.

Двусторонняя достоверность может быть записана как

$$Q_H \leq Q \leq Q_B$$

На практике для расчета доверительных границ пользуются специальной таблицей, в которой приводятся коэффициенты K_H и K_B для расчёта доверительных границ Q_H и Q_B , при этом

$$Q_B = K_B/n \quad (2.1.47)$$

$Q_H = K_H/n$ при определённых значениях достоверности.

2.1.10 Определение объёма выборки

Слишком большой объём выборки приводит к недопустимым потерям времени и средств, малый объём - к сомнениям относительно достоверности полученных результатов.

Обычно при подготовке НТД поставщик по согласованию с заказчиком заранее устанавливает число дефектных изделий $d_{дон}$, которое допускается в выборке при приёмке партии. Если окажется, что $d > d_{дон}$, то партия изделий не принимается.

Т.о. наименьшее число отказавших изделий в испытываемой выборке, при котором результаты испытаний считаются положительными, называют *приёмочным числом* C .

Кривая зависимости вероятности $P_{оп}$ приёмки партии изделий по результатам испытаний выборки объёмом n от заданной вероятности Q отказа изделий в партии, из которой взята выборка, называется *оперативной характеристикой* плана контроля надёжности изделий.

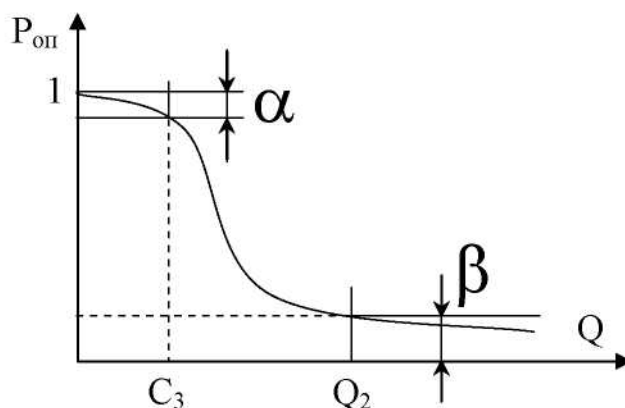


Рисунок 2.11 – Оперативная характеристика.

Если для контролируемой партии вероятность отказа равна Q_1 и воспользоваться оперативной характеристикой можно определить P .

Если $Q=0,1$, то $P=0,9$, т.е. следует ожидать, что 10% изделий будет забраковано по результатам испытаний выборки.

Если предположить, что партия имеет $Q=0,9$, то $P=0,1$, т.е. 10% партии будет принято заказчиком.

При выборочном контроле надёжности партии Q_2 соответствующий риску β заказчика, называют *браковочным уровнем* показателя надёжности.

Значение показателя надёжности изделия, вероятность забракования которых равна риску от изготовителя, называют *приёмочным уровнем* Q_1 . Оба уровня могут быть определены по оперативной характеристике при заданных α и β

Приведём вид оперативной характеристики для нескольких значений числа C .

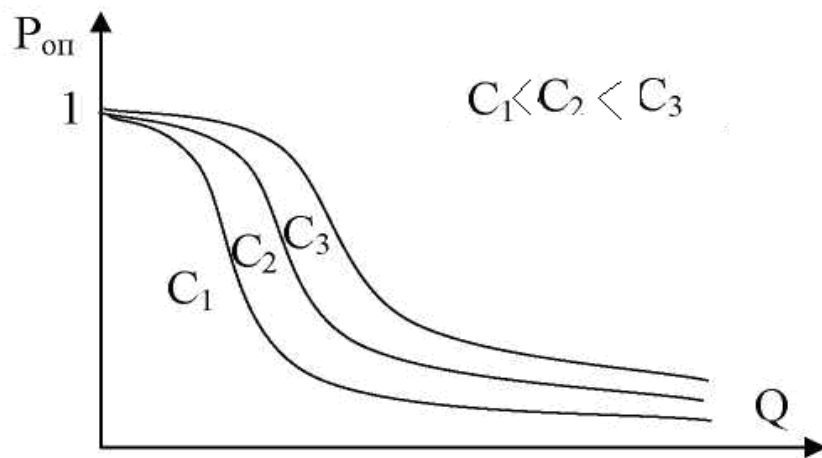


Рисунок 2.12 – Вид оперативной характеристики для нескольких значений числа C .

Т.е. чем круче оперативная характеристика, тем меньше различие между приёмочным и браковочным уровнями.

2.2 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

2.2.1 Методы оценки надежности

Различают следующие основные методы оценки надежности:

- экспериментальный
- аналитический (расчетный)
- статистического моделирования

Аналитические методы дают возможность оценивать надежность объекта, проводить сравнение различных вариантов его выполнения, находить оптимальные (или близкие к оптимальным) решения на самых ранних этапах разработки и проектирования, когда изделие существует еще только на бумаге. В этом состоит существенное преимущество этой группы методов оценки надежности.

Еще одним преимуществом является то, что решения в принципе могут быть получены в виде аналитических выражений, позволяющих вести исследование влияния различных факторов и находить оптимальные решения в общем виде.

Необходимыми исходными данными при аналитическом исследовании надежности объекта являются сведения о надежности его элементов. От достоверности этих данных зависит качество получаемых результатов. Для объектов со сложной структурой применение аналитических методов во многих случаях приводит к большим вычислительным трудностям.

Порядок аналитической оценки надежности устанавливает ГОСТ27.301-95

К аналитическим методам - по постановке задачи - близки методы *статистического моделирования*. Сходство в том, что и те, и другие методы требуют наличия данных о надежности элементов системы. Однако способы получения результатов совершенно различны. Методы статистического моделирования сводятся к разработке и исследованию функционирования статистической модели исследуемого объекта. Таким путем удается получать оценки надежности объектов с весьма сложной структурой, не поддающихся аналитическому исследованию, при ограниченных затратах средств и времени. Положительным свойством методов статистического моделирования является также то, что в процессе исследования могут определяться не только чисто надежность характеристики и показатели, но и показатели эффективности. Основной недостаток этой группы методов состоит в том, что результаты решения представляются не в виде аналитических выражений, отображающих влияние различных факторов, а в виде численных оценок (статистических оценок).

Экспериментальные методы оценки надежности изделий играют особую роль, так как, с одной стороны, они являются, по сути, единственным источником получения исходных данных о надежности объектов, используемых в качестве элементов при построении объектов более сложных, данных, необходимых для аналитического исследования или исследования

путем статистического моделирования. С другой стороны, эксперимент в подавляющем, большинстве случаев был и остается основным способом определения или подтверждения уровня надежности *серийно выпускаемых объектов*.

В отличие от рассмотренных выше двух групп методов экспериментальные методы не требуют никаких сведений о нежности элементов объекта. Мало того, экспериментальная оценка надежности объекта в целом позволяет получить некоторые данные и о надежности входящих в его состав элементов в реальных условиях эксплуатации. Особенностью экспериментального пути является то, что предполагает наличие некоторого количества образцов исследуемого объекта. Причем, это должны быть действующие образцы, удовлетворяющие всем техническим условиям. Проведение оценки надежности неизбежно связано с определенным (иногда весьма значительным) расходом ресурса испытываемых образцов.

Экспериментальная оценка надежности изделий может реализовываться двумя способами: организацией специальных испытаний или сбором статистических данных о работе объекта в условиях нормальной или подконтрольной эксплуатации. Порядок проведения эксперимента в этих двух случаях существенно различен. Обработка накопленных данных производится по одним и тем же методикам.

2.2.2 Понятие испытаний на надежность РЭСИ, унификация испытаний

Испытание – это экспериментальное определение значения параметра и показателя качества продукции в процессе функционирования и при имитации условий эксплуатации, а также при воспроизведении воздействий на продукцию по заданной программе.

Испытания на надежность являются методом экспериментальной оценки надежности РЭСИ на этапах их разработки и серийного выпуска. Испытаниям на надежность подвергают РЭСИ опытных образцов или опытных партий, установочных серий и серийного производства.

Испытания РЭСИ на надежность проводят:

- для оценки степени соответствия надежности РЭСИ опытных образцов или опытных партий требованиям нормативной документации и техническому заданию;
- для оценки степени соответствия надежности РЭСИ установочной серии и серийного производства требованиям нормативной документации и конструкторской документации.

В связи с тем, что испытания на надежность широко применяют на всех этапах разработки и производства РЭСИ, то чрезвычайную важность приобретает разработка унифицированных методов решения задач, возникающих при проведении таких испытаний. Нетрудно видеть, что могут дать разработка и широкое внедрение в практику единых инженерных методик, охватывающих все основные вопросы испытаний на надежность.

Во-первых, отпадает необходимость для инженерно-технических работников предприятий, занимающихся разработкой и серийным выпуском изделий, в освоении специфического математического аппарата, лежащего в основе современных методов испытаний. Это способно сократить большие затраты времени. Во-вторых, испытания будут проводиться с использованием наилучших (наиболее эффективных) методов, что приведет к экономии затрат времени, средств и ресурса изделий. Наконец, в-третьих, будут обеспечены необходимые достоверность, и точность и полная сопоставимость данных о надежности, приводимых в технической документации на изделия самого различного назначения, разрабатываемые и выпускаемые различными предприятиями.

Унифицированные методы испытаний на надежность основаны на следующих трех основных положениях. Во-первых, принятие гипотез о полном восстановлении надежностных свойств восстанавливаемого изделия после ремонта и об идентичности надежностных свойств всех образцов партии (что позволяет создать единые методы испытаний для восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий). Во-вторых, общность способов количественного описания одной и той же составляющей надежности различных изделий. В-третьих, общность подхода к оценке показателей различных составляющих надежности.

2.2.3 Стадии испытаний, задачи унифицированных методик испытаний

Во всяких испытаниях на надежность всегда можно выделить три стадии:

- планирование испытаний;
- проведение их (накопление необходимых статистических данных - непосредственных результатов испытаний);
- обработка непосредственных результатов с целью получения искомых данных или заключений.

Каждая из этих стадий требует решения определенных задач и, соответственно, своей методики.

В соответствии с этим основными задачами теории при создании унифицированных инженерных методик испытаний: можно считать:

- 1) Установление единых количественных показателей качества (точности и достоверности) получаемых результатов;
- 2) Разработку эффективных методов проведения испытаний для оценки каждого из используемых показателей надежности;
- 3) Разработку методов планирования испытаний для обеспечения заданных требований к качеству получаемых результатов;
- 4) Разработку методов обработки непосредственных результатов испытаний.

2.2.4 Классификация испытаний

Укрупненная классификация испытаний на надежность приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Классификация испытаний на надежность

Признак классификации	Виды испытаний
Цель испытаний	Определительные, контрольные, исследовательские (граничные, климатические и др.)
Испытываемое свойство надежности	Испытания на безотказность, долговечность (ресурсные), ремонтпригодность, сохраняемость, комплексные испытания
Этапы разработки изделия	Доводочные, предварительные, приемочные, типовые квалификационные.
Уровень проведения	Ведомственные, межведомственные, государственные
Степень интенсификации процесса	Нормальные, ускоренные (сокращенные и форсированные)
Влияние на возможность последующего использования	Разрушающие, неразрушающие
Вид объекта испытаний	Испытания изделия (натурные), макета, модели
Место проведения	Лабораторные (стендовые), полигонные, эксплуатационные
Метод получения результатов	Экспериментально-статистические, расчетно-экспериментальные

Определительные испытания - испытания, проводимые для определения значений характеристик объекта с заданными значениями точности и (или) достоверности. Результаты определительных испытаний служат основанием для внесения показателей надежности в техническую документацию на изделия. Они могут использоваться также для выявления ненадежных элементов и схемно-конструктивных недоработок в изделии, для разработки рекомендаций по повышению надежности, установления групп по надежности, уточнения режима и параметров технического обслуживания, объема и состава ЗИП и т. п.-

Контрольные испытания - испытания, проводимые для контроля качества объекта. Среди контрольных обычно различают прямо-сдаточные и типовые испытания. Контрольные испытания готовой продукции, проводимые при приемочном контроле, называются прямо-сдаточными. К типовым испытаниям относятся контрольные испытания продукции, проводимые с целью оценки эффективности и

целесообразности вносимых изменений в конструкцию, рецептуру или технологический процесс.

Исследовательские испытания - испытания, проводимые для изучения определенных характеристик свойств объектов. Исследовательские испытания, проводимые для определения зависимости между предельно допустимыми значениями параметров объекта и значениями параметров режимов эксплуатации, называются граничными.

Доводочные испытания - исследовательские испытания, проводимые в процессе разработки изделий с целью оценки влияния вносимых в них изменений для достижения требуемых показателей качества.

Предварительные испытания - контрольные испытания опытных образцов (партий) изделий с целью определения возможности их предъявления на приемочные испытания.

Приемочные испытания - это контрольные испытания опытных образцов (партий) изделий, а также изделий единичного производства, проводимые соответственно для решения вопроса о целесообразности постановки на производство этих изделий или передачи их в эксплуатацию.

К *нормальным* относятся испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимого объема информации о характеристиках свойств объекта в такой же интервал времени, как и в предусмотренных условиях эксплуатации.

Ускоренные испытания - испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях.

Сокращенные испытания - испытания, проводимые по сокращенной программе без интенсификации процессов, вызывающих отказы и повреждения.

Форсированные испытания - ускоренные испытания, основанные на интенсификации деградационных процессов, приводящих к отказам.

Разрушающие испытания - испытания с применением разрушающих методов контроля, которые могут нарушить пригодность объекта к использованию по назначению.

Неразрушающие испытания - испытания с применением неразрушающих методов контроля.

Испытаниям могут подвергаться как натурные опытные или серийные образцы изделий и систем, так и их макеты и модели.

Натурные испытания - испытания объекта в условиях, соответствующих условиям его использования по прямому назначению с непосредственным оцениванием или контролем определяемых характеристик свойств объекта.

Макет для испытаний - изделие, представляющее собой упрощенное воспроизведение объекта испытаний или его части и предназначенное для испытаний.

Модель для испытаний - изделие, процесс, явление, математическая модель, находящееся в определенном соответствии с объектом испытаний и (или) воздействиями на него, и способное замещать его в процессе испытаний.

К лабораторным (стендовым) относятся испытания, проводимые в лабораторных условиях на испытательном стенде, т.е. на техническом устройстве, предназначенном для установки объекта испытаний в заданных положениях, создания воздействий, съема информации и осуществления управления процессом испытаний и (или) объектом испытаний.

Полигонные испытания проводятся на испытательном полигоне, т.е. на месте, предназначенном для проведения испытания в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта, и обеспеченном необходимыми средствами испытаний.

К эксплуатационным относятся испытания, проводимые для определения (оценки) показателей надежности в заданных режимах и условиях эксплуатации.

2.3 ОРГАНИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

Определительные испытания на надежность могут проводиться по разным планам. Каждый план имеет некоторое количество параметров, для каждого из которых задается диапазон возможных значений, которые должны быть определены до начала испытаний. Набор фиксированных значений параметров плана называется *сечением* плана.

План испытаний считается заданным, если определены:

- оцениваемый показатель надежности;
- перечень параметров плана;
- перечень непосредственных результатов испытаний (достаточная статистика);
- процедура (методика, способ) получения непосредственных результатов;
- дополнительные условия, определяющие рамки применимости данного плана.

Каждому плану испытаний соответствует определенная методика испытаний (методика выбора сечения плана) и способ обработки результатов для получения искомой оценки.

Рассмотрим примеры планов испытаний.

1. Проведём оценку вероятности безотказной работы изделия в течение фиксированного времени $(0 - t)$.

Для этого необходимо провести m опытов, каждый из которых состоит в испытании одного образца до истечения времени t , если до этого времени отказ не наступил, или до отказа, если $t < \tau$. Фиксируется количество опытов d , закончившихся отказом.

На основании величин m и d вычисляется точечная оценка $\hat{p}(t)$, а также все необходимые показатели точности и достоверности этой оценки (доверительные границы, ошибки).

Т.о., приведённое описание полностью характеризует план, т.е.

$\hat{p}(t)$ - оцениваемый показатель надежности;

m - (количество опытов) - параметр плана;
 m и d - достаточная статистика.

Точечная оценка вероятности безотказной работы:

$$\hat{p}(t) = 1 - \frac{d}{m} \quad (2.3.1)$$

$P_H(t)$ и $P_B(t)$ - определяется по соответствующим таблицам при $\gamma = 0,9..0,999$.

Относительная доверительная ошибка:

$$\delta_{эксн} = \frac{\ln p_H(t) - \ln \hat{p}(t)}{\ln \hat{p}(t)} \quad (2.3.2)$$

В случае если $\delta_{эксн} \leq \delta_{тр}$, испытания считаются законченными.

Если требования к точности оценки безотказности не выполняются, то проводится новое планирование, при этом получают новое значение m и проводят дополнительные испытания по тому же плану.

Рассмотрим вопросы планирования определительных испытаний изделий с экспоненциальным распределением. Для получения безотказности изделия с экспоненциальным распределением достаточно получить оценку одного из следующих показателей: \bar{T} , λ или $p(t)$. Данные показатели связаны между собой соотношением:

$$\lambda = \frac{1}{\bar{T}} = \frac{1}{t} \ln p(t) \quad (2.3.3)$$

Это позволяет записать соотношения между точечными оценками и доверительными границами показателей безотказности.

$$\left. \begin{aligned} \hat{\lambda} &= \frac{1}{\hat{\bar{T}}} = \frac{1}{t} \ln \hat{p}(t) \\ \lambda_B &= \frac{1}{\hat{T}_H} = \frac{1}{t} \ln p_H(t) \\ \lambda_H &= \frac{1}{\hat{T}_B} = \frac{1}{t} \ln p_B(t) \end{aligned} \right\} \quad (2.3.4)$$

Относительные доверительные ошибки для рассматриваемых связаны соотношением:

$$\delta_\lambda = \delta_p = \frac{\delta_{\bar{T}}}{1 - \delta_{\bar{T}}}; \quad (2.3.5)$$

Для оценки безотказности изделий с экспоненциальным распределением возможны 2 пути:

- Непосредственная оценка \bar{T} (или λ)
- Оценка $\hat{p}(t)$ при произвольном значении t с последующим пересчётом в \bar{T} .

Особенностью планирования испытаний по второму способу заключается в том, что для определения числа опытов m необходимо принять некоторое ожидаемое значение $\bar{T}_{ож}$, затем выбрать расчётное время t и рассчитать $p_{ож}(t)$ по формуле:

$$p_{ож}(t) = e^{-\frac{1}{T_{ож}}t} \quad (2.3.6)$$

По непосредственным результатам испытаний m и d определяются $\hat{p}(t)$, $\rho_H(t)$, $\rho_B(t)$, δp , которые затем пересчитываются в оценку \bar{T} в соответствии с формулами (2.3.4).

Рассмотрим методику оценку показателя $P(t)$.

Исходными данными являются:

Доверительная вероятность $\gamma = 0,8$

Относительная доверительная ошибка - 0,5

Закон - экспоненциальный

Изделия восстанавливаемые, $t_u=100$ час.

$P_{ож}(t)=0,92$

1. Планирование

$t_u=100$ час

Значение m определяем по графику при $\gamma=0,8$, $\delta=0,5$, $m=80$ прил. II

Суммарная наработка всех изделий определяется:

$$\bar{t}_\Sigma = (1 - \rho_{ож}) \cdot m \cdot T_{ож} \quad (2.3.7)$$

где $\bar{T}_{ож} = -\frac{t}{\ln P_{ож}}$

Подставив значения, получим:

$$\bar{t}_\Sigma = 7850t \text{ час}$$

2. Проведения испытаний.

Предположим, что для испытаний была взята выборка изделий из образцов, и было получено, например, 6 отказов при проведении испытаний, то для реализации 80 опытов на каждом образце будет проведено несколько опытов.

$m=80$, $d=6$.

3. Обработка результатов испытаний.

3.1. Вычисляем точечную оценку

$$\bar{p}(t) = p(100) = 1 - \frac{6}{80} = 0,925.$$

По таблице для $\gamma=0,8$, $m=80$, $d=6$ находим верхнюю и нижнюю доверительную границы $P_B=0,95$ и $P_H=0,889$ Относительная доверительная ошибка:

$$\delta_p = \frac{\ln 0,889 - \ln 0,925}{\ln 0,925} = 0,5$$

где $\delta_B = \delta_{задан}$.

Если будет получено, что рассчитанное значение точности будет больше заданного, то необходимо провести дополнительно некоторое значение опытов, например, изменив значение $P_{ож}$ и снова рассчитать доверительную ошибку.

Рассмотрим методику непосредственной оценки значения \bar{T} .

1. Планирование.

Испытывается произвольное количество образцов n . Если образцы восстанавливаемые, то производится их восстановление после возникновения отказов.

После определённого времени испытаний подсчитывается суммарная

наработка на отказ t_{Σ} и общее количество отказов d_{Σ} . В случае, если испытания прерываются не в произвольный момент времени, а в момент возникновения очередного отказа, после которого общее количество наблюдаемых отказов d_{Σ} достигает некоторого значения заданного (планируемого) числа отказов d , то

$$t_{\Sigma} = t_{\Sigma\text{факт}} \cdot \frac{d_{\Sigma}}{d_{\Sigma} - 1}. \quad (2.3.8)$$

Точечная оценка, обладающая свойствами несмещённости, состоятельности и эффективности определяется по формуле:

$$\hat{T} = \frac{t_{\Sigma}}{d_{\Sigma}} \quad (2.3.9)$$

и доверительные границы:

$$\bar{T}_B = K_B \cdot \hat{T} \quad \text{и} \quad \bar{T}_H = K_H \cdot \hat{T}, \quad (2.3.10)$$

где $K_H = \frac{2d_{\Sigma}}{\chi_Q(2d_{\Sigma})}$ и $K_B = \frac{2d_{\Sigma}}{\chi_{1-Q}(2d_{\Sigma})}$;

$\chi_Q(2d_{\Sigma})$ и $\chi_{1-Q}(2d_{\Sigma})$ - квантили распределения χ^2 , соответствующие значениям доверительных вероятностей соответственно Q и 1-Q и числу степеней свободы $2d_{\Sigma}$.

На основании таблиц распределения χ^2 составлены таблицы значений коэффициентов K_H и K_B .

Относительная доверительная ошибка $\delta_T = 1 - K_H$.

Суммарная наработка может быть определена как $\bar{t}_{\Sigma} = d_{\text{пл}} \cdot \bar{T}_{\Sigma}$, если известно до какого числа отказов $d_{\text{пл}}$ будут производиться испытания. Вместо \bar{T}_{Σ} в формулу можно подставить значения $\bar{T}_{\text{ож}}$.

4. Планирование.

Планирование испытаний для оценки \bar{T} сводится к определению минимального количества отказов d , обеспечивающего заданные достоверность γ и точность 5- оценки, а также ориентированного значения \bar{t}_{Σ} .

Для планирования используем соответствующие таблицы. Для этого находят $K_H = 1 - \delta_T$. И выбирается таблица соответствующая заданному значению γ и находится ближайшее значение K_H . Затем в столбце определяется количество отказов d_1 .

Рассмотрим пример планирования.

Исходные данные:

Изделие восстанавливаемое;

Закон - экспоненциальный;

$\gamma=0,8$ - доверительная вероятность;

$\delta_T=0,25$ - относительная доверительная ошибка.

1. Планирование:

$$K_H = 1 - \delta_T = 1 - 0,25 = 0,75.$$

По таблице для $K_H=0,758$ и $\gamma=0,8$ определяем $d=6$.

Например, имея априорную информацию об испытании аналогичных изделий о том, что $\bar{T}_{\text{ож}}=580$ г. Тогда

$$\bar{t}_{\Sigma} = 6 \cdot 580 = 3480 \text{ г.}$$

2. Проведение испытаний.

На испытания поставлено, например, 14 образцов. Нарботки на отказ всех образцов представлены в таблице:

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	235	35	220	235	235	145	235	200	235	170	235	235	235	235
i	—	—	2	—	—	1	—	1	—	1	—	1	—	—

1 отказ - не восстанавливались;

2 отказа - после первого был отремонтирован.

По данным таблицы находим:

$$t_{\Sigma\phi} = \sum_1^{14} t_i = 3105 \text{ ч}$$

$$d_{\Sigma} = d_{III} = 621 \text{ ч}$$

$$t_{\Sigma} = \frac{6 \cdot 3105}{5} = 3726 \text{ ч}$$

3. Обработка результатов.

3.1. Точечная оценка наработки на отказ:

$$\hat{T} = \frac{t_{\Sigma}}{d_{\Sigma}} = 621 \text{ ч}$$

3.2. Находим по таблице для $d = 6$

$$K_B = 1,527 \text{ и } K_H = 0,758$$

3.3. Вычисляем

$$\bar{T}_B = 1,527 \cdot 621 = 950 \text{ ч}$$

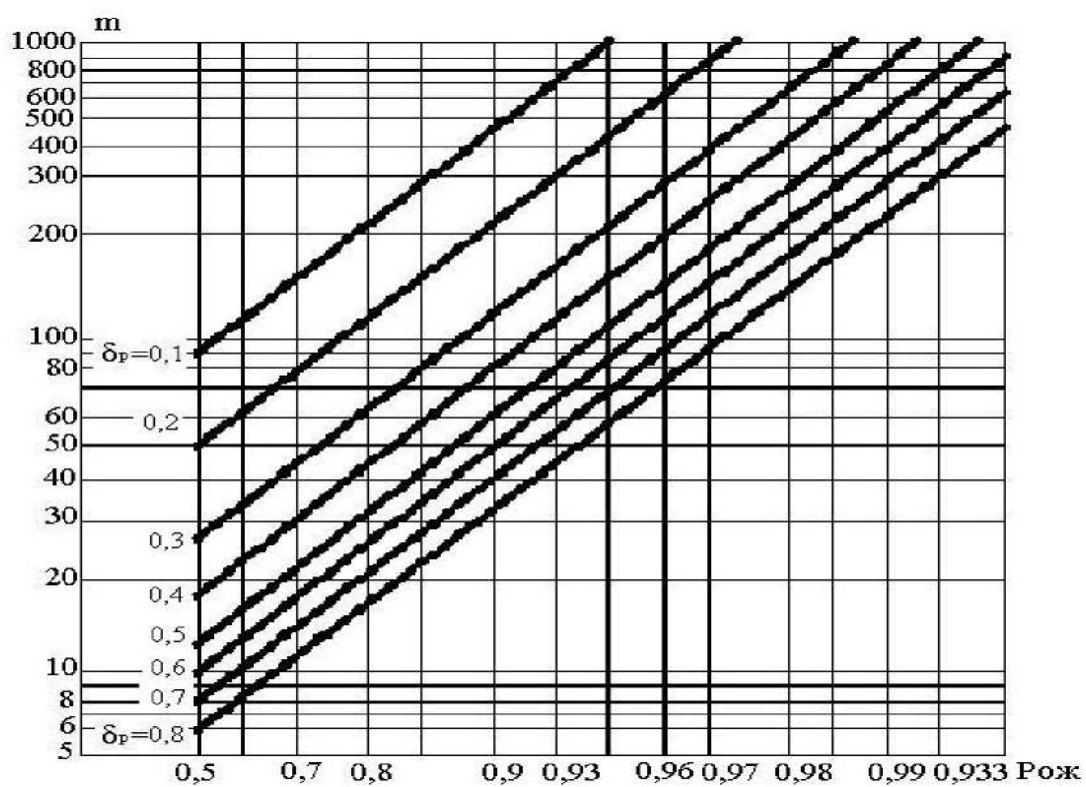
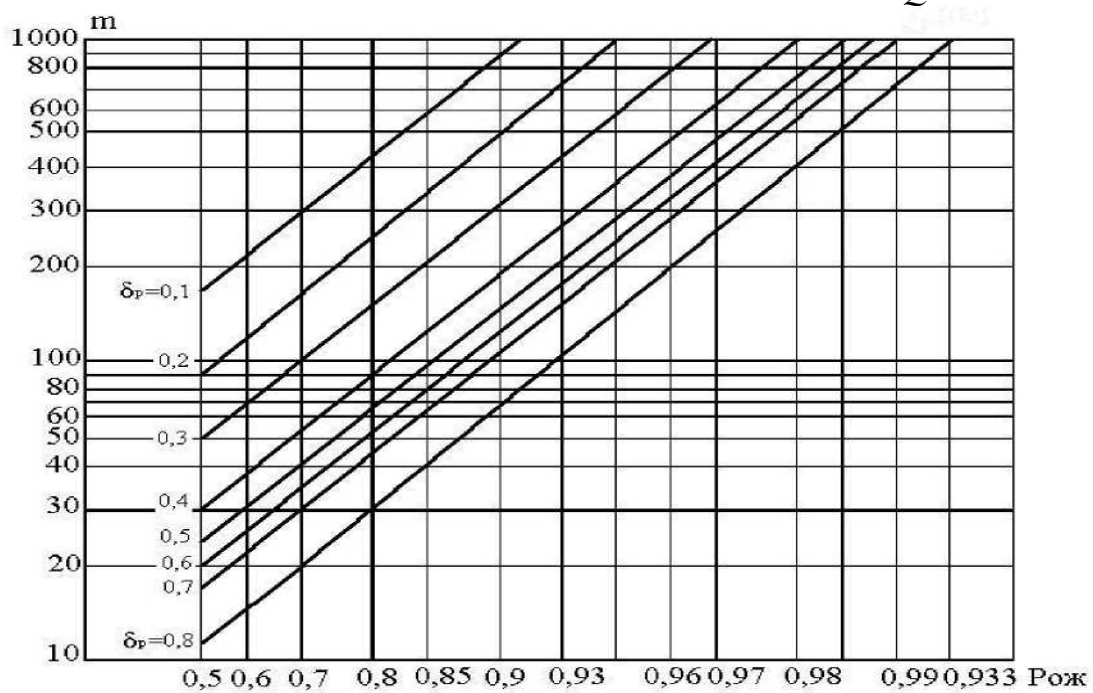
$$\bar{T}_H = 0,758 \cdot 621 = 470 \text{ ч}$$

$$\delta_{\bar{T}} = \frac{\hat{T} - \bar{T}_H}{\hat{T}} = \frac{621 - 470}{621} = 0,24$$

Т.е. требования к точности выполнены.

Если требования к точности не выполняются, то необходимо провести дополнительные испытания. Планируются и проводятся дополнительные испытания аналогично рассмотренной методике.

$Q=0.9$



2.4 СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ КРИТЕРИЕВ НАДЕЖНОСТИ

Результаты эксплуатации РЭСИ и ее элементов могут быть использованы для получения экспериментальных значений их критериев надежности.

Такие критерии всегда являются приближенными, так как получены по ограниченному объему экспериментальных данных и, следовательно, всегда содержат элемент случайности. Ошибку критерия надежности, полученного экспериментальным путем, можно оценить с помощью доверительного интервала (при заданной доверительной вероятности). *Доверительным интервалом* называют область всех возможных значений критерия надежности, которые могут быть получены в результате данного эксперимента. Доверительная вероятность указывает, насколько вероятно нахождение экспериментального значения критерия надежности внутри границ доверительного интервала.

Любое приближенное значение X^* критерия X надежности, вычисленное на основе ограниченного числа реализаций, называется *оценкой критерия*. Естественно, чтобы при увеличении n она приближалась (сходилась по вертикали) к искомому параметру распределения X . Оценка, обладающая таким свойством, называется *состоятельной*. Желательно также, чтобы при использовании оценки X^* вместо действительного значения X критерия надежности не было математической ошибки в расчетах, т.е. чтобы выполнялось условие $m(x^*)=x$. Оценка, удовлетворяющая такому условию, называется *несмещенной*. Особенно это важно при малом объеме экспериментальных данных. И, в третьих, желательно, чтобы выбранная оценка имела по сравнению с другими наименьшую дисперсию. Такая оценка называется *эффективной*.

Практически не всегда удается найти оценку критерия, которая бы удовлетворяла всем перечисленным требованиям.

Вид формулы оценки критерия надежности зависит от его закона распределения, и от типа выборочного плана испытаний (или эксплуатации).

Рассмотрим правила определения оценок и доверительных границ для параметров экспоненциального распределения и распределения Пуассона.

Определение данных параметров проводится для расчета характеристик надежности по результатам специально организованных испытаний. В нижеследующей таблице приведем характеристики 12 наиболее часто встречающихся планов испытаний на надежность:

Таблица 2.5 – Характеристики планов испытаний на надежность

План, индекс плана j , выражения для m_j, S_j	Описание плана
1	2
Планы для объектов не восстанавливаемых в процессе испытаний	
1. $[N, R, T,]$ $0 \leq m_1 \leq N$ $S_1 = N - T$ m - число отказов S - наработка	План испытаний, согласно которому начинают испытывать N объектов; отказавшие во время испытаний объекты заменяются новыми, а испытания прекращаются по истечении времени T .
2. $[N, R, r]$ $m_2 = r > 0$ $S_2 = N - X_r$ X_r - наработка i -го объекта до r отказа	План испытаний, согласно которому начинают испытывать N объектов, отказавшие во время испытаний объекты заменяются новыми, а испытания прекращаются, когда число отказавших объектов достигает r .
3. $[N, R, (r, T)]$ $S_3 = S_1$ или S_2 $m_3 = m_1$ или m_2 (см. п.2)	План испытаний, согласно которому начинают испытывать N объектов, отказавшие во время испытаний объекты заменяются новыми, а испытания прекращаются, когда число отказавших объектов достигает r , или по истечении времени T - в зависимости от того, какое из этих условий будет выполнено раньше.
4. $[N, U, T]$ $0 \leq m_4 \leq N$ $S_4 = \sum_{i=1}^{m_4} X_i + (N - m_4) \cdot T$	План испытаний, согласно которому начинают испытывать N объектов, отказавшие во время испытаний объекты новыми не заменяются, а испытание прекращается по истечении времени T
5. $[N, U, r]$ $m_5 = r > 0$ $S_5 = \sum_{i=1}^{m_5} X_i + (N - m_5) \cdot X_i$	План испытаний, согласно которому начинают испытывать N объектов, отказавшие объекты новыми не заменяются, а испытания прекращаются, когда число отказавших объектов достигает r . При $r = N$ имеет случай полностью определенной выборки.
6. $[N, U, (r, T)]$ $m_6 = m_4$ или m_5 $S_6 = S_4$ или S_5	См. п.3
Планы для восстанавливаемых объектов	
7. $[N, M, T]$ $m > 0$ $S_7 = N - T$	План испытаний, согласно которому испытаниям подлежат N объектов; после каждого отказа работоспособность каждого объекта восстанавливается, объекты испытываются до наработки T .
8. $[N, m, r]$ $m_8 = N \cdot r > 0$	План испытаний, согласно которому испытаниям подлежат N объектов; после каждого отказа работоспособность объекта восстанавливается, каждый объект испытывается до возникновения у него r отказов

<p>9. $[N, M, (r, T)]$ $0 \leq m_9 \leq Nr$ $0 \leq S_9 \leq NT$</p>	<p>План испытаний, согласно которому испытаниям подлежат N объектов; после каждого отказа работоспособность объекта восстанавливается, каждый объект испытывается либо до возникновения у него r отказов, либо до наработки T, в зависимости от того, какое из этих условий будет выполнено раньше</p>
<p>10. $[N, m, r_\Sigma]$ $m_{10} = r_\Sigma > 0$ $S_{10} = \sum_{k=1}^N X_k''$ X'' -наработка K-го элемента полностью за время испытаний.</p>	<p>План испытаний, согласно которому испытаниям подлежат N объектов; после каждого отказа работоспособность объекта восстанавливается, испытания прекращаются при возникновении суммарного числа r_Σ отказов с учетом всех объектов</p>
<p>11. $[N, M, T_\Sigma]$ $m_{11} \geq 0$ $S_{11} = T_\Sigma$</p>	<p>План испытаний, согласно которому испытаниям подлежат N объектов; после каждого отказа работоспособность объекта восстанавливается, испытания прекращаются при получении T_Σ суммарной наработки всех объектов</p>
<p>12. $[N, M, (r_\Sigma, T_\Sigma)]$ $m_{12} = m_{10}$ или m_{11} $S_{12} = S_{10}$ или S_{11}</p>	<p>План испытаний, согласно которому испытаниям подлежат N объектов; после каждого отказа работоспособность объекта восстанавливается, испытания прекращаются при возникновении суммарного числа r_Σ отказов с учетом всех объектов или при получении T_Σ - суммарной наработки всех объектов, в зависимости от того, какое из этих условий будет выполнено раньше</p>

Все планы можно разделить на три группы:

планы с индексом R, т.е. планы испытаний не восстанавливаемых изделий, согласно которым отказавшие во время испытаний изделия заменяются новыми;

планы с индексом U, т.е. планы испытаний невосстанавливаемых объектов, согласно которым отказавшие изделия не заменяются новыми;

планы с индексом M, т. е. планы испытаний восстанавливаемых объектов, согласно которым после отказа работоспособность объекта восстанавливается.

Таким образом при обозначении плана испытаний:

- *первая буква* обозначения плана означает, что на испытание было поставлено N изделий;
- *вторая буква* - характеризует выборку (возвратная или безвозвратная);
- *третья буква* r, T - обозначает ограничение испытаний, т.е.:

r - испытания ведутся до получения ожидаемого числа отказов r ;

T - испытания прекращаются по истечении заданного времени T ;

При испытании невосстанавливаемых объектов по плану NUr при $r=N$ получаем полностью определенную выборку, т.е. такую выборку, в которой все значения X_1, X_2, \dots, X_n случайной величины X определены. При остальных планах испытаний получают не полностью определенные выборки, т.е. такие в которых известны m значений случайной величины X ($m < n$)/

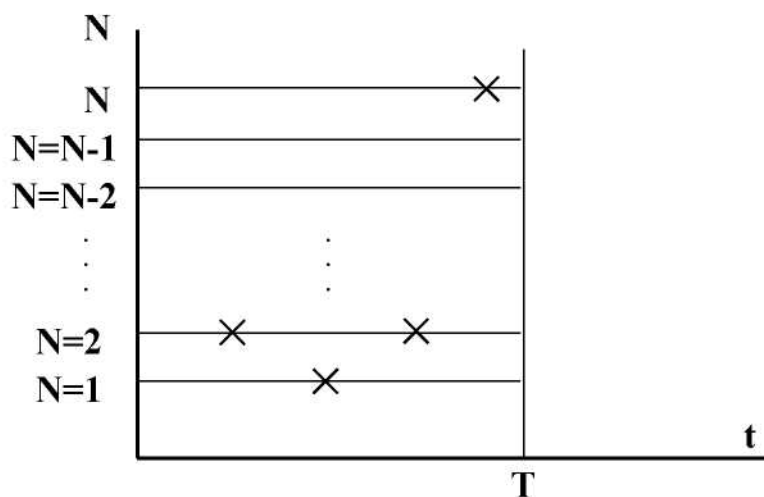
При испытании восстанавливаемых объектов по плану NMr при любом r получают полностью определенную выборку, при прочих - не полностью определенные выборки.

Планы испытаний $[N, U, (r, T)], [N, M, (r, T)], [N, R, (r, T)], [N, M, (r_\Sigma, T_\Sigma)]$ называют *двойственными*, в отличие от остальных простых планов.

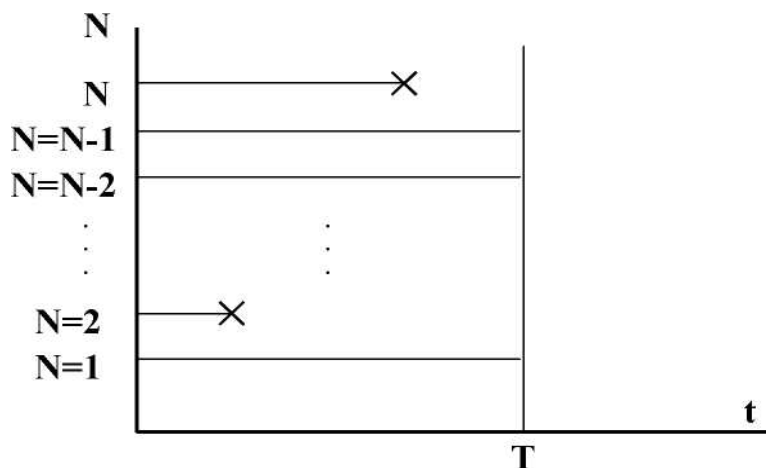
При испытании по двойственным планам получают обычно результат, соответствующий одному из двух простых планов, кроме плана $[N, M, (r, T)]$.

Дадим графическую интерпретацию отдельных планов:

NRT



NUT



2.4.1 Определение оценок параметров экспоненциального распределения

Экспоненциальное распределение имеет один параметр λ , который связан со средним значением α случайной величины X соотношением: $\lambda=1/\alpha$; Таким образом в дальнейшем, оценку среднего значения α случайной величины X будем обозначать через X , оценка параметра λ будет обозначаться через λ .

Выражения для оценки параметров X и λ приведены в таблицах 2.6, 2.7

Таблица 2.6 – Выражение для оценки X

Случай	X
1. Полностью определенная выборка	Несмещенная оценка $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$
2. Испытания по планам [NRT], [NMT], [NMT $_{\Sigma}$]	Смещенная оценка при $m > 0$ S/m
3. Испытание по плану [NUT]	Смещенная оценка при $m > 0$ S/m
4. Испытания по планам [NRr], [NUr], [NMr], [NMr $_{\Sigma}$]	Несмещенная оценка при $m > 0$ S/m

S - суммарная наработка объекта во время испытаний;

m - суммарное число отказов ($m > 0$).

Данной таблицей можно пользоваться и для двойственных планов, входя в данную таблицу с тем простым планом, к которому привели результаты испытаний по двойственному плану.

Рассмотрим выражения для оценки λ для различных планов:

Таблица 2.7 – Выражения для оценок λ

Случай	λ
1. Полностью определенная выборка	Несмещенная оценка при $n > 1$ $\frac{n-1}{\sum_{i=1}^n X_i}$
2. Испытания по планам: [NRT], [NMT], [NMr $_{\Sigma}$]	Смещенная оценка при $n=1$ $1/x1$
3. Испытания по плану [NUT]	Смещенная оценка m/S
4. Испытания по планам [NRr], [NUr], [NMr], [NMr $_{\Sigma}$]	Несмещенная оценка при $m > 1$ $m-1/S$ Смещенная оценка при

2.4.2 Определение доверительных границ для параметров экспоненциального распределения

Выражения для λ_H и λ_B , α_H и α_B при односторонней доверительной вероятности представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Значения параметров α_H , α_B , λ_H , λ_B

Случай	α_H	α_B	λ_H	λ_B
1. Полностью определенная выборка.	$r_3 * X$	$r_1 * X$	$n > 1$ λ/r_5 $n = 1$ λ/r_1	$n > 1$ λ/r_4 $n = 1$ λ/r_3
2. Испытания по планам [NRT]; [NMT]; [NMT $_{\Sigma}$]	$m > 0$ $r_2 * X$ $m = 0$ S/r_0	$m > 0$ $r_1 * X$ $m = 0$ ∞	$m > 0$ λ/r_1 $m = 0$ 0	$m > 0$ λ/r_2 $m = 0$ r_0/S
3. Испытания по плану [NUT]	$m > 0$ $-T/\ln P_H$ $m = 0$ S/r_0	$m > 0$ $-T/\ln P_B$ $m = 0$ ∞	$m > 0$ $-\ln P_B/T$ $m = 0$ r_0/S	$m > 0$ $-\ln P_H/T$ $m = 0$ r_0/S
4. Испытания по планам [NRr]; [NUr]; [NMr]; [NMr $_{\Sigma}$]	$R_3 * X$	$R_1 * X$	$m > 1$ λ/r_5 $m = 1$ λ/r_1	$m > 1$ λ/r_4 $m = 1$ λ/r_3

Значения оценки λ определяется по соответствующей строке таблицы 2.8, коэффициенты $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_0$ определяются по соответствующим графам таблиц по доверительной вероятности γ , значениям m и n .

Доверительные границы для α плана [NUT] находят из п.3 таблицы 2.8, при этом:

$$P_H = 1 - \frac{m}{NR_2} \quad (2.4.1)$$

$$P_B = 1 - \frac{m}{NR_1}, \quad (2.4.2)$$

где

$$R_1 = r_1 \cdot \left(1 - \frac{m}{2N}\right) + \frac{m}{2N}; \quad (2.4.3)$$

$$m < \frac{N-1}{2} \quad (2.4.4)$$

$$R_2 = r_2 \cdot \left(1 - \frac{m}{2N}\right) + \frac{m}{2N}; \quad (2.4.5)$$

$$R_1 = \frac{m \cdot (N + m + 1 + \frac{N - m}{r_2})}{N \cdot (N + m + 1 - \frac{N - m}{r_1})}; \quad (2.4.6)$$

$$m \geq \frac{N-1}{2}. \quad (2.4.7)$$

$$R_2 = \frac{m \cdot (N + m + 1 + \frac{N - m}{r_1})}{N \cdot (N + m + 1 - \frac{N - m}{r_2})}; \quad (2.4.8)$$

Коэффициенты r_1 и r_2 находят по таблице в зависимости от значения j и m .

Коэффициенты r_1' и r_2' находят по этим же таблицам, в которые входят по значениям j и $m'=N-m$.

Доверительные границы для λ_H и λ_B в случае плана $[N, U, T]$ находят с помощью уравнений предыдущего пункта при:

$$\lambda_H = \frac{1}{a_B}; \lambda_B = \frac{1}{a_{II}}. \quad (2.4.9)$$

2.4.3 Распределение Пуассона

Распределение Пуассона имеет один параметр a , который равен математическому ожиданию случайной величины. Оценка данного параметра дается формулой:

$$a = K, \quad (2.4.10)$$

где K - наблюдаемое значение случайной величины.

Соответственно:

$$\alpha_H = K/r_1 \quad \text{и} \quad \alpha_B = K/r_2, \quad \text{если } K \neq 0. \quad (2.4.11)$$

Если $K=0$, $\alpha_H=0$, $\alpha_B=r_0$, то соответственно r_0 , r_1 , r_2 находят по соответствующим таблицам по значению j и $m=K$.

Если из партии изделий объема N берется выборка объема n , то случайное число K дефектных изделий в выборке имеет Пуассоновское распределение при выполнении 2-х условий:

- $n < 0,1N$,
- доля q дефектных изделий в партии не превосходит 0,1.

При выполнении этих условий $a = n \cdot q$

Оценка доли дефектных изделий q в партии находят по формуле:

$$q = K/n$$

и доверительные границы:

при $K \neq 0$ имеем $q_H = q/r_1$ и $q_B = q/r_2$,

при $K=0$ имеем $q_B = r_0/n$ и $q_H = 0$.

2.5 МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

2.5.1 Общие положения

Контрольные испытания на надёжность проводятся для контроля соответствия значений показателей надёжности изделий требованиям стандартов, технических условий или технического задания.

Контрольные испытания на надёжность подразделяются на:

- испытания на безотказность;
- испытания на ремонтпригодность;
- испытания на сохраняемость;
- испытания на долговечность;

Контрольные испытания на долговечность могут включать ресурсные испытания и испытания на срок службы.

Контрольные испытания следует проводить на:

- на безотказность обязательно;
- на ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность, если это предусмотрено стандартами техническими условиями или техническим заданием на конкретные изделия.

Испытания на ремонтпригодность рекомендуется проводить на этапах разработки и типовых испытаниях.

Методика контрольных испытаний на надёжность должна содержать перечень показателей надёжности, подлежащих контролю, а также по каждому контролируемому показателю надёжности следующие данные:

- приёмочный и браковочный уровни;
- риск изготовителя и риск потребителя;
- метод проведения испытаний;
- план испытаний;
- перечень параметров, по которым определяют состояние (работоспособность, исправность и т. д.) изделия, периодичность их проверки в процессе испытания;
- условия испытаний (значения воздействующих факторов, их последовательность, продолжительность и т. д.) и способы контроля работоспособности и восстановления изделий;
- решающие правила.

В методике контрольных испытаний на надёжность также могут указываться:

- пределы изменения параметров питания, значения входных и выходных сигналов, периодичность их измерения;
- требования к испытательному оборудованию и средствам измерения;
- периодичность и содержание профилактических и регламентных работ;
- порядок организации и проведения ремонтных работ, наличие ограничений по запасным инструментам и приборам;
- порядок комплектования выборки и др.

Исходными данными для составления плана контрольных испытаний на надёжность по каждому контролируемому показателю являются:

- приёмочный и браковочный уровни;
- риск изготовителя и риск потребителя.

Контрольные испытания на надёжность могут проводиться ускоренным методом, если определены:

- режим ускоренных испытаний;
- коэффициент ускорения или зависимость между показателями надёжности в нормальном и ускоренном режимах.

2.5.2 Испытания на безотказность

Контрольные испытания изделий на безотказность сводятся к контролю вероятности безотказной работы за заданное время или наработки на отказ (средней наработки до первого отказа).

Для изделий с экспоненциальным законом распределения времени безотказной работы контролируют один из параметров:

- вероятность безотказной работы за заданное время
- или наработку на отказ (среднюю наработку до первого отказа)

Для изделий с нормальным или другим (в том числе неизвестным) законом распределения времени безотказной работы рекомендуется контролировать одно из заданных значений вероятности безотказной работы. При этом берётся значение вероятности безотказной работы за заданное время.

Контрольные испытания на безотказность для контроля вероятности безотказной работы за заданное время при любом законе распределения времени безотказной работы должны проводиться одним из методов:

- одноступенчатым методом с ограниченной продолжительностью испытания (опыта);
- двухступенчатым методом с ограниченной продолжительностью испытаний (опыта).

Одноступенчатый метод позволяет при прочих условиях обеспечить минимальную календарную продолжительность испытаний.

Двухступенчатый метод при тех же условиях позволяет обеспечить минимум среднего объёма испытаний.

2.5.2.1 Одноступенчатый метод с ограниченной продолжительностью испытания

При проведении контрольных испытаний на безотказность одноступенчатым методом с ограниченной продолжительностью испытания план испытаний следует рассчитывать следующим образом:

- выбирают предельную продолжительность испытания t_u ;
- выбирают из стандартов, технических условий или технических заданий или рассчитывают приёмочное и браковочное значения вероятностей безотказной работы за t_u ;

- определяют объём выборки и приёмочное число отказов.

Предельная продолжительность испытания для изделий:

- с неизвестным законом распределения времени безотказной работы должна выбираться равной времени, на которое заданы показатели безотказности;

- с известным законом распределения времени безотказной работы должна выбираться равной, больше или меньше времени, на которое заданы показатели безотказности;

В этом случае предельная продолжительность испытания должна выбираться в зависимости от производственных и технико-экономических факторов (времени, которое может быть отведено на испытания, наличия образцов изделия, числа испытательного оборудования и т. д.).

Приёмочное P_α и браковочное P_β значения уровней вероятности безотказной работы за предельную продолжительность испытания t_u рассчитывают:

- а) при экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы:

если заданы значения интенсивности отказов или параметра потока отказов, по формуле:

$$P(t_u) = e^{-\lambda t_u} . \quad (2.5.1)$$

если заданы значения наработки на отказ или средней наработки до первого отказа, по формуле:

$$P(t_u) = e^{-\frac{t_u}{T}} . \quad (2.5.2)$$

если заданы значения вероятности безотказной работы за время t и предельная продолжительность испытания t_u не равна t , по формуле:

$$P(t_u) = e^{-\frac{t_u}{t} \cdot \ln P(t)} , \quad (2.5.3)$$

где λ — соответственно приёмочное или браковочное значение интенсивности отказов

или параметра потока отказов;

P — соответственно приёмочное или браковочное значение вероятности безотказной работы;

T — соответственно приёмочное или браковочное значение наработки на отказ или средней наработки до первого отказа;

- б) при нормальном законе распределения времени безотказной работы, если предельная продолжительность испытания t_u не равна времени, на которое установлена вероятность безотказной работы t , по формуле

$$P(t) = 0,5 + \Phi(z) , \quad (2.5.4)$$

$$z := \frac{T - t_u}{T - t} \cdot Z_{P} , \text{ при } t \neq T$$

где $P(t_u)$ — соответственно приёмочное или браковочное значение вероятности безотказной работы за t_u ;

$\Phi(z)$ — функция Лапласа;

Z_p — квантиль нормального распределения, соответствующий значению $\Phi(z_p) = P(t) - 0,5$;

$P(t)$ — соответственно приёмочное или браковочное значение вероятности безотказной работы за заданное время.

Объём выборки n (если на каждом образце проводят один опыт) и значение приёмочного числа отказов C определяется в зависимости от значений вероятностей безотказной работы $P_\alpha(t_u)$ и $P_\beta(t_u)$, риска изготовителя и риска потребителя по таблицам.

Испытания и оценку их результатов следует проводить следующим образом.

Образцы изделия, вошедшие в выборку, испытывают в течение t_u . По окончании испытаний определяют число наступивших отказов d . Если d равно или меньше C , результаты контрольных испытаний считают положительными. Если d больше C , результаты контрольных испытаний считают отрицательными.

2.5.2.2 Двухступенчатый метод с ограниченной продолжительностью испытания

При проведении контрольных испытаний на безотказность двухступенчатым методом с ограниченной продолжительностью испытания план испытаний следует рассчитывать следующим образом:

- выбирают предельную продолжительность испытания t_u ;
- выбирают из стандартов, технических условий или технических заданий на изделия или рассчитывают приёмочное и браковочное значения вероятности безотказной работы за t_u ;
- определяют объём выборки и приёмочное число отказов для первой и второй ступени.

Предельная продолжительность испытания должна выбираться аналогично одноступенчатому методу. При этом предельная продолжительность испытания первой и второй ступени равны.

Приёмочное P_α и браковочное P_β значения уровней вероятности безотказной работы за предельную продолжительность испытания t_u рассчитывают аналогично одноступенчатому методу.

Объём выборки и значения приёмочных чисел для первой n_1, C_1 и второй n_2, C_2 ступеней испытаний определяют в зависимости от значений вероятности безотказной работы $P_\alpha(t_u), P_\beta(t_u)$, риска изготовителя и риска потребителя по таблице.

Испытания и оценка их результатов должны проводиться следующим образом.

Образцы изделия, вошедшие в первую выборку, испытывают в течение t_u . По окончании первой ступени испытаний определяют число наступивших отказов d_1 .

Если d равно или меньше приёмочного числа отказов C_1 то результаты

контрольных испытаний считают положительными.

Если d_1 больше суммарного приёмочного числа отказов (C_1+C_2) , то испытания прекращают, результаты испытаний считают отрицательными.

Если d_1 больше C_1 но меньше (C_1+C_2) , то проводят испытания второй ступени.

Образцы изделия, вошедшие во вторую выборку n_2 , испытывают в течение t_u . По окончании второй ступени испытания определяют суммарное число наступивших отказов (d_1+d_2) .

Если (d_1+d_2) меньше или равно (C_1+C_2) , результаты испытаний считают положительными.

Если (d_1+d_2) больше (C_1+C_2) , результаты испытаний считают отрицательными.

Контрольные испытания на безотказность при экспоненциальном законе распределения отказов для контроля наработки на отказ (средней наработки до первого отказа) могут проводиться также:

- одноступенчатым методом с ограниченным числом отказов;
- одноступенчатым методом ограниченной продолжительностью с заменой отказавших изделий;
- одноступенчатым методом ограниченной продолжительностью без замены отказавших изделий;
- методом последовательного анализа.

2.5.3 Метод последовательных испытаний (ГОСТ 17331-71)

Последовательные испытания на надежность относятся к категории контрольных испытаний и проводятся с целью оценки соответствия фактического уровня надежности изделий требуемому.

Планирование и оценка результатов последовательных испытаний проводят по наработке на отказ (среднему времени безотказной работы) испытываемых изделий.

Суть данного метода состоит в следующем:

Первоначально выдвигается гипотеза H_1 о годности партии изделий. При этом имеется альтернативная гипотеза H_2 , в соответствии с которой изделия не годны. В ходе испытаний проверяются данные гипотезы по мере накопления статистического материала.

Получив некоторое количество отказов на определенный момент времени, может быть принято решение:

- принять гипотезу H_1 , отклонив H_2 ;
- принять гипотезу H_2 , отклонив H_1 ;
- продолжить эксперимент, если нет достаточных подтверждений H_1 или H_2 .

Обычно данную задачу решают графическим путем.

Основанием для выбора плана испытаний является:

- риск поставщика α ;
- риск потребителя β ;

- приемочное значение наработки на отказ T_0 ;
- браковочное значение наработки на отказ T_1 ;

В соответствии с ГОСТ 17331-71 определяется отношение T_0 / T_1 и по данному отношению по таблицам стандарта определяют параметры:

$$r_{\text{усеч.}}, c, d, r_0 \text{ и } t_{\Sigma \text{усеч.}} / T_0,$$

где $r_{\text{усеч.}}$ - число отказов, при котором заранее планируется прекращение испытаний на надежность.

По результатам данных значений в прямоугольной системе координат строят график.



Рисунок 2.13 – Графическое изображение плана испытаний.

При наличии отказов изделий в процессе испытаний графиком последовательных испытаний является ступенчатая линия 5, сумма отрезков которой, параллельных оси t_{Σ}/T_0 , численно равна отношению суммарной наработки изделий в данный момент времени t к значению T_0 , а сумма отказов параллельная оси r , равна числу отказов изделий к моменту t .

При отсутствии отказов изделий в процессе испытаний графиком последовательных испытаний на надежность является прямая линия, совпадающая с осью t_{Σ}/T_0 , при этом величина суммарной наработки t_{Σ} в процессе испытаний определяется по формуле:

$$t_{\Sigma} = n \cdot t. \quad (2.5.5)$$

При последовательных испытаниях на надежность с восстановлением работоспособности отказавших изделий или с заменой отказавших изделий новыми, суммарная наработка определяется по формуле:

$$t_{\Sigma} = n \cdot t - \sum_{i=1}^r t_{iB}, \quad (2.5.6)$$

где t_{iB} - длительность восстановления работоспособности i -го из r отказавших изделий.

При последовательных испытаниях без восстановления работоспособности изделий или без замены отказавших новыми

$$t_{\Sigma} = (n - r) \cdot t + \sum_{i=1}^r t_i, \quad (2.5.7)$$

где t_i - наработка до отказа i -го из r отказавших изделий.

Последовательные испытания на надежность заканчиваются вынесением решения о соответствии надежности партии изделий установленным требованиям, если:

- график достигает линии соответствия, т.е. линии 2, т.е.

$$t_{\Sigma} \geq t_{\Sigma \text{ПРИЕМ.}}. \quad (2.5.8)$$

• если число отказов изделий в процессе испытаний $r < r_{\text{УСЕЧ}}$ и $t_{\Sigma} > t_{\Sigma \text{УСЕЧ}}$, т.е. график достигает отрезка 4 прямой.

Последовательные испытания заканчиваются вынесением решения о несоответствии надежности партии изделий установленным требованиям, если:

- $t_{\Sigma} \leq t_{\Sigma \text{БРАКОВ}}$, т.е. график достигает линии 1;
- $r = r_{\text{УСЕЧ}}$ и $t_{\Sigma} < t_{\Sigma \text{УСЕЧ}}$, т.е. график достигает отрезка 3.

2.5.4 Метод непрерывных испытаний

Сущность данного метода испытаний заключается в непрерывном отборе и постановке изделий на испытания в течение контролируемого периода. При этом изделия отбирают равными группами через равные промежутки времени:

$$t' = t_{\text{КП}} / k, \quad (2.5.9)$$

где $t_{\text{кп}}$ - контролируемый промежуток времени, k - число групп изделий.

$$K = n / n_i, \quad (2.5.10)$$

где n - объем выборки, необходимый для подтверждения значения P_2 за время t_r ,

n_i - число изделий в каждой группе.

Группа изделий снимается с испытаний по истечении времени t_r . Оценка результатов непрерывных испытаний производится после окончания испытаний последней группы. Если суммарное число отказавших изделий во всех группах за время t_r не превышает приемочного числа C - то это означает, что заданная вероятность P_2 безотказной работы обеспечивается.

Основной недостаток метода - большие затраты времени для получения результатов. Данный метод применяется, в основном, для отработанного ТП. При этом все изделия, изготовленные за оцениваемый период времени можно рассматривать как единую партию, а последовательные выборки из партии - как групповые выборки.

2.5.5 Графический метод

Основан на использовании семейства кривых распределения Пуассона, характеризующих зависимость вероятности числа u отказавших изделий, меньшего приемочного числа C (или равного ему), от значения параметра a . Графически зависимость $p(d < C) = f(a)$ представлена на рисунке 2.14 семейством кривых для различных значений C . Значение параметра a с достаточной

точностью описывается выражением $a = nQ$, где Q — вероятность отказа. Величина a есть математическое ожидание случайной величины — числа u отказавших изделий.

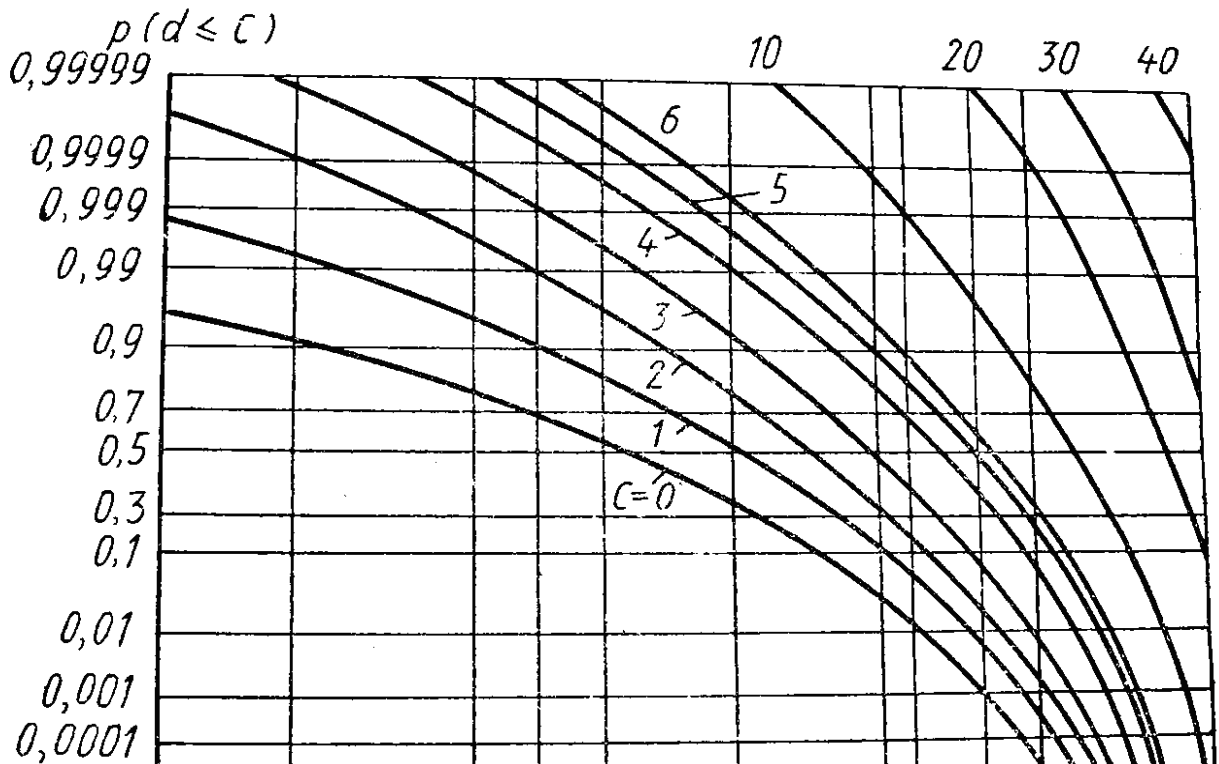


Рисунок 2.14 – Зависимость вероятности отказа d изделий, распределенной по закону Пуассона, от параметра a .

Приведенные на рисунке 2.14 кривые являются аккумулярованными (накопленными). Например, для значения $a=2$ вероятность отказа трех и менее изделий состав-т 91 %, а двух (и менее) изделий — примерно 75%. Следовательно, разность этих двух значений равна вероятности отказа трех изделий, т.е. 16%. Таким образом, рассмотренные кривые могут быть использованы для определения вероятности числа отказавших изделий и для расчета планов контроля, которые формируют по одному (P_2) или по двум (P_1 и P_2) заданным значениям вероятности безотказной работы.

План контроля по заданному значению P_2 составляют при определенных значениях t_2 и β . Для определения необходимого объема выборки задаются значением приемочного числа C . Далее по графику распределения Пуассона (рисунок 2.14) находят точку пересечения кривой, соответствующей выбранному значению C , с горизонтальной линией, которая представляет вероятность появления числа отказов $d < C$ (эта вероятность равна заданному риску β заказчика).

Проекция точки пересечения на ось абсцисс дает величину $a = nQ$. Разделив полученное значение a на заданное значение ($Q_2 = 1 - P_2$), \neq рассчитывают объем выборки для испытания в течение времени $t_u = t_2$:

$$n = a / (1 - P_2) \quad (2.5.11)$$

Более точное значение n можно получить из соотношения

$$n = C/2 + a(1 + P_2)/[2(1 - P_2)]. \quad (2.5.12)$$

Поскольку формулы (2.5.11) и (2.5.12) дают результаты, которые мало отличаются друг от друга, на практике обычно применяют более простую для расчета n формулу (2.5.11).

План контроля по двум заданным значениям составляют при соответствующих значениях вероятностей P_1 и P_2 . Приемочное число C и необходимый объем выборки n определяют по графику распределения Пуассона (рисунок 2.14) Для этого находят точку пересечения кривой при $C = 0$ с горизонтальной линией, представляющей, вероятность того, что в выборке при заданном риске a изготовителя имеются отказавшие изделия т. е. $p(d > C) = 1 - a$.

Проекция этой точки на ось абсцисс дает значение $a_1 = n' Q_1$. Деля полученное значение a_1 на $Q_1 = 1 - P_1$, получают необходимый объем выборки n' . Точно так же находят точку пересечения той же кривой $p(a)$ для $C = 0$ с горизонтальной линией, представляющей вероятность отсутствия отказавших изделий в выборке при заданном риске заказчика ($p = \beta$). При этом на оси абсцисс получают значение $a_2 = n'' Q_2$. Деля значение a_2 на $Q_2 = 1 - P_2$, определяют объем выборки n'' . Если значения n' и n'' не равны, то расчет повторяют, но уже для кривой $p(a)$ при $C = 1$. Если полученные значения n' и n'' опять окажутся неравными, переходят на кривую $p(a)$ с большим значением C и так до тех пор, пока не будет найдена кривая, для которой значения n' и n'' совпадут. Приемочное число C выбирают соответствующим найденной кривой $p(a)$, а объем выборки $n = n' = n''$.

Однако не всегда можно добиться равенства значений n' и n'' при заданных a и β . Поэтому должно быть принято решение, как велики могут быть эти риски. Если Желательно поддержать заданный риск изготовителя, то при неравенстве $n' \neq n''$ следует принять объем выборки, полученный исходя из риска изготовителя, т.е. $n = n'$. Тогда риск заказчика можно найти с помощью графика распределения Пуассона, предварительно вычислив величину $a_2 = n'(1 - P_2)$. Если заказчика устроит полученный риск, задачу можно считать решенной. В противном случае объем выборки необходимо изменить для лучшего приближения к желаемому результату. Значение рисков заказчика и поставщика можно сделать равными, усредняя те два неравных объема выборки, которые лучше всего удовлетворяют поставленным условиям.

2.5.6 Испытания на ремонтпригодность

Контрольные испытания на ремонтпригодность должны проводиться для контроля среднего времени восстановления или вероятности восстановления за заданное время.

Контроль среднего времени восстановления должен быть сведён к контролю вероятности восстановления. В этом случае контрольные испытания

можно проводить только при известном законе распределения времени восстановления.

Контрольные испытания на ремонтпригодность следует проводить в случаях, когда к изделиям предъявляют требования в части восстановления в условиях эксплуатации на объекте, только при устранении отказов, выявленных в период между плановыми ремонтами и техническим обслуживанием.

Контрольные испытания на ремонтпригодность следует проводить на образцах изделия, отказы которых получают искусственно путём моделирования.

Допускается использовать отказы, полученные при проведении испытаний на безотказность, сохраняемость и долговечность.

При моделировании отказов число отказов по каждой причине их возникновения в общем числе отказов, необходимых для проведения контрольных испытаний на ремонтпригодность, должно быть пропорционально вероятности его появления.

Вероятность появления отказов определяют в условиях эксплуатации или при исследовательских испытаниях. Допускается аналитически определять вероятность появления отказов по каждому виду.

На одном образце изделия не должно одновременно моделироваться больше одного вида причин отказа (под причиной отказа понимают изменение физического состояния элемента изделия, которое привело к отказу изделия).

При проведении испытаний на ремонтпригодность должны быть соблюдены следующие условия:

- персонал (по количеству и квалификации), оборудование и оснастка, используемые для проведения ремонта, — в соответствии с инструкцией по техническому обслуживанию.

До начала ремонта сведения о месте и виде отказа не должны доводиться до персонала;

- поиск причины отказа, ремонт и проверку работоспособности изделия после ремонта производят по методике, предусмотренной конструкторской документацией, и с применением ремонтного комплекта запасных инструментов и приборов;

- при проведении контрольных испытаний на ремонтпригодность учитывают только время, затраченное на отыскание и устранение дефектов.

Время, вызванное отсутствием и поиском запасных частей, предусмотренных ремонтным комплектом запасных инструментов и приборов, материалов, оборудования и инструмента, предусмотренных конструкторской документацией, не учитывается при контрольных испытаниях на ремонтпригодность;

- в случае возникновения «вторичного отказа», вызванного ошибками ремонтного персонала, время на его устранение учитывают вместе со временем устранения основного отказа. В общем числе восстановлений восстановление «вторичного отказа» не учитывают.

Контрольные испытания на ремонтпригодность для контроля вероятности восстановления за заданное время восстановления при любом законе

распределения времени восстановления следует проводить одним из методов:

- одноступенчатым с ограниченной продолжительностью испытания;
- двухступенчатым с ограниченной продолжительностью испытания, когда необходимо обеспечить минимум среднего объёма испытаний.

2.5.6.1 Одноступенчатый с ограниченной продолжительностью испытания.

План испытаний следует рассчитывать следующим образом:

- выбирают предельную продолжительность испытания t_{IB} ;
- выбирают из стандартов, технических условий или технического задания на изделия или рассчитывают приёмочные и браковочные значения вероятности восстановления за t_{IB} ;
- определяют число отказов, необходимое для проведения контрольных испытаний, и приёмочное число невосстановлений.

Предельную продолжительность испытания рекомендуется выбирать равной времени, на которое задана вероятность восстановления t_g , с учётом факторов аналогичных тем, которые относятся к испытаниям на безотказность.

Значения приёмочного $P_{\alpha g}(t_{IB})$ и браковочного $P_{\beta g}(t_{IB})$ уровней вероятности восстановления за предельную продолжительность испытания t_{IB} рассчитывают:

а) при экспоненциальном законе распределения времени восстановления

- если задана вероятность восстановления и t_m не равно t_g по формуле

$$P_B(t_{IB}) := 1 - e^{-\frac{t_{IB} \cdot \ln[1 - P_B(t_g)]}{t_g}} \quad (2.5.13)$$

- если задано среднее время восстановления по формуле

$$P_B(t_{IB}) := 1 - e^{-\frac{t_{IB}}{t_m}} \quad (2.5.14)$$

где $P(t_{IB})$ — соответственно приёмочное или браковочное значение вероятности восстановления за время восстановления одного отказа, принятое для испытаний;

$P_g(t)$ — соответственно приёмочное или браковочное значение вероятности восстановления;

t_g — соответственно приёмочное или браковочное значение среднего времени восстановления;

t_m — время восстановления одного отказа, принятое для испытаний;

б) при нормальном законе распределения времени восстановления по формулам (2.5.13, 2.5.14), где $P(t)$, T — соответственно показатели ремонтпригодности.

Число отказов n_B , необходимое для испытаний на ремонтпригодность, и приёмочное число невосстановленных отказов C_g определяют по таблицам, где A — соответственно приёмочное и браковочное значение вероятности восстановления, а цифры в клетке: первая — приёмочное число C_g , а вторая — число отказов n_B , необходимое для испытаний.

Допускается на одном образце последовательное получение нескольких отказов, при этом объём выборки меньше требуемого числа

отказов.

Ориентировочная продолжительность испытаний на ремонтпригодность зависит от числа одновременно восстанавливаемых изделий и равна

$$t_{\Sigma} = \frac{t_{ц\%} \cdot n_{\%}}{n_{Б\%}}. \quad (2.5.15)$$

Испытания и оценка результатов должны проводиться следующим образом. Образцы изделия ремонтируют и по окончании испытаний определяют число невосстановлений d_g .

Если d_g меньше или равно C_g , результаты испытаний считают положительными. Если d_g больше C_g , результаты испытаний считают отрицательными.

2.5.6.2 Двухступенчатый метод с ограниченной продолжительностью испытания

План испытаний следует рассчитывать следующим образом:

- выбирают предельную продолжительность испытания t_u ;
- выбирают из стандарта, технических условий или технического задания или рассчитывают приёмочное и браковочное значения вероятности восстановления за t_u ;
- определяют число отказов, необходимое для проведения контрольных испытаний, и приёмочное число невосстановлений C_g .

Предельная продолжительность испытания должна выбираться аналогично одноступенчатому методу. При этом предельная продолжительность испытания первой и второй ступени равны.

Приёмочное P_{α} и браковочное P_{β} значения уровней вероятности восстановления за t_u рассчитывают так же, как и для одноступенчатого метода.

Число отказов n_g , необходимое для испытаний на ремонтпригодность, и приёмочные числа невосстановленных отказов для первой n_{1g} , C_{1g} и второй n_{2g} , C_{2g} в ступенях испытаний определяют в зависимости от значений вероятности восстановления $P_{\alpha g}(t_{ug})$, $P_{\beta g}(t_{ug})$, риска изготовителя и риска потребителя по таблице. (В таблице A_{α} и A_{β} — соответственно приёмочное и браковочное значения вероятности восстановления, а цифры в клетке: число отказов n_{1g} , n_{2g} и приёмочное число C_{1g} , C_{2g}).

Испытания и оценка их результатов должны проводиться следующим образом.

Образцы изделия, вошедшие в первую выборку, ремонтируют и по окончании первой ступени испытаний t_{ug} определяют число невосстановлений d_{1g} .

Если d_{1g} равно или меньше C_{1g} , результаты испытаний считают положительными.

Если d_{1g} больше суммарного приёмочного числа невосстановлений ($C_{1g} + C_{2g}$), то испытания прекращают, результаты испытаний считают отрицательными.

Если d_{1g} больше C_{1g} , но меньше ($C_{1g} + C_{2g}$), то проводят испытания второй

ступени.

Образцы изделия, вошедшие во вторую выборку, ремонтируют и по окончании испытаний определяют $(d_{1e} + d_{2e})$.

Если $(d_{1e} + d_{2e})$ меньше или равно $(C_{1e} + C_{2e})$, результаты испытаний считают положительными.

Если $(d_{1e} + d_{2e})$ больше $(C_{1e} + C_{2e})$, результаты испытаний считают отрицательными.

2.5.7 Испытания на сохраняемость

Контрольные испытания на сохраняемость для контроля гамма процентного срока сохраняемости следует сводить к контролю вероятности сохранения, равной величине гамма за время, равное заданному сроку сохраняемости.

При контрольных испытаниях на сохраняемость изделие должно подвергаться воздействию факторов, указанных в стандартах и технических условиях, для заданных режимов при хранении.

Параметры изделия, определяющие значения эксплуатационных показателей изделия после хранения, могут отличаться от параметров, определяющих безотказность, и должны быть указаны в стандартах и технических условиях на изделие.

В процессе хранения должны проводиться профилактические и регламентные работы, предусмотренные конструкторской документацией на хранение. После хранения перед проверкой должны быть проведены регламентные работы, предусмотренные стандартом или техническими условиями.

Контрольные испытания на сохраняемость рекомендуется проводить одноступенчатым методом с ограниченной продолжительностью испытания. План испытаний в этом случае следует рассчитывать следующим образом:

- выбирают предельную продолжительность испытания t_{ucx} ;
- выбирают из стандартов или технических условий на изделие значение гамма-процентного срока сохраняемости и рассчитывают вероятность сохранения P_{cx} за срок сохраняемости T_{cx} по формуле

$$P_{\rightarrow} = \frac{\gamma}{100} \quad (2.5.16)$$

- определяют число изделий, необходимое для проведения испытания, и приёмочное число.

Предельная продолжительность испытания на сохраняемость t_{ucx} должна выбираться равной заданному гамма-процентному сроку сохраняемости.

Приёмочное и браковочное значения вероятности сохранения за предельную продолжительность испытания t_{ucx} следует рассчитывать:

- а) если показатели безотказности входят в число параметров, определяющих эксплуатационные показатели, то P_{acx} (P_{bcx}) рассчитывают по формулам

$$\begin{aligned} P_{\alpha cx} &= P_{cx} - P_{\alpha} , \\ P_{\beta cx} &= P_{cx} - P_{\beta} , \end{aligned} \quad (2.5.17)$$

где P_{α} — приёмочное значение вероятности безотказной работы;

P_{β} — браковочное значение вероятности безотказной работы;

б) если показатели безотказности не входят в число параметров, определяющих эксплуатационные показатели, приёмочное значение вероятности сохранения за предельную продолжительность испытания $P_{\alpha cx}$ принимают равной P_{cx} , а браковочное значение вероятности сохранения $P_{\beta cx}$ по ГОСТ 13216 —74.

Число изделий, необходимое для проведения испытаний, и приёмочное число C_{cx} следует определять в зависимости от приёмочного $P_{\alpha cx}$, браковочного $P_{\beta cx}$ значения вероятности сохранения, риска изготовителя и риска потребителя по таблицам.

Контрольные испытания на сохраняемость и оценка их результатов должны проводиться следующим образом.

Образцы изделия хранят в течение t_{ucx} и по окончании испытаний подвергают проверке на соответствие требованиям по параметрам, определяющим эксплуатационные показатели изделия, установленным в соответствии с п. 4.3, подсчитывают общее число образцов изделия d_{cx} , не соответствующих указанным требованиям и выявленных в процессе хранения и проверки.

Если d_{cx} меньше или равно приёмочному числу C_{cx} , то результаты испытаний на сохраняемость считают положительными.

Если d_{cx} больше C_{cx} , результаты испытаний на сохраняемость считают отрицательными.

2.5.8 Испытания на долговечность

Контрольные испытания на долговечность следует проводить для контроля среднего ресурса (при известном законе распределения времени до наступления предельного состояния) или гамма-процентного ресурса.

Контроль среднего срока службы следует проводить путём обработки статистических данных, полученных в условиях эксплуатации.

Контрольные испытания при контроле гамма-процентного ресурса и среднего ресурса сводят к контролю вероятности ненаступления предельного состояния за время, равное заданному значению среднего ресурса или гамма-процентного ресурса.

В стандартах, технических условиях на конкретные изделия должны быть определены показатели предельного состояния, в качестве которых могут быть приняты:

- экономическая нецелесообразность дальнейшей эксплуатации изделия;
- изменение значений параметров больше допустимых;
- изменение свойств изделия, при котором дальнейшая эксплуатация изделия становится невозможной;
- потребность в элементе, не предусмотренном ЗИП;

- израсходование ЗИП;
- отсутствие запчастей данного изделия;
- увеличение трудоёмкости (или длительности) ремонта сверхпредельно допустимого, установленного техническим заданием, стандартом или техническими условиями на конкретное изделие;
- отсутствие необходимой аппаратуры для поверки изделия после ремонта;
- другие виды предельного состояния.

Контрольные испытания на долговечность должны быть проведены в условиях, установленных стандартом или техническими условиями на конкретные изделия.

При контрольных испытаниях на долговечность должны быть проведены профилактические, регламентные работы и плановые работы, предусмотренные стандартами, техническими условиями на конкретные изделия.

Контрольные испытания на долговечность рекомендуется проводить одноступенчатым методом с ограниченной продолжительностью испытания. План испытаний следует рассчитывать следующим образом:

- выбирают предельную продолжительность испытания t_{up} ;
- выбирают из стандартов, технических условий на изделие значение гамма-процентного ресурса и рассчитывают вероятность ненаступления предельного состояния P_p за время, равное среднему ресурсу или гамма-процентному ресурсу.

$$P_p = \frac{\gamma}{100} \quad (2.5.18)$$

- определяют число изделий, необходимое для проведения испытаний n_p , и приёмочное число предельных состояний C_p .

Предельная продолжительность испытания на долговечность $t_{ув}$ должна выбираться равной заданному гамма-процентному ресурсу или среднему ресурсу.

Приёмочное P_{ap} и браковочное $P_{\beta p}$ значения вероятности ненаступления предельного состояния за предельную продолжительность испытания следует рассчитывать:

- а) если показатели безотказности входят в число параметров, определяющих предельное состояние изделия по формулам

$$\begin{aligned} P_{ap} &= P_p \cdot p_\alpha; \\ P_{\beta p} &= P_p \cdot p_\beta; \end{aligned} \quad (2.5.19)$$

где P_α — приёмочное значение вероятности безотказной работы;

P_β — браковочное значение вероятности безотказной работы;

- б) если показатели безотказности не входят в параметры, определяющие предельное состояние изделия, то P_{ap} принимают равной P_p , а $P_{\beta p}$ — по ГОСТ 13216-74.

Число изделий, необходимых для проведения испытаний, и приёмочное число предельных состояний C_p следует определять в зависимости от приёмочного P_{ap} и браковочного $P_{\beta p}$ значений вероятности ненаступления предельного состояния, риска изготовителя и риска потребителя по таблицам.

2.5.9 Испытания и оценка их результатов

Образцы изделия испытывают в течение t_{np} , периодически проводят проверку работоспособности изделия, в случае обнаружения отказа восстанавливают изделие. В процессе испытаний разрешается анализировать результаты проверок работоспособности изделия с целью выявления наступления предельного состояния. Образцы изделия, достигшие предельного состояния, снимают с испытания.

По окончании испытаний проверяют образцы изделия, анализируют материалы, накопленные за время испытаний, и определяют общее число образцов d_p , достигших предельного состояния за время испытаний.

Если d_p меньше или равно C_p , результаты испытаний считают положительными.

Если d_p больше C_p , результаты испытания считают отрицательными.

2.5.10 Оформление результатов испытаний

Во время испытаний следует вести журнал, в котором фиксируют:

- тип и краткую техническую характеристику испытываемых изделий;
- дату и время начала испытаний;
- продолжительность испытаний по каждому этапу (намечаемая и фактическая);
- число испытываемых изделий;
- время и результаты измерения контролируемых параметров;
- режим испытаний (цикл, непрерывность испытаний);
- условия проведения испытаний (температура, напряжение сети, относительная влажность, запыленность, вибрация, цикличность и т.д.);
- дату и время проявления отказа;
- характер и причины отказа;
- накопление при испытании числа отказов;
- время простоя, связанное с обнаружением и устранением отказа;
- наименование отказавшего элемента или узла;
- меры, принятые для ликвидации причин отказа;
- время профилактических работ;

По окончании контрольных испытаний на надёжность должен составляться протокол, содержащий:

- тип испытываемых изделий;
- план испытаний;
- дату начала и конца испытаний;
- место проведения испытаний;
- число зафиксированных отказов;
- заключение о соответствии либо несоответствии изделий требованиям технических условий или стандартов в части количественных показателей надёжности.

Протокол должен подписываться лицами, проводившими испытания, и

утверждаться руководством предприятия.

2.5.11 Влияние точности измерительных средств на результаты испытаний

Для последующего анализа и подготовки заключения по результатам испытаний ЭС проводят статистическую обработку измеренных значений параметров - критериев годности. Достоверность полученных результатов определяется погрешностью измерения каждого параметра, объемом исходных статистических данных и качеством их обработки. Для математической обработки наблюдений применяют методы теории вероятности и математической статистики. Существует специфика в обработке данных, полученных при выборочном и сплошном (100%-ном) контроле параметров ЭС.

Выборочный метод является основным, но не единственным при контроле готовой продукции. В условиях опытного и серийного производства ЭС подвергают и сплошному контролю. На первый взгляд может показаться, что проблема риска поставщика и риска заказчика, связанная с выборочным методом контроля, при 100%-ном контроле готовой продукции отсутствует. Однако это не так. Риск и поставщика и заказчика остается и при 100-ном контроле, хотя оба имеют иной смысл, чем при выборочном контроле, поскольку обусловлены существенными погрешностями измерений контролируемых параметров. На рисунке 2.15 показана плотность распределения вероятностей и параметра X изделий до и после их разбраковки

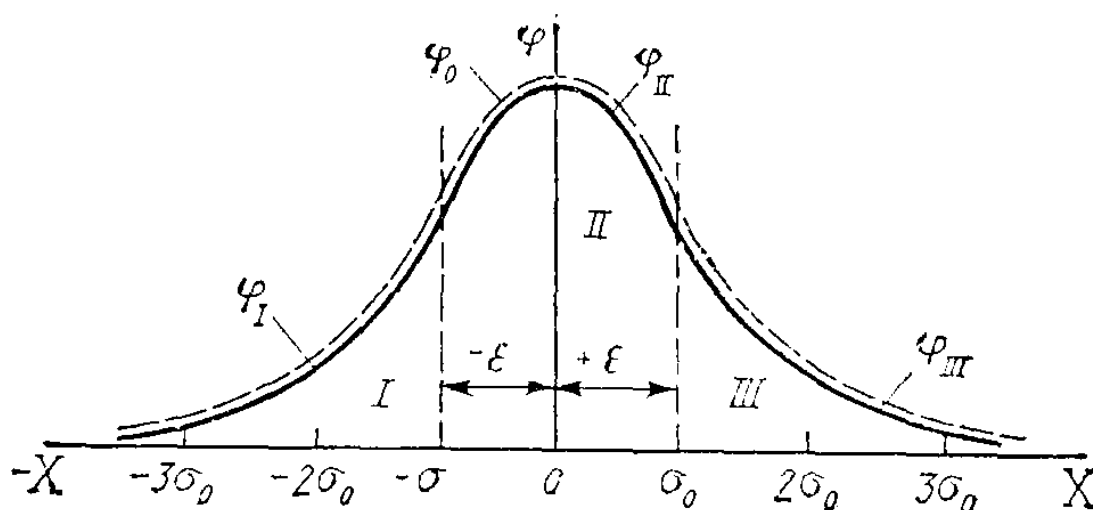


Рисунок 2.15 – Плотность распределения вероятностей параметра A'' изделий при отсутствии погрешностей измерений.

$\varphi(X)$ — до разбраковки; $\varphi_{II}(X')$ — после разбраковки для годных изделий; $\varphi_I(X)$ и $\varphi_{III}(X)$ — для отбракованных изделий при пренебрежимо малых погрешностях измерений. Процесс контроля и измерений в этом случае сводится к разделению площади, ограниченной исходной (в данном случае гауссовской)

плотностью распределения вероятностей $\varphi_0(X)$ параметра X и осью абсцисс, на три области. При этом в область II входят изделия, значения параметра которых находятся в пределах заданного поля допуска $\pm\varepsilon$; в области I и III — изделия со значениями параметра, выходящими за левую и правую границы поля допуска соответственно. Плотность распределения вероятностей параметра годных изделий после их забраковки

$$\varphi_{II}(X) = \frac{\frac{1}{\sigma_0} \Phi' \left(\frac{x_{(II)} - M[X]}{\sigma_0} \right)}{\Phi \left(\frac{\varepsilon - M[X]}{\sigma_0} \right) + \Phi \left(\frac{\varepsilon + M[X]}{\sigma_0} \right)}, \text{ при } -\varepsilon \leq X \leq +\varepsilon,$$

где $\Phi' \left(\frac{x_{(II)} - M[X]}{\sigma_0} \right)$ - функция Гаусса;

$\Phi \left(\frac{\varepsilon \pm M[X]}{\sigma_0} \right)$ функция Лапласа;

$x_{(II)}$ — текущее значение параметра X в области II;

ε — половина поля допуска на ПКГ изделия;

$M[X]$, σ_0 математическое ожидание и дисперсия исходного (гауссовского) распределения $\varphi_0[X]$.

По таблицам Лапласа находим число отбракованных (непринятых) изделий для области I:

$$D_{(I)} = 0,5 - \Phi \left(\frac{\varepsilon + M[X]}{\sigma_0} \right);$$

и для области III

$$D_{(III)} = 0,5 - \Phi \left(\frac{\varepsilon - M[X]}{\sigma_0} \right).$$

Иначе проводят контроль при наличии существенной погрешности измерений ПКГ. В этом случае, хотя изделия при забраковке также разбивают на области I—III, распределение значений параметра в каждой из них, установленное по результатам измерений, не будет совпадать с распределением истинных значений этого параметра. Если отклонение значений параметра от границ поля допуска ($\pm\varepsilon$) превышает ошибку Y измерения, можно считать, что отбраковка выполнена правильно. Если же это отклонение меньше ошибки измерения, отбраковка выполнена неверно, т. е. изделие является фактически годным. При существенных погрешностях измерений определенная часть годных изделий попадает в забракованные (риск поставщика), тогда как часть негодных изделий принимается (риск заказчика).

На рисунке 2.16 представлена плотность распределения вероятностей ПКГ после забраковки при наличии существенных погрешностей измерений:

$$\sigma_m / \sigma_0 = 1/4; \quad -\varepsilon = -\sigma_0 \quad +\varepsilon = +\sigma_0,$$

где σ_m — среднее квадратическое отклонение погрешностей измерений при гауссовском их распределении $\varphi_m(Y)$; σ_0 — среднее квадратическое отклонение значений параметров изделий при гауссовском их распределении $\varphi_0(X)$.

Если общее число изделий в партии до забраковки принять за единицу, то

относительное число отбракованных ($q_{отб}$), правильно оставленных ($q_{ост}$), неправильно отбракованных (фактически годных $q_{фг}$) и неправильно оставленных (фактически негодных $q_{фн}$) изделий можно вычислить с помощью соответствующих соотношений.

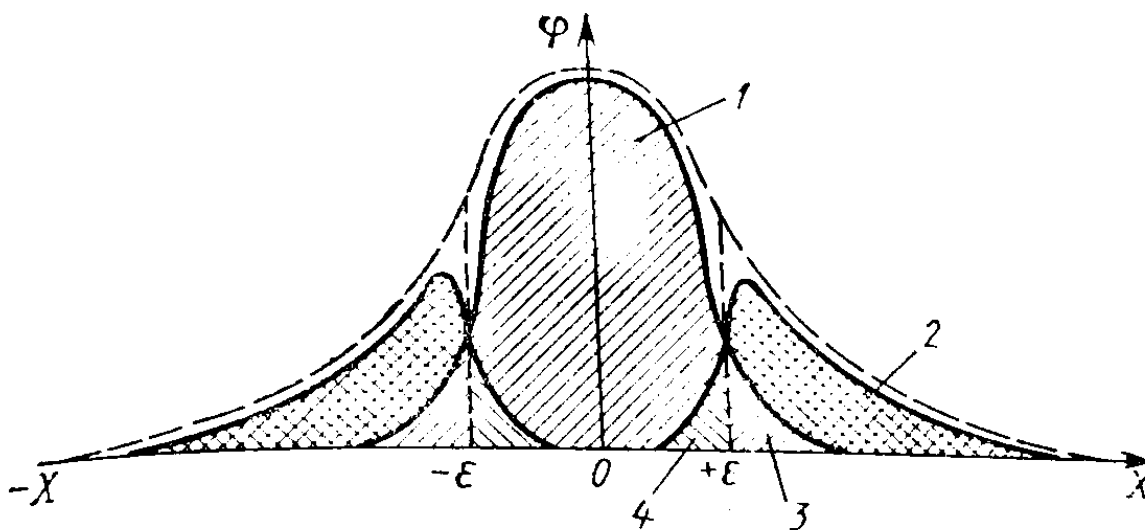


Рисунок 2.16 – Плотность распределения вероятностей ПКГ после разбраковки: 1 – правильно оставленные (годные) изделия ($q_{ост}$); 2 – правильно отбракованные (негодные) изделия ($q_{отб}$); 3 – неправильно оставленные (фактически негодные) изделия ($q_{фн}$); 4 – неправильно отбракованные (фактически годные) изделия ($q_{фг}$).

Плотность распределения вероятностей параметра X после разбраковки изделий при существенных погрешностях измерений (штриховой линией показана плотность распределения вероятностей параметра X после разбраковки изделий в отсутствие погрешностей измерений).

Под гарантированным полем допуска $\pm \varepsilon_2$ понимают допуск, превышение которого не гарантирует работоспособности изделия в период его эксплуатации. Однако гарантированный допуск устанавливают не только на выходные параметры готового изделия, но также и на параметры материалов, заготовок и полуфабрикатов. Гарантированный допуск выбирают с запасом, учитывающим старение изделия. Под производственным полем допуска $\pm \varepsilon_п$ понимают допуск, которым руководствуется поставщик в процессе производства изделий. Очевидно, что $\varepsilon_п < \varepsilon_г$.

С помощью графиков, представленных на рисунке 2.17, можно решить ряд практических задач, например: при заданном гарантированном допуске на ПКГ изделия и с учетом конкретного значения точности измерительных средств определить риски поставщика и заказчика; при запланированном риске поставщика или заказчика и заданном гарантированном допуске определить точность измерительных средств и необходимый производственный допуск; при запланированных рисках поставщика и заказчика и заданных гарантированном и производственном допусках определить необходимую точность измерительных средств.

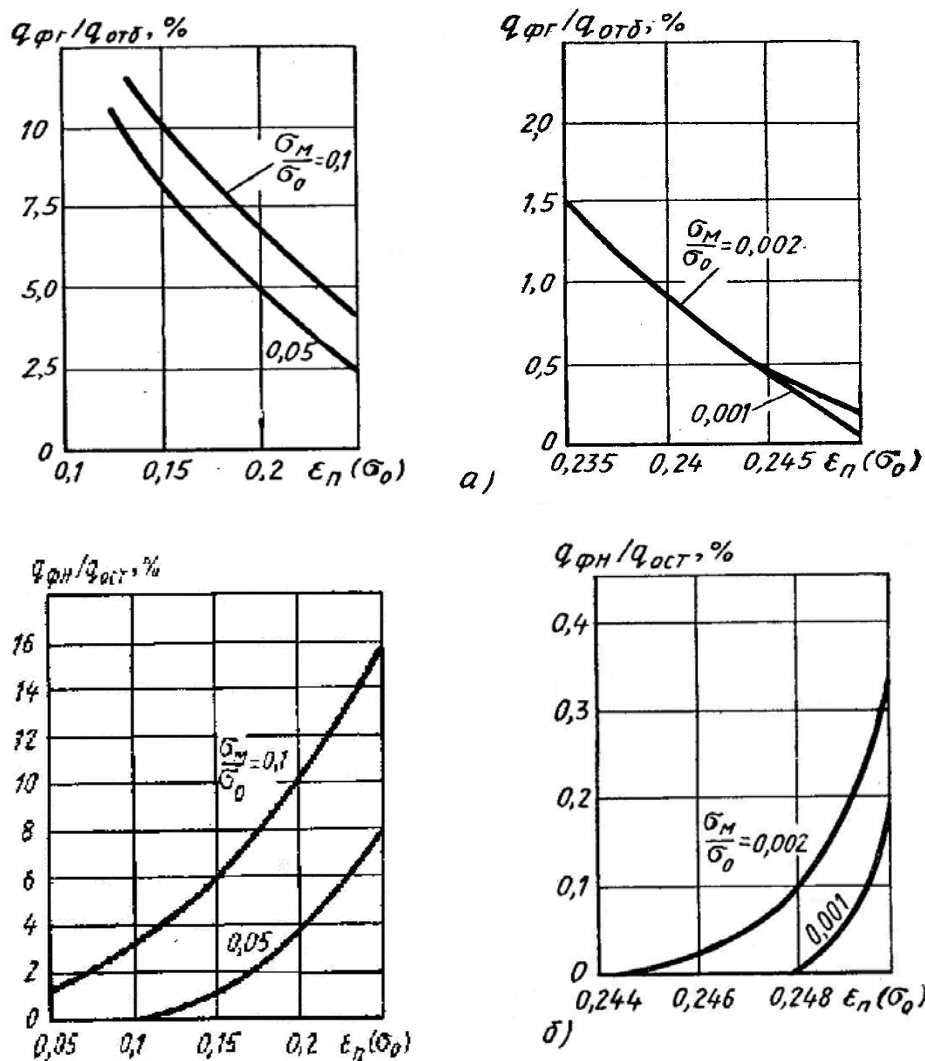


Рисунок 2.17 – Кривые изменения рисков поставщика (а) и заказчика (б) в зависимости от величины допуска и точности измерения ПКГ изделий при $\epsilon_r = \pm 0,25\sigma_0$.

2.5.12 Критерии исключения выбросов ПКГ при статистической обработке результатов испытаний

Важным вопросом обработки результатов испытаний является выбор метода обработки экспериментальных данных. Высокая стоимость испытаний диктует выбор такого метода обработки, который позволяет оперировать малыми выборками. Метод должен предусматривать проведение вычислений на ЭВМ. Поскольку в основном данные результатов испытаний ЭС являются случайными величинами, их обработку осуществляют статистическим методом. При этом можно ограничиться вычислением только основных параметров случайной величины — ее среднего значения (или математического ожидания), дисперсии и доверительных интервалов, которые полностью характеризуют случайную величину (см. § 2.1). При статистической обработке результатов испытаний необходимо своевременно оценить ошибку измерения и исключить значения ПКГ, содержащие ее, из

дальнейшего рассмотрения. При этом иногда наблюдают резко выделяющиеся значения величин (выбросы), которые могут быть обусловлены изменением климатических условий в момент измерений, погрешностью измерительных приборов, ошибками при снятии характеристик вследствие неумелого или небрежного обращения с аппаратурой и др. Резко выделяющиеся значения могут квалифицироваться как ошибки эксперимента. В этом случае они не должны учитываться при обработке результатов испытаний.

С другой стороны, отклонение ПКГ одного или нескольких изделий в выборке может свидетельствовать о начавшихся в них процессах деградации, которые в дальнейшем приведут к условным отказам. В этом случае выбросы являются закономерными, обусловлены физическими процессами и их нельзя исключать из дальнейшего рассмотрения при статистической обработке результатов испытаний. Поэтому для принятия того или иного решения проводят тщательный комплексный анализ возможных причин указанных отклонений. Для такого анализа используют критерии, имеющие как физическую, так и статистическую природу.

При изменении контролируемого параметра по закону Гаусса наиболее часто применяют *критерий Диксона*, согласно которому вычисляют коэффициент Диксона (таблица 2.9) в зависимости от числа изделий в выборке и от того, какое экстремальное значение проверяют - наибольшее или наименьшее. Полученное по приведенным в таблице 2.9 формулам значение коэффициента Диксона сравнивают с табличным значением, учитывающим экстремальное значение ПКГ при заданной достоверности P^* .

Таблица 2.9 – Формулы для расчета коэффициента Диксона при различных объемах выборок и наличии одного одностороннего экстремального (максимального или минимального) значения ПКГ

Число n изделий в выборке	Коэффициент Диксона для экстремального значения ПКГ	
	наименьшего	наибольшего
3-7	$r_{10} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1}$	$r_{10} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}$
8-10	$r_{11} = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-1} - x_1}$	$r_{11} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_2}$
11-13	$r_{21} = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-1} - x_1}$	$r_{21} = \frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_2}$
14-30	$r_{22} = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1}$	$r_{22} = \frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_3}$
Примечание: x_1, x_2, \dots, x_n – текущие значения ПКГ		

Если коэффициент Диксона таблицы 2.9 окажется меньше табличного значения, учитывающего экстремальное значение ПКГ при заданной достоверности P^* , то экстремальное значение ПКГ является не случайным, а носит закономерный характер.

При наличии одновременно наименьшего и наибольшего экстремальных значений ПКГ (двусторонних выбросов) считают, что экстремальное значение одно. При двух (и более) односторонних экстремальных значениях коэффициент Диксона для наименьшего и наибольшего экстремальных значений ПКГ при числе изделий n в выборке, равном 3—10, подсчитывают соответственно по формулам

$$r_{20\min} = \frac{x_3 - x_1}{x_n - x_1}, \quad r_{20\max} = \frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_1}$$

Таким образом, использование соответствующего коэффициента зависит не только от объема выборки, но и от числа «подозрительных» односторонних выбросов ПКГ. Поэтому выбирать рассчитываемый коэффициент следует из таблицы 2.10

Таблица 2.10 – Коэффициенты Диксона при произвольном числе односторонних экстремальных значений ПКГ

Объем выборки	Число односторонних экстремальных значений	
	одно	два и более
3-7	r_{10}	r_{20}
8-10	r_{11}	r_{20}
11-13	r_{21}	r_{21}
14-30	r_{22}	r_{22}

Однако на практике распределение случайной величины не всегда подчиняется закону Гаусса или закон ее распределения вообще неизвестен. В этом случае резко выделяющиеся результаты наблюдений исключают при помощи критерия Ирвина в такой последовательности. По данным измерений строят ранжированный ряд значений ПКГ и проверяют резко выделяющиеся значения ряда на одном или обоих его краях. Для проверки вычисляют значение критерия Ирвина:

$$\eta_{рсч} = (x_{i_3} - x_{i_3-1})/s, \quad 1 \leq x_3 \leq n,$$

где X_{i_3} - экстремальное значение ПКГ;

X_{i_3-1} — предыдущее значение этого параметра;

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

несмещенное выборочное среднее квадратическое отклонение параметра \bar{X} ;

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

выборочное среднее значение параметра X .

Затем задаются доверительной вероятностью P^* и по имеющемуся значению n объема выборки определяют значение $\dot{\eta}_{\text{тбл}}$ (таблица 2.11).

Таблица 2.11 – Значения критерия Ирвина $\dot{\eta}_{\text{тбл}}$ в зависимости от объема n выборки и доверительной вероятности P^*

n	P*		n	P*	
	0,95	0,99		0,95	0,99
2	2,8	3,7	50	1,1	1,6
3	2,2	2,9	100	1,0	1,5
10	1,5	2,0	400	0,9	1,3
20	1,3	1,8	1000	0,8	1,2
30	1,2	1,7			

Далее сравнивают расчетное значение $\dot{\eta}_{\text{рсч}}$ с табличным значением $\dot{\eta}_{\text{тбл}}$. Если $\dot{\eta}_{\text{рсч}}$ окажется больше $\dot{\eta}_{\text{тбл}}$, то рассматриваемое значение ПКГ отбрасывают и начинают проверять следующее его экстремальное значение. Проверку продолжают до тех пор, пока не получат $\dot{\eta}_{\text{рсч}} < \dot{\eta}_{\text{тбл}}$. Тогда все последующие значения ПКГ могут быть использованы для статистической обработки.

Необходимо проверять не только экстремальные значения ряда, но и следующие за ними близлежащие значения ПКГ, причем это необходимо делать даже в том случае, когда крайние значения ряда проходят по одному из приведенных критериев. Исключение резко выделяющихся результатов наблюдений — весьма ответственная процедура. Неправомерное отбрасывание таких результатов, как и игнорирование их, может исказить результаты наблюдений и привести к неправильным выводам.

Результаты измерений значений ПКГ электронных средств удобно представлять в виде таблиц, содержащих оценку среднего значения, а также оценку дисперсии или среднего квадратического отклонения значения измеряемого ПКГ при первоначальном и каждом последующем его измерении. Выбор форм и содержания таблиц должен быть направлен на облегчение дальнейшего анализа и зависит от его целей и методов.

2.5.13 Графические методы представления экспериментальных данных

Для наглядного представления тенденции изменения значений исследуемых ПКГ применяют графические I коды, не требующие сложных вычислений. Наиболее распространенными графиками, к которым прибегают при испытаниях ЭС, являются полигоны, гистограммы, кумуляты, огивы и поля корреляции. *Полигоны* (рисунок 2.18) служат, как правило, для изображения дискретных значений ПКГ, но могут применяться и для непрерывных (интервальный) изменений параметра. В этом случае ординаты,

пропорциональные частотам интервалов восставляют перпендикулярно оси абсцисс в точках соответствующих серединам данных интервалов.

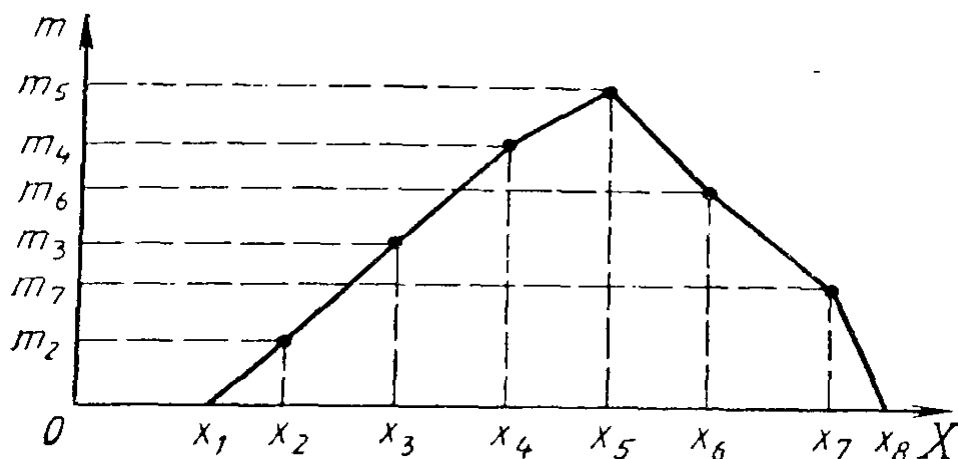


Рисунок 2.18 – Полигон распределения параметра X.

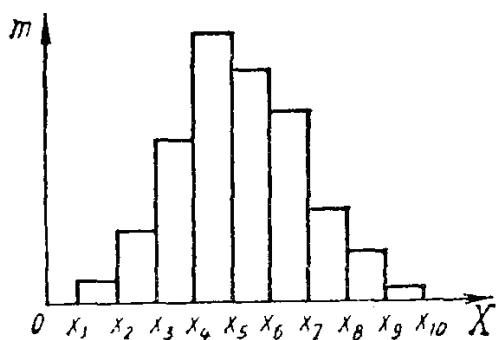


Рисунок 2.19 – Гистограмма распределения параметра X.

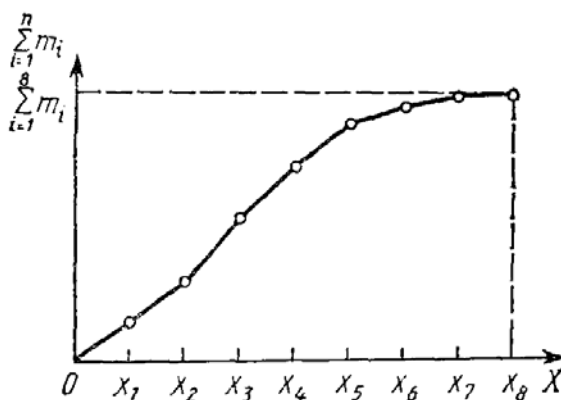


Рисунок 2.20 – Кумулятивная (интегральная) кривая распределения параметра X.

Координат соединяют прямыми линиями. Для замыкания полученной кривой крайние ординаты соединяют с такими близлежащими серединами интервалов, в которых частоты равны нулю. *Гистограмма распределения* (рисунок 2.19) служит обычно для отображения интервального изменения ПКГ. Для получения гистограммы на интервалах, отложенных по оси абсцисс, строят прямоугольники, высоты которых пропорциональны частотам интервалов. *Кумулятивная кривая* (рисунок 2.20) применяется для изображения экспериментальных значений ПКГ с накопленными частотами в прямоугольной системе координат. Часто кумуляту называют интегральной кривой. Для ее строения составляют упорядоченный дискретный ряд значений ПКГ с накопленными частотами. Накопленная частота каждого значения параметра получается суммированием всех частот предшествующих его значений. *Огиба* строится аналогично кумуляте с той лишь разницей, что на ось абсцисс наносят накопленные частоты, а на ось ординат – значения параметра. Если лист бумаги, на котором изображена кумулята, повернуть на 90° и посмотреть на

него с обратной стороны на свет, то можно увидеть огиву.

Для наглядности иногда удобно наносить значения ПКГ непосредственно на *поле корреляции* (рисунок 2.21). Для построения поля корреляции по оси абсцисс откладывают начальные значения исследуемого параметра изделий (например, измеренные перед постановкой на испытание значения статического коэффициента усиления по току однотипных транзисторов), а по оси ординат значения этого параметра для тех же самых изделий (тех же транзисторов) через некоторый интервал времени t их испытания под нагрузкой. Тогда значение параметра каждого изделия (транзистора) до и после испытания на срок службы обозначают точкой в системе рассматриваемых координат. Следовательно, вся партия изделий (транзисторов), прошедших испытание под нагрузкой, отображается разбросанными по координатному полю точками. Совокупность этих точек и образует поле корреляции.

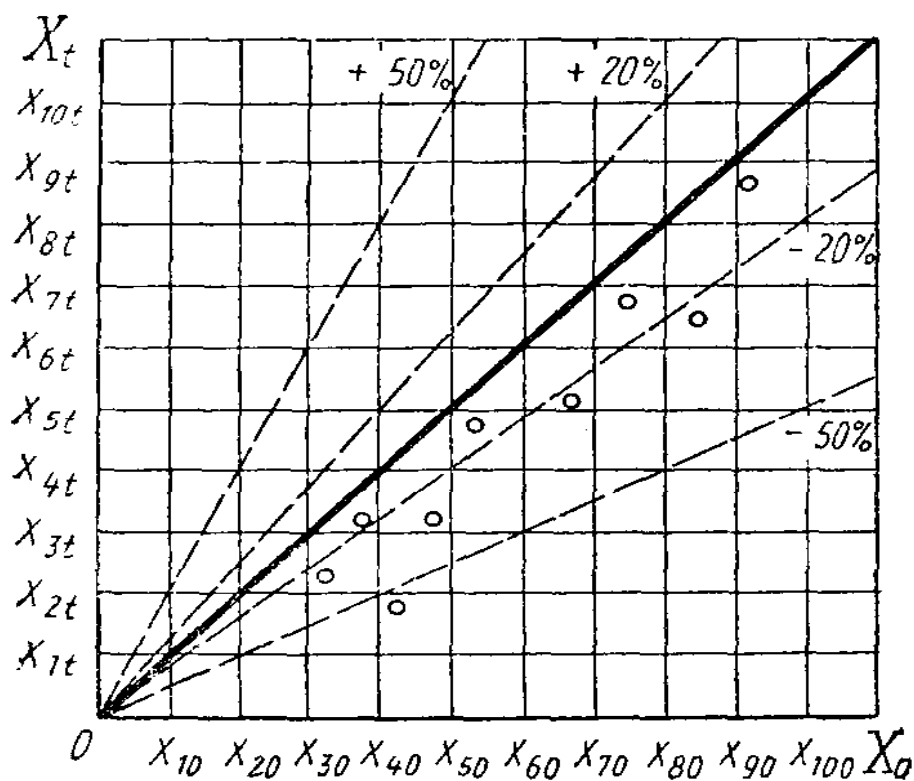


Рисунок 2.21 – Поле корреляции.

Если значения контролируемых параметров после испытания изделий не изменились, то все точки располагаются на прямой, проведенной из начала координат под углом 45 (сплошная линия на рисунке 2.21); если же значения параметров уменьшились по сравнению с измеренными значениями перед постановкой изделий на испытание, то точки располагаются ниже указанной прямой; если увеличились, - то выше ее. Проведя на графике лучи соответствующие, например 20- и 50 %-ному изменению параметра за время испытаний, нетрудно подсчитать число точек (изделий), попавших в сектор между двумя лучами: с изменением параметра до 20 % и от 20 до 50 % от первоначального значения.

Раздел 3. Технический контроль РЭСИ. Автоматизация и метрологическое обеспечение испытаний и контроля.

3.1 Технический контроль РЭСИ

3.1.1 Классификация методов контроля качества РЭСИ

Стандартом на термины и определения в области испытаний и контроля качества продукции понятие контроль формулируется как проверка соответствия качества продукции (изделия) установленным требованиям.

Проверка показателей качества технических устройств (в том числе изделий РЭСИ или технологических процессов их производства) техническим условиям (ГОСТ 15504-81) проводится подразделениями ОТК служб управления качеством радиоэлектронного комплекса предприятий.

Технический контроль проводится с целью:

получения первичной информации о фактическом состоянии объекта и показателях его качества;

сопоставления первичной информации с заранее установленными в технической документации требованиями, критериями, нормами. Полученная таким образом информация об отклонении фактических показателей качества от заданных называется вторичной.

Вторичная информация используется для выработки управляющего решения и направлена на объект контроля. При этом решается главная задача управления качеством — совершенствование конструкции изделия и сведение к минимуму выявленных отклонений в технологическом процессе.

Объект контроля — это предметы труда (материалы, РЭСИ, техническая документация), средства труда или технологическое и общезаводское оборудование, технологическая оснастка и инструмент, процессы создания продукции, труд исполнителей, условия труда и т.д. *Объект контроля* обладает рядом определенных признаков (свойств), по совокупности которых оценивается его качество. Контролируемые признаки (свойства), как известно, в квалиметрии называются показателями качества.

Методы контроля — это совокупность правил применения определенных принципов для осуществления контроля: технология проведения, количество контролируемых параметров, требуемая точность измерений.

Средства контроля — это изделия (контрольные и исполнительные стенды, измерительная и регистрирующая аппаратура и т.п.) и материалы, применяемые при контроле.

Классификационная группировка контроля по определенному признаку называется видом контроля. Классификация основных *видов контроля* качества продукции представлена в таблице 3.1 и схеме, показанной на рисунке 3.1.

Таблица 3.1 – Виды контроля РЭСИ

Признак классификации	Вид контроля
Стадия технического контроля	Контроль опытного образца, производственный контроль, контроль при эксплуатации
Стадия производственного процесса	Входной, операционный, контроль качества готовой продукции, транспортирования, хранения
Вид воздействия	Разрушающий, неразрушающий
Объем контролируемой продукции	Сплошной, выборочный
Цель контроля	Приемочный. Управление качеством продукции
Характер контроля	Инспекционный, летучий
Принимаемое решение	Активный, пассивный
Применение средств контроля	Органолептический, визуальный, инструментальный
Характер поступления продукции на контроль	Партиями, непрерывный
Контролируемый параметр	По количественному признаку, по качественному признаку, по альтернативному признаку
Степень участия оператора в контроле	Ручной, автоматизированный

В зависимости от технической сложности контролируемых изделий различают сплошной контроль, при котором контролируется каждая единица продукции (например, проверка качества функционирования бортовой радиолокационной станции самолета, компьютерной техники, систем управления и т.п.), и *выборочный*, при котором решение о качестве контролируемой продукции принимается по результатам проверки одной или нескольких выборок из большой партии продукции (микросхем, резисторов, трансформаторов, плат, приборных корпусов, штампованных или пластмассовых литых деталей и т.д.).

В зависимости от возможностей дальнейшего использования проконтролированной продукции методы контроля подразделяются на *разрушающие* и *неразрушающие*.

Разрушающий контроль применяется для оценки показателей качества материалов, деталей, сборочных единиц и изделий в целом. Этими методами пользуются, например, при испытаниях изделий РЭС на надежность (проверка причин отказов). После проведения разрушающего контроля продукция считается непригодной для дальнейшего использования по назначению.

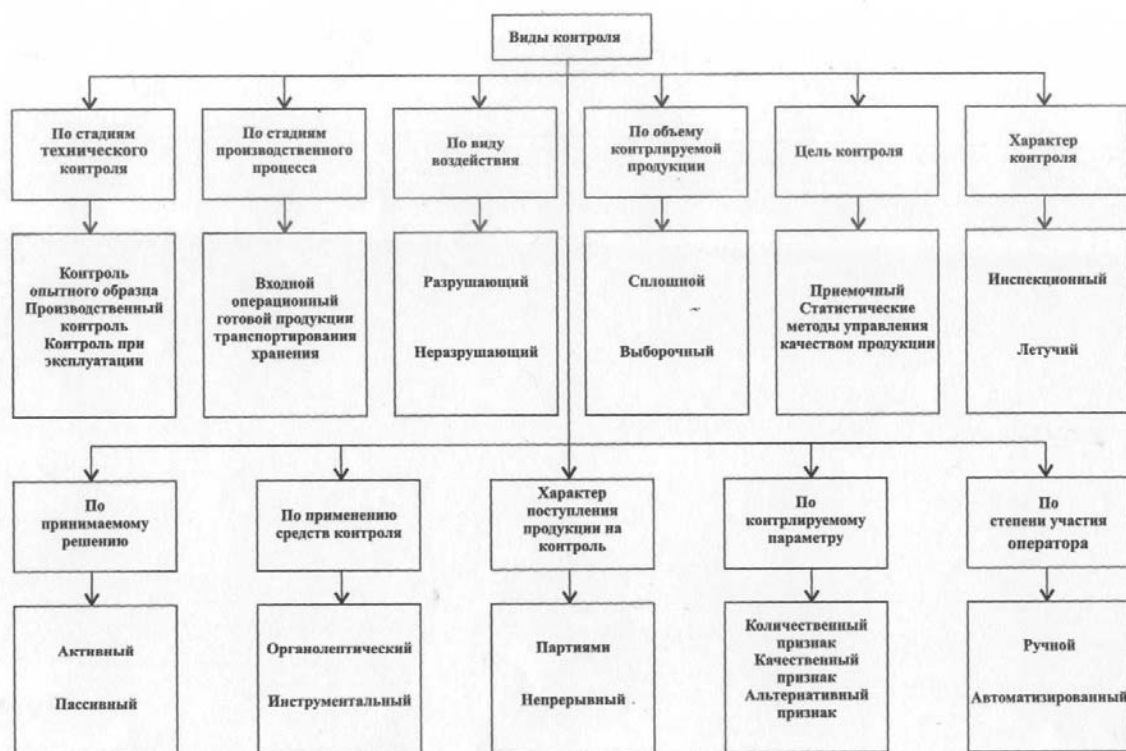


Рисунок 3.1 – Классификация основных видов контроля РЭСИ.

Неразрушающий контроль осуществляется такими методами, которые не оказывают влияния на работоспособность изделия (например, электрических параметров, цветовых, звуковых параметров и качества изображения телевизоров, проверка качества компьютерной техники и т.п.). Поэтому после проведения неразрушающего контроля изделие считается, в случае положительных результатов, годным к эксплуатации.

По цели контроля различают приемочный контроль продукции (не обязательно готовой), по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам или к использованию, и *контроль технологических процессов на соответствие качества выпускаемой продукции заданным техническим требованиям*.

Последний вид контроля включает в себя задачи статистического контроля технологических процессов производства РЭСИ.

В зависимости от стадии производственного процесса выделяют:

- *входной контроль качества* – контроль сырья, полуфабрикатов, покупных изделий, в том числе и комплектующих, деталей, сборочных единиц и изделий, получаемых предприятием по кооперации;

- *операционный контроль* – операционный контроль деталей, сборочных единиц в ходе технологического процесса (во время выполнения или после завершения определенной операции).

Операционный контроль направлен на своевременное выявление дефектных деталей и сборочных единиц, с тем, чтобы они не попадали на последующие технологические операции технологического процесса. Этот вид контроля не только для выявления таких дефектных деталей, но и для определения характера и причин отклонения от требований конструкторской и

технологической документации при изготовлении изделий, а также для разработки мероприятий по обеспечению качества технологического процесса и качества выпускаемых изделий. К сфере деятельности инженера-технолога РЭСИ относится главным образом, операционный контроль, осуществляемый с помощью выборок методом математической статистики. Метод выборок позволяет также своевременно определить систематические погрешности технологического процесса и сводить их к минимуму.

- *контроль качества готовой продукции (приемочный контроль)* имеет целью проверку качества выпускаемой продукции, ее составляющих, требованиям нормативно-технической документации и принятие решения о ее пригодности к поставкам и применению в эксплуатации.

В процессе приемочного контроля, проводимого работниками ОТК, проверяют: качество сборки, наладки, регулировки готовых изделий, их комплектность, наличие сопроводительной, технической и эксплуатационной документации, маркировку и упаковку.

По характеру организации контроль подразделяется на инспекционный и летучий.

Инспекционный контроль выполняется специально уполномоченными сотрудниками ОТК в целях проверки эффективности ранее выполненного контроля. Его проводят в случаях необходимости проверки качества работы ОТК. Инспекционный контроль может осуществляться представителями заказчика при приемке особо важных видов продукции.

Летучий контроль проводится с произвольной периодичностью и также носит инспекционный характер. Летучим контролем охватываются все стороны деятельности предприятия по выпуску контролируемой продукции, не предусмотренные «Перечнем обязательных контрольных операций».

По принимаемым решениям различают активный и пассивный контроль. Под активным контролем подразумеваются конкретные меры по улучшению качества продукции или технологического процесса. Пассивный контроль связан только с фиксацией брака.

По средствам контроля и методам получения статистических данных различают: *визуальный, органолептический и инструментальный контроль.* Органолептический метод, как было показано выше, основан на получении информации об объекте контроля посредством рецепторов человека-оператора. Визуальный контроль, в силу своего широкого распространения, выделен из органолептического в самостоятельный вид контроля. Наиболее совершенным из средств измерения является инструментальный контроль, осуществляемый с помощью разнообразных технических средств измерений.

По характеру поступления продукции на контроль он может быть *непрерывным* (контроль изделий на конвейере, в поточном производстве), или осуществляться по партиям (выборкам).

В зависимости от контролируемого параметра контроль подразделяется по количественному, качественному и альтернативному признакам. Контроль по количественным признакам — это технологические операции измерения значений физических величин (параметров) с

применением технических средств измерений. В условиях производства из контроля по качественным признакам выделен самый простой метод — «годен - брак» и называется альтернативным.

По степени участия оператора в процессе контроля выделяют ручной контроль и автоматизированный.

Ручной контроль подразумевает индивидуальный контроль с применением индивидуальных средств контроля параметров РЭСИ оператором-контролером.

При автоматизированном контроле применяются автоматизированные системы контроля, которые обеспечивают проведение контроля оператором-контролером с использованием автоматизированных средств контроля или автоматических систем контроля, которые обеспечивают проведение контроля с использованием автоматических измерительных средств без участия оператора-контролера.

В зависимости от того, на каких стадиях разработки и производства проводится контроль, он подразделяется на *контроль разработки изделия, производственный контроль и эксплуатационный контроль.*

Контроль разработки изделия предполагает контроль соответствия разработанной конструкторско-технологической документации техническим заданиям и требованиям ЕСКД и ЕСТД, а также контроль качества опытного образца.

Производственный контроль предусматривает, прежде всего, контроль качества технологических процессов (их параметров), контроль технологического инструмента, материалов, контроль организации производства, а также затрагивает контроль комплектности, упаковки и маркировки изделия.

Эксплуатационный контроль предполагает проверку соблюдения организационных и технологических требований, эксплуатационной и ремонтной документации. Объектами эксплуатационного контроля являются эксплуатируемые изделия РЭСИ и технологические процессы их эксплуатации.

3.1.2 Методы неразрушающего контроля РЭСИ

Методы неразрушающего контроля нашли наиболее широкое применение в технологии контроля РЭСИ благодаря своей высокой функциональности, точности, научной и методической строгости. И, безусловно, главное достоинство этих методов в том, что при их применении конструктивно-технологическая и функциональная структура изделия сохраняется к дальнейшему применению. МНК, не изменяя качества, параметров и характеристик изделия, позволяют по косвенным вторичным признакам обнаружить скрытые дефекты, либо вскрыть такие особенности, которые влекут за собой потенциальную ненадежность изделий. Они позволяют исследовать изделия в процессе из разработки, производства, испытаний и эксплуатации, а также могут применяться для оценки качества технологических процессов и обработки изделий, не удовлетворяющих требованиям ТЗ.

Классификация видов и методов неразрушающего контроля приведена в ГОСТ 18353-79. В соответствии с ГОСТ — МНК подразделяются на

следующие виды: акустические, капиллярные, электрохимические, магнитные, оптические, тепловые, радиационные, радиоволновые, электромагнитные, электрические. Каждый метод включает множество разновидностей.

МНК основаны на взаимодействии проникающего или отраженного физического поля с контролируемым изделием. Для контроля используются электромагнитные излучения — низкочастотное ($0-10^3$ Гц), радиоволны (10^4-10^{10} Гц), инфракрасное ($10^{11}-4\cdot 10^{14}$ Гц), видимое ($4\cdot 10^{14}-7,5\cdot 10^{14}$ Гц), ультрафиолетовое ($7,5\cdot 10^{14}-3\cdot 10^{16}$ Гц), рентгеновское ($3\cdot 10^{16}-3\cdot 10^{20}$ Гц), гамма лучи ($3\cdot 10^{29}$ Гц и выше). Классификация методов неразрушающего контроля приведена на рисунке 3.2.

Методы неразрушающего контроля должны отвечать следующим основным требованиям:

- носить действительно неразрушающий характер;
- быть экспрессными;
- обладать достаточной чувствительностью и разрешающей способностью.

Под чувствительностью МНК понимается способность надежно, с заданной вероятностью обнаружить (визуально, инструментально) в данных условиях минимальный по размерам (ширине, глубине, длине) дефект по его индикаторному следу. Под относительной чувствительностью понимается отношение минимального размера дефекта к толщине пленки.

Разрешающая способность - наименьшее расстояние, на котором два дефекта регистрируются отдельно.

Рассмотрим последовательно содержание методов неразрушающего контроля, приведенные на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Классификация методов неразрушающего контроля.

3.1.3 Акустические методы

Акустические методы основаны на применении колебаний звукового и ультразвукового диапазонов от 50 Гц до 50 МГц.

В ГОСТ 238229 приводится подробная классификация акустических методов и приборов неразрушающего контроля материалов и изделий. Наиболее широкое применение в настоящее время получила ультразвуковая дефектоскопия и в частности методы: прошедшего излучения (теневого метод), резонансного и отраженного излучения (эхо-метод).

Метод прошедшего излучения (теневого метод) заключается в том, (см. рисунок 3.3, а) что с одной стороны контролируемого изделия (8) при помощи излучателя (6) вводят ультразвуковые колебания (УЗК), а с другой стороны — при помощи приемника (7) регистрируют интенсивность прошедших колебаний. При постоянной толщине и однородном материале контролируемого изделия уровень интенсивности УЗК, падающих на приемник, почти постоянен, а показания индикатора будут незначительно колебаться около некоторого определенного значения, которое принимают за исходное.

Если на пути УЗК встречается дефект, то часть ультразвуковой энергии отразится от него и интенсивность колебаний, падающих на приемник, резко уменьшится, т. е. на головку приемника падает тень от дефекта. Для применения теневого метода необходим двусторонний доступ к контролируемому изделию, что является недостатком метода.

Резонансный метод ультразвукового контроля (рисунок 3.3,б) основан на возбуждении в объекте стоячих волн, возникающих в результате интерференции вводимых в объект упругих колебаний и колебаний, отраженных от раздела «объект-воздух» или другой среды. Это возможно при условии получения резонанса вследствие совпадения собственной частоты объекта и частоты возбуждаемых в нем упругих колебаний. Момент достижения резонанса фиксируют по импульсам на экране блока регистрации резонансов (4).

Данный метод применяют в основном для измерения толщины изделий с односторонним доступом, а также для выявления неоднородностей в биметаллах, расслоений в многослойных изделиях и зонах межкристаллической коррозии.

Эхо-метод ультразвуковой дефектоскопии получил наиболее широкое применение. Он основан на введении в контролируемый объект при помощи излучателя (1) (рисунок 3.3,в) коротких импульсов УЗК и регистрации (блоком индикаций) интенсивности и продолжительности прихода эхо-сигналов, отраженных от дефектов. УЗК, встречающие на своем пути дефекты (поры, расслоения, трещины, структурную неоднородность и т.д.), частично отражаются и в виде эха попадают обратно на головку излучателя. Остальная часть колебаний достигает противоположной стороны контролируемого объекта, отражается от раздела объект-воздух или другой среды, и также как эхо, попадает на головку излучателя. При этом отраженные от дефекта УЗК возвращаются раньше, чем от противоположной стороны объекта, поэтому

вначале на экране дефектоскопа появляется импульс от дефекта (ДЕФ), а затем от противоположной стороны объекта (донный сигнал Д). На экране они располагаются один за другим на расстоянии, соответствующим продолжительности их возвращения. Измеряя промежуток времени от момента посылки импульса (начальный сигнал Н) до момента приема эхо-сигнала (донного сигнала Д) определяют расстояние до дефекта. По амплитуде эхо-сигнала судят о размерах дефекта. На передней панели дефектоскопа для этого имеется шкала, отградуированная в сантиметрах.

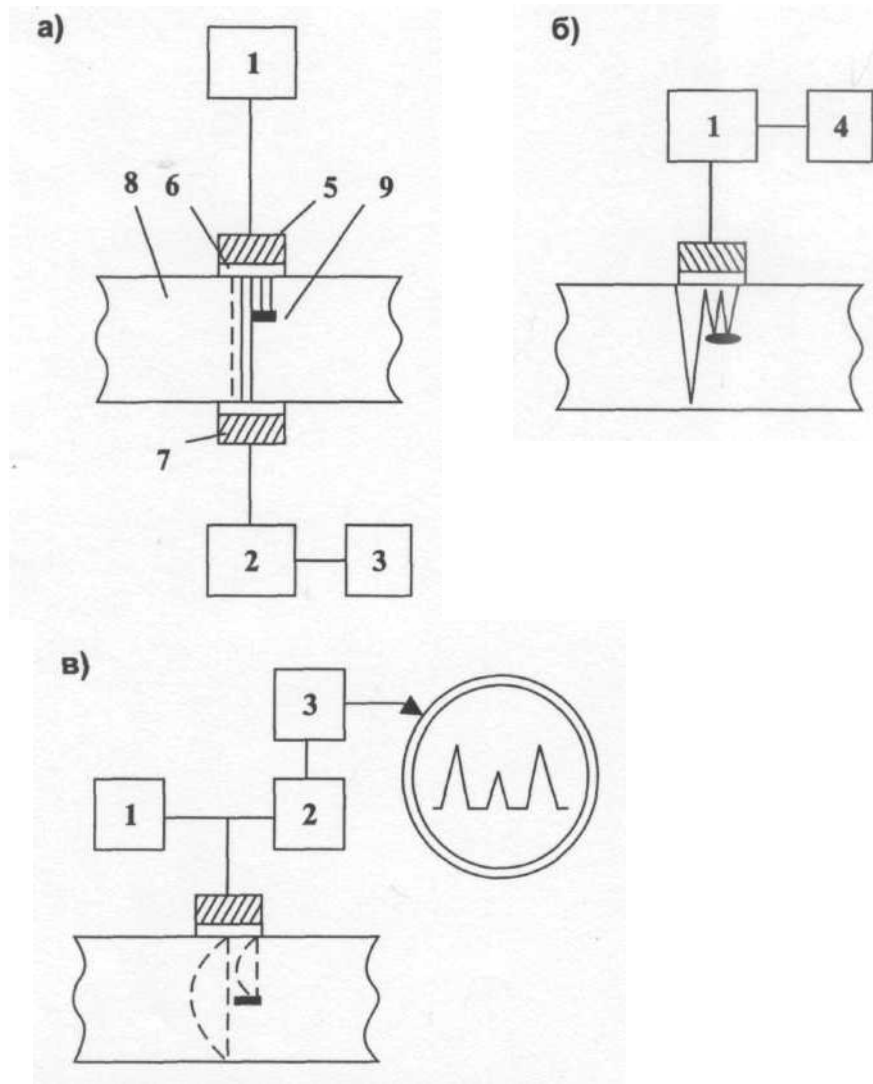


Рисунок 3.3 – Схемы ультразвукового контроля:

а – метод прошедшего излучения (теневого); б – резонансный метод; в – эхо-метод; 1 – блок генератора; 2 – блок усилителя; 3 – блок индикатора; 4 – блок регистрации резонансов; 5 – демпфер; 6 – излучатель; 7 – демпфер приемной головки; 8 – контролируемый объект; 9 – дефект.

Критерием отбраковки при контроле служит амплитуда эхо-сигнала, а также условные глубина и ширина дефекта. Минимальные размеры выявленных дефектов по глубине — 0,1... 0,3 мм и по ширине — 0,001... 0,003 мм.

3.1.4 Капиллярные методы

Методы основаны на капиллярном проникании индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полости поверхностных, сквозных несплошностей контролируемого изделия и регистрации образующихся индикаторных следов визуально или с помощью преобразователя. Капиллярные методы устанавливаются ГОСТ 18442-80 и их широко применяют для контроля изделий.

Схема процесса капиллярного цветового МНК приведена на рисунке 3.4. На поверхность контролируемого изделия наносят специальную жидкость с большой смачивающей способностью, предварительно добавляя в нее в качестве индикатора люминофор (люминесцентный метод) или краситель (цветной метод). После определенной выдержки, для проникновения индикаторной жидкости в дефекты, ее остатки удаляют с поверхности изделия промывкой водой специальными очищающими составами или продувкой газопорошковой струей. Продолжительность выдержки изделия в индикаторной жидкости определяют по формуле:

$$\tau = \frac{3 \cdot \eta \cdot l^2}{A \cdot \sigma \cdot \cos \theta},$$

где

τ - время выдержки;

η - коэффициент вязкости жидкости;

l - расстояние, на которое жидкость проникает в полость дефекта;

σ - поверхностное натяжение;

A - раскрытие дефекта;

θ - угол смачивания.

К контролируемому изделию предъявляются следующие требования:

- чистота обработки поверхности изделия должна быть не менее $>V_5$;
- материал изделия должен быть непористым и стойким к воздействию органических растворителей;
- форма и размеры контролируемых изделий могут быть любыми и состоять из черных и цветных металлов, пластмасс, стекла и керамики.

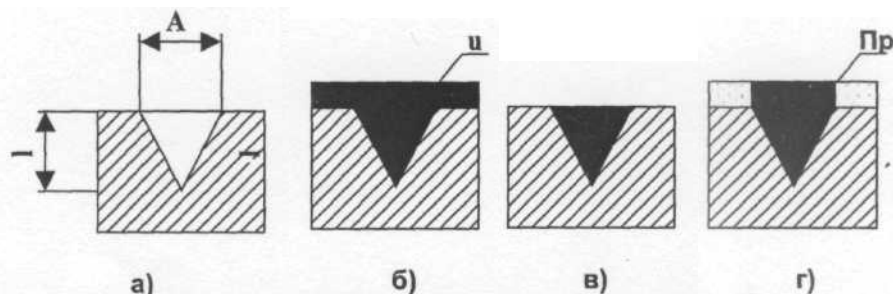


Рисунок 3.4 – Схема процессов капиллярного цветового метода:

а) изделие очищено от загрязнений; б) на поверхность изделия нанесена проникающая в дефекты индикаторная жидкость «и» (пенетрант); в) с поверхности изделия удалены излишки проникающей жидкости; г) нанесен тонкий слой проявителя и оставшаяся в дефекте жидкость окрашивает проявитель или флуоресцирует над дефектом.

Метод позволяет контролировать также объекты, изготовленные из

ферромагнитных материалов, если их магнитные свойства, форма, вид и месторасположение дефектов в них не позволяют достигать требуемой чувствительности магнитопопорошковым или ферромагнитным методами.

Капиллярные методы подразделяются на четыре класса чувствительности (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Классы чувствительности капиллярных МНК.

Класс чувствительности капиллярных МНК	Минимальный размер (раскрытие дефектов), мкм
1	Менее 1
2	1 - 10
3	10 - 100
4	100 - 500
технологический	не нормируется

Обозначение обнаруженных дефектов:

∥ – параллельный главной оси объекта,

⊥ – перпендикулярный к оси объекта,

< – расположенные под углом,

А – единичные, Б – групповые, В – повсеместно распределенные,

О – допустимые, без знака – недопустимые,

* – сквозные дефекты.

Пример обозначения дефектов:

$A^{*\parallel}$ - дефект единичный, допустимый, сквозной, расположенный параллельно главной оси объекта.

Недостатки метода:

– длительность процесса ~20 мин;

– необходимость тщательной очистки поверхностей изделий.

3.1.5 Электрохимические методы

В последнее время все большее распространение получают комбинированные методы, сочетающие два или более различных по физической сущности МНК. Таким примером могут служить электрохимические методы. В их основе лежат различные способы, позволяющие визуализировать дефекты, реакциями у дефектных мест или декорированием. Рассмотрим, например, метод, основанный на реакциях у дефектных мест с образованием газовых пузырьков.

а) электролиз (пузырьковый метод).

Метод применяется для обнаружения дефектов типа сквозных пор и отверстий в диэлектрических пленках. Указателем наличия пор (микроотверстий) являются локально выделяющиеся из дефектных мест газообразные продукты электролиза электролита, наблюдаемые под микроскопом или по току в цепи электрод-электролит-подложка.

В качестве электролита могут быть использованы следующие растворы:

- слабый водный раствор KCl (3-10- процентный);
- раствор серной кислоты (2-3 процентный);
- ацетон или метиловый спирт;
- деионизованная вода, CuSO_4 и желатин.

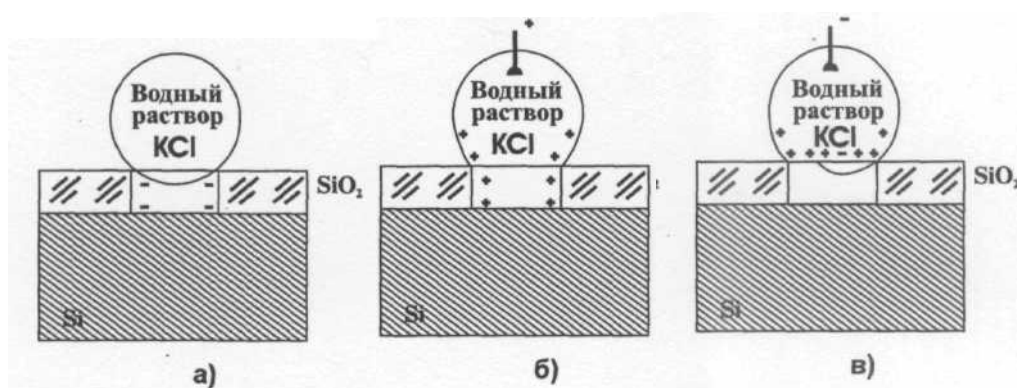


Рисунок 3.5 – Виды включения измерительной ячейки электролит-пленка-подложка: а) без смещения; б) прямое смещение; в) обратное смещение.

Условием определения дефектности пленок с помощью данного метода является проникновение раствора электролита в поры исследуемой пленки.

Такое проникновение возможно далеко не всегда: большое поверхностное натяжение на границе раствор-пленка, малый размер пор и отсутствие смещения на ячейке препятствуют проникновению раствора к полупроводниковой пластине (см. рисунок 3.5,а).

При приложении напряжения определенной величины и полярности («→» к кремниевой подложке, «+» к раствору электролита – рисунок 3.5,б) наблюдается выделение пузырьков газа (водорода) и появляется электрический ток. Это объясняется тем, что на границе «раствор – диэлектрик» имеется двойной электрический слой, образованный адсорбированными ионами раствора электролита.

Полярность этого слоя обычно определяется правилом Коэна: тела с большей диэлектрической проницаемостью заряжаются положительно. Так как диэлектрическая проницаемость большинства пленок находится в пределах 4-10, а водных растворов электролитов до 81, то полярность двойного электрического слоя на границе раствор-диэлектрик будет соответствовать положительному заряду раствора. На каплю раствора в этом случае будут действовать силы, стремящиеся затянуть ее в пору диэлектрика. Затягивание раствора в мелкие капилляры происходит только при достижении определенного напряжения (20-50 В).

При приложении напряжения обратной полярности между подложкой и раствором будет происходить выталкивание капли раствора из поры (см. рисунок 3.5,в)

Процесс электролиза включает в себя следующие стадии:

- диссоциация молекул воды

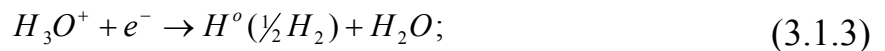


- образование иона гидроксония

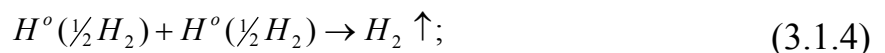


- дрейф иона гидроксония к катоду (исследуемой пластине кремния с пористым диэлектриком SiO₂);

- нейтрализация иона гидроксония электроном



- образование молекулы водорода



- формирование из молекул H₂ пузырька водорода и всплытие его в жидкости под действием выталкивающей силы F , равной:

$$F = \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho_{ж} \cdot g, \quad (3.1.5)$$

где

R – радиус пузырька;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения.

Ток в поре диэлектрика определяется по формуле:

$$I = \frac{2 \cdot e \cdot N}{t}, \quad (3.1.6)$$

где

e – заряд электрона;

N – число молекул водорода в объеме пузырька;

t – время образования пузырька.

От напряжения внешнего электрического поля зависят лишь третий и четвертый этапы. Оценка пористости пленки включает в себя определение диаметра пор и числа пор на единицу поверхности.

Оценка диаметра пор может проводиться следующими методами:

1. *Визуально, по радиусу окрашиваемого пятна*

$$r_{пор} = \frac{2 \cdot k \cdot \rho_{ж} \cdot R_{пятн}^2}{3 \cdot \sigma}, \quad (3.1.7)$$

где

$r_{пор}$ – радиус поры;

k – поправочная функция на несферичность пузырька;

$R_{пятн}$ – радиус пузырька водорода;

σ – поверхностное натяжение на границе газ-раствор.

Радиус пор может быть вычислен также по приближенному соотношению:

$$r_{пор} \approx 0,1 \cdot R_{пятн}^3. \quad (3.1.8)$$

2. *По номограмме.*

Для определения величины диаметра поры необходимо значение диаметра пятна $D_{пятна}$ соединить прямой линией со значением напряжения $U_{выявл}$ (см. рисунок 3.6). Затем прямой линией соединить значения времени $t_{выявл}$ и толщины окисной пленки кремния h . Точки пересечения этих прямых (а и б) со вспомогательными осями 1 и 2 соединяются между собой, и точка пересечения (δ) этой линии с осью $D_{поры}$ определяет величину диаметра поры. Этот метод оценки размера сквозных дефектов может быть использован практически для любых диэлектрических пленок.

3. *По ВАХ структурам (полупроводник-диэлектрик-электролит ПДЭ).*

Если при обратной полярности по цепи структуры ПДЭ протекает ток в несколько миллиампер (см. рисунок 3.7), то это свидетельствует о том, что все существующие в диэлектрической пленке поры имеют размеры, превышающие 1 мкм. Мелкие поры характеризуются отсутствием тока в данной цепи.

Оценка среднего числа пор на единицу поверхности производится по формуле:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{S}}{k}, \quad (3.1.9)$$

где $\sum_{i=1}^k N_i$ - общее количество дефектов при фиксированном поле;

S – площадь исследуемой структуры;

k – число наблюдений при фиксированном поле.

Зависимость пористости диэлектрических пленок на кремниевых подножках от способов получения пленок представлена в таблице 3.3.

Испытательная ячейка для электролиза представлена на рисунке 3.8.

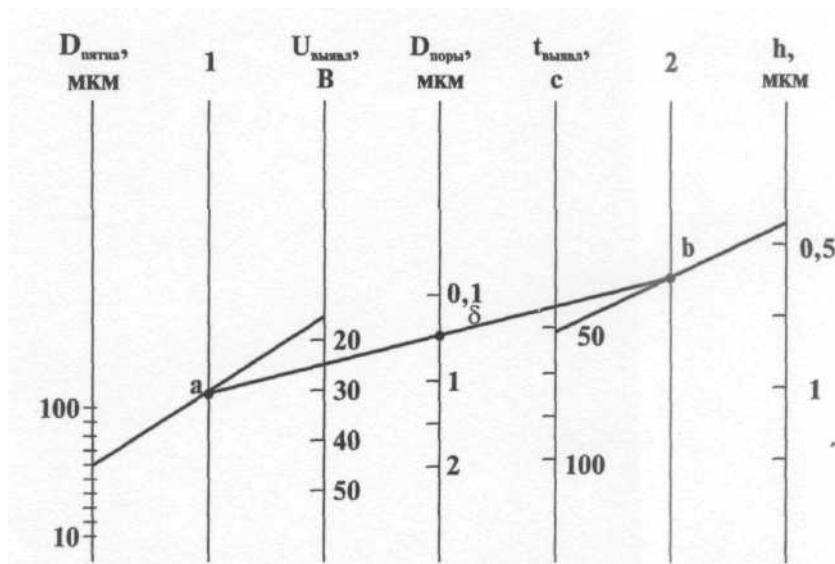


Рисунок 3.6 – Номограмма для определения диаметра поры в двуокиси кремния.

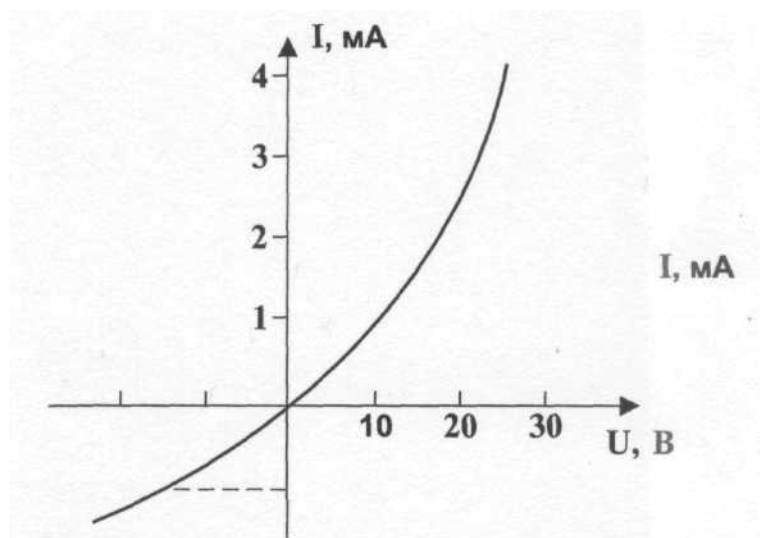


Рисунок 3.7 – ВАХ структуры полупроводник-диэлектрик-электролит.

Таблица 3.3 – Зависимость пористости диэлектрических пленок на кремниевых подложках от способов получения пленок

N	Различные способы осаждения пленок SiO ₂	Плотность пор, см ²	Эффективный диаметр пор, мкм
1	Термические	10 – 60	0,1 – 0,5
2	Термические, после операции фотолитографии	100 – 500	102 – 103
3	Пиролитические	50 – 200	0,1 – 0,5
4	Электронно-лучевые	10 ⁴ – 10 ⁵	0,01 – 0,05
5	Катодные	10 ⁴ – 10 ⁶	0,1 – 10

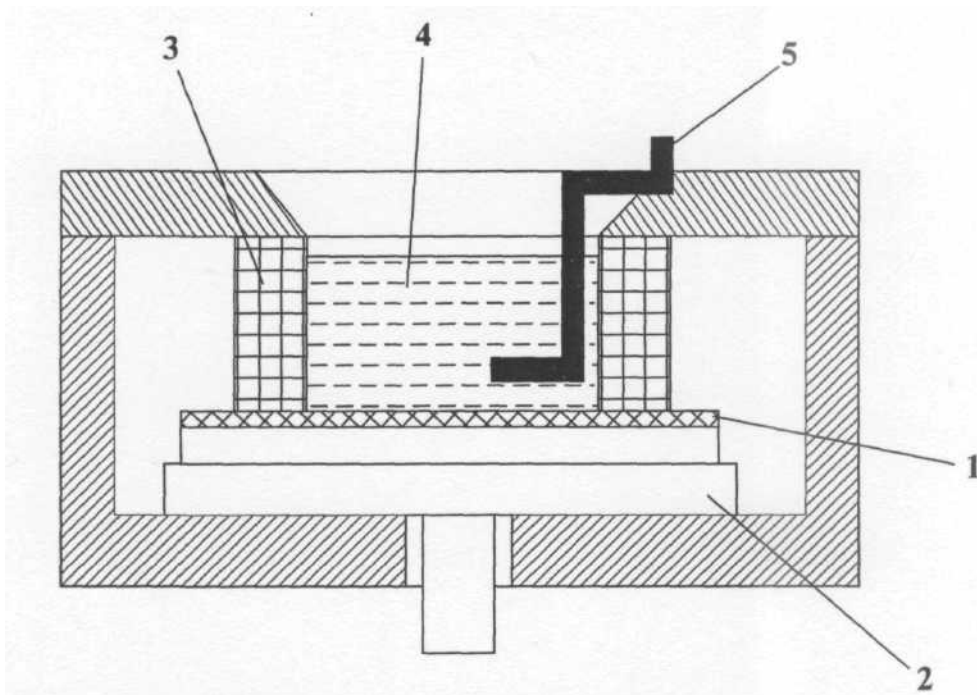


Рисунок 3.8 – Испытательная ячейка для электролиза:

1 – исследуемая структура; 2 – нижний электрод; 3 - резиновое кольцо; 4 – электролит; 5 – верхний электрод.

б) электрография.

Электролит состоит из бензидина, поверхностно-активного вещества и коллоида. Далее к ячейке прикладывают напряжение 5-10 В при 1 мкА и выдерживают 5-10 мин. При приложении к ячейке напряжения неокрашенный раствор солянокислого бензидина окисляется с образованием темно-синих продуктов. После проведения процесса электрографии на фильтрованной бумаге получается зеркальное изображение сквозных дефектов в виде темных пятен, форма и размер которых точно соответствует дефектам в диэлектрической пленке. Процесс изображен на рисунке 3.9.

в) электрофорез.

Электрофорез – движение заряженных частиц, находящихся в виде суспензии в жидкости, в электрическом поле между двумя электродами на одном из которых происходит осаждение частиц.

Процесс включает в себя: стадию заряда частиц, транспортирования в электрическом поле и осаждения. Положительно заряженными частицами оказываются частицы гидроокисей металлов, органических красителей, отрицательно заряженными - частицы металлов, сульфидов и др. Ячейка для электрофореза представлена на рисунке 3.10.

В качестве электролита используется ацетон или метиловый спирт. Расстояние между электродами 5 мм, время процесса 3 мин., напряжение до 80В.

При малой толщине окисла $\ll 0,02$ мкм наблюдаются дефекты, локализованные непосредственно вблизи поверхности полупроводника (возможно, они возникли после механической полировки поверхности). До 0,04 мкм плотность выявленных дефектов возрастает, а затем быстро падает (рисунок 3.11).

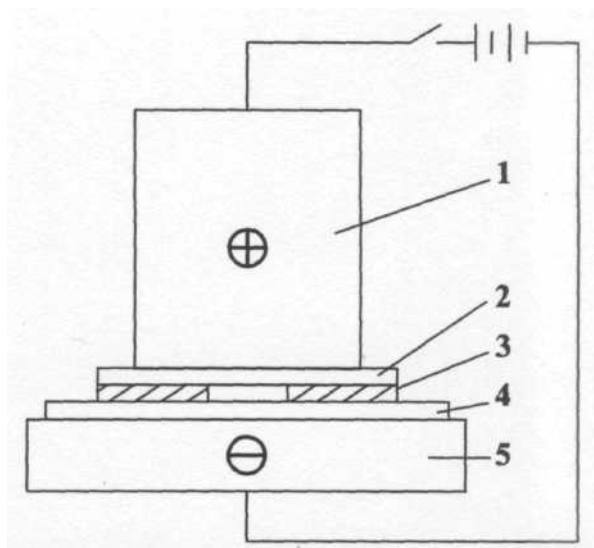


Рисунок 3.9 – Принципиальная схема установки для электрохимической автографии:

1 – анод; 2 – кремниевая подложка; 3 – диэлектрическая пленка; 4 – мембранная бумага; 5 – катод.

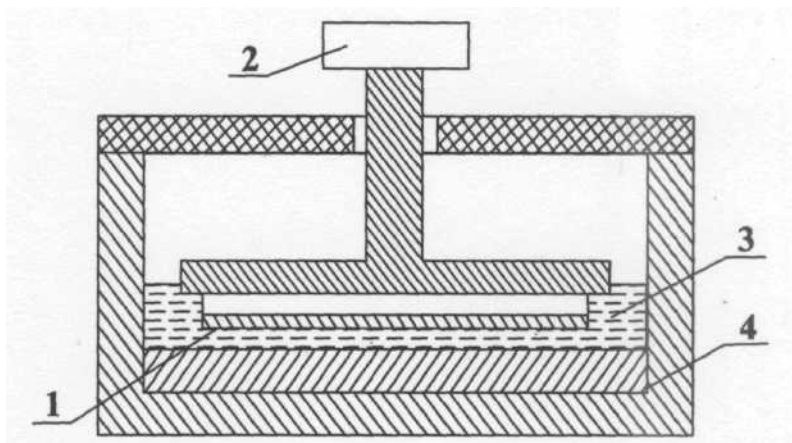


Рисунок 3.10 – Испытательная ячейка для электрофореза:

1 – исследуемая структура; 2 – электрододержатель; 3 – электролит; 4 – второй электрод (катод).

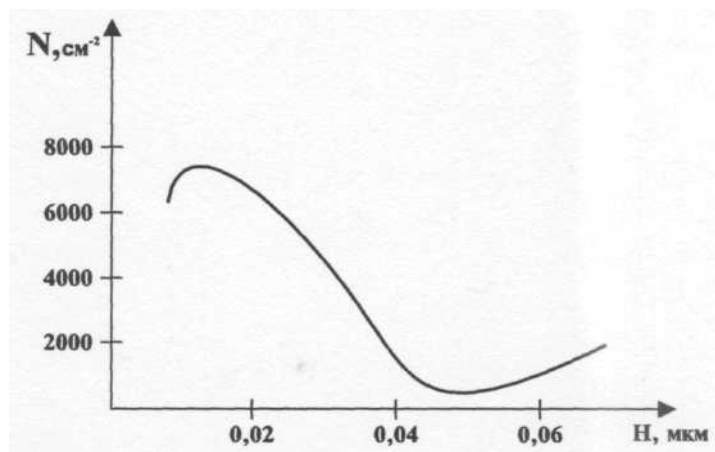


Рисунок 3.11 – Зависимость плотности дефектов от толщины слоя SiO_2 .

Этот характер кривой можно объяснить дополнительным выявлением сквозных дислокаций через тонкую пленку окисла. При более толстом слое окисла $d = 0,04$ мкм эффект сквозных дислокаций ослабевает, выявляются только несквозные дефекты. При толщинах более 0,08 мкм выявляются дефекты, образованные в результате осаждения пленок. Как видно из рисунке 3.12 плотность пор, выявленная методом электролиза (нижняя кривая), много меньше плотности дефектов, выявленных электрофорезным декорированием (верхняя кривая), в связи с тем, что электролиз не способен выявить "скрытые дефекты" и выявляет только сквозные поры. Электрофорез позволяет обнаруживать следующие виды дефектов: сквозные и несквозные поры окисла, скопления примесей вблизи поверхности.

г) декорирование с помощью коронного разряда.

Этот метод является модификацией электрофорезного декорирования. На первом этапе процесса ионы коронного разряда осаждаются на поверхность образца и заряжают диэлектрические участки пленки. Этот заряд создает электрическое поле. Источником положительно заряженных ионов служит проволоочная сетка, подсоединенная к высоковольтному источнику постоянного тока, обеспечивающему напряжению до ± 10 кВ и ток до 6 мА. Сетка располагается в 2 см над пластиной.

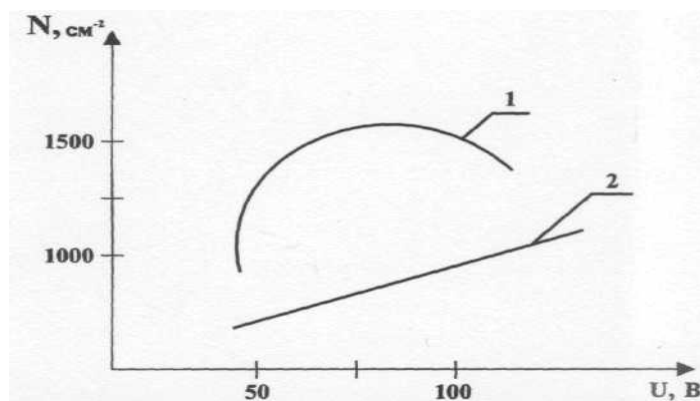


Рисунок 3.12 – Зависимость плотности дефектов от приложенного напряжения для методов:

1 – электрофореза; 2 – электролиза.

На втором этапе образец погружается в суспензию, состоящую из заряженных частиц.

При совпадении знаков зарядов осаждаемых частиц и диэлектрической пленки осаждение частиц идет в местах дефектов - происходит прямое декорирование, которое менее полезно, чем обратное, так как дефекты оказываются закрытыми осадком.

При противоположных знаках зарядов частиц и диэлектрической пленки, частицы осаждаются всюду, кроме дефектов и окружающих их областей. Такой процесс называется обратным декорированием. Недостатком метода является необходимость работы с высокими напряжениями и необходимость тщательной очистки поверхности пластины.

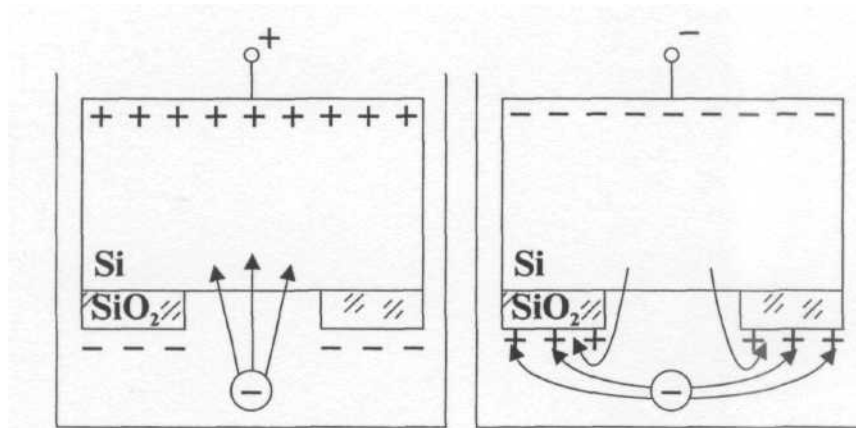


Рисунок 3.13 – Схема процесса осаждения заряженных частиц на заряженную подложку
а) прямое декорирование; б) обратное декорирование

Сравнительная оценка параметров электрохимических методов обнаружения дефектов в слоях двуокиси кремния представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Сравнительные характеристики параметров электрохимических методов контроля

Название метода	Чувствительность, мкм	Разрешающая способность, мкм
Электролиз (пузырьковый)	0,3	40 – 60
Электрография:		
а) Цветные реакции	0,5	2 – 5
б) На фотобумаге	0,1 – 0,3	200 – 300
Электрофорез	0,1 – 0,3	10 – 30
Декорирование с помощью коронного разряда	0,1	1 – 5

3.1.6 Оптический контроль

Оптические методы неразрушающего контроля основаны на анализе взаимодействия оптического излучения с объектом контроля. Методы оптического контроля и области их применения приведены в ГОСТ 23479-79 и ГОСТ 24521-80.

Спектр оптических излучений подразделяется по длине волны на три участка: инфракрасное излучение (от 1 мм до 780 нм), видимое излучение (от 780 нм до 380 нм) и ультрафиолетовое излучение (от 380 нм до 10 нм).

Разрешающая способность оптических методов:

$$\delta = \frac{\lambda}{A},$$

где λ – длина волны;

A – числовая апертура линз объектива.

$$A = n \cdot \sin \alpha = \frac{D}{2 \cdot F},$$

где n – коэффициент преломления среды (материала между наблюдаемым объектом и линзами);

2α – максимальный угол при вершине конуса лучей, попадающих в точку изображения на оптической оси;

F – фокусное расстояние;

D – диаметр апертуры (диафрагмы) (см. рисунок 3.14).

Для самых лучших современных объективов величина A , в случае воздуха, может достигать 0,95, а при заполнении пространства между объектом и объективом маслом эта величина может быть увеличена до 1,5. Разрешение самых лучших оптических микроскопов достигает 0,3 мкм. Оптическими методами можно контролировать качество кристаллов и оснований ИС, монтажа, сварных и паяных соединений, плёнок и т. д. Основные методы оптического контроля приведены в таблице 3.5.

Рассмотрим наиболее часто применяющиеся методы оптического контроля в технологии РЭСИ.

а) Визуально-оптический контроль.

Одними из наиболее распространённых приборов визуального контроля являются микроскопы - бинокулярный, стереоскопический и проекционный. Точность контроля объекта при работе с проекционным экраном несколько меньше, чем при наблюдении в окуляр.

Бинокулярные и проекционные микроскопы можно разделить на «эпископические», (для контроля в отражённых лучах) и диаскопические (для контроля в проходящих лучах).

Оптическая схема эпископического проектора представлена на рисунке 3.15. Контроль осуществляется в светлом поле зрения. Основным недостатком является малая яркость и недостаточная контрастность изображений.

Диаскопические проекторы представляют собой либо просмотровую лупу создающую мнимое, прямое, увеличенное изображение, либо проекционное устройство, создающее действительное, обратное, увеличенное изображение. Различают линзовые и зеркальные диаскопы. Оптическая схема линзового диаскопа представлена на рисунке 3.16. Рассматривание кадра осуществляется при освещении либо от специального источника света с искусственной подсветкой, либо на каком-нибудь ярком фоне с естественной подсветкой. Оптическая схема зеркального диаскопа представлена на рисунке 3.17.

б) Интерферометрический контроль.

Среди интерферометрических выделяют три характерных метода.

Цветовой метод. Основан на свойстве тонких прозрачных плёнок, нанесённых на отражающую подложку, менять свой цвет в зависимости от толщины (явление интерференционных световых лучей, отражённых от границы

раздела «плёнка — воздух» и «плёнка — подложка»). Цвета плёнок двуокиси кремния в зависимости от толщины приведены в таблице 3.6.

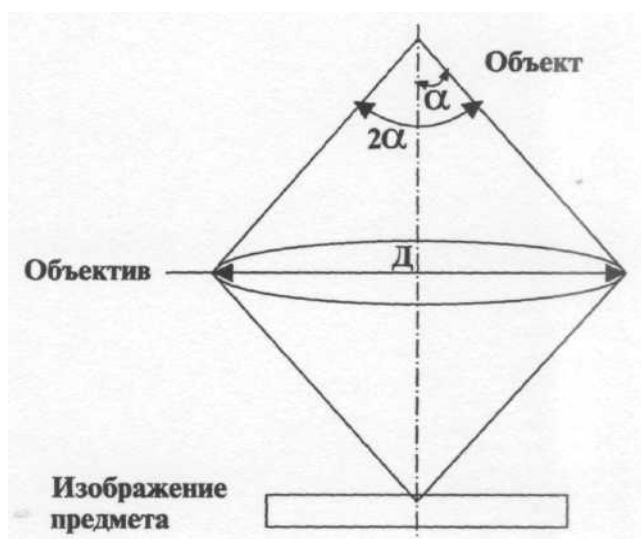


Рисунок 3.14 – Оптическая схема.

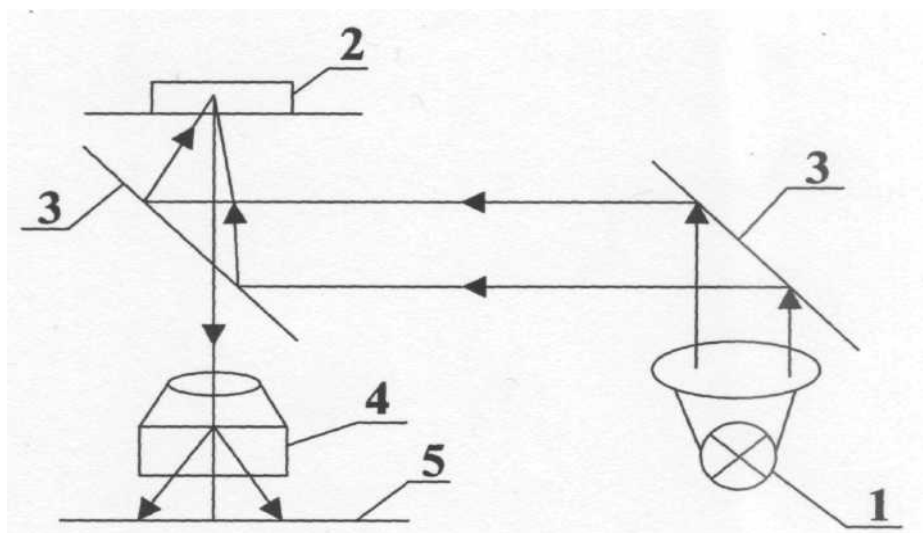


Рисунок 3.15 – Оптическая схема эпiscoпического проектора.

Таблица 3.5 – Оптические методы неразрушающего контроля и области их применения.

Название метода	Область применения	Контролируемые параметры	Чувствительность	Относительная погрешность, %	Факторы, ограничивающие область применения
1. Визуальный	Дефектоскопия, контроль размеров	Дефектность, отклонение от заданной формы изделия	0,1 мм	–	Диапазон длин волн должен быть 0,38 - 0,76 мкм
2. Визуально – оптический	Дефектоскопия с помощью микроскопов и проекционных устройств	Размеры изделий, дефектов, отклонений от заданной формы	$\frac{0,6}{A} \cdot \lambda$	0,1 – 1,0	Минимальная яркость объекта контроля не менее 1 кд/м ²
3. Фото-метрический	Контроль параметров осаждения тонких пленок	Интенсивность излучений, отражаемых или пропускаемых контролируемыми структурами	$\frac{0,6}{A} \cdot \lambda$	5	–
4. Рефлексо-метрический	Контроль шероховатости поверхности изделий	Коэффициент отражения	$\frac{0,6}{A} \cdot \lambda$	1,0	–
5. Денситометрический	Контроль оптической плотности прозрачных пленок	Коэффициент пропускания, оптическая плотность	$\frac{0,6}{A} \cdot \lambda$	1,0	Применим для нерассеивающих прозрачных сред
6. Нефелометрический	Анализ структуры кристаллов	Коэффициент рассеивания, концентрация включений	$\frac{0,6}{A} \cdot \lambda$	1,0	–
7. Рефракционный	Контроль оптических сред	Показатель преломления	$\frac{0,6}{A} \cdot \lambda$	0,01	Применим для оптически прозрачных сред
8. Интерферометрический	Контроль толщины, шероховатости и размеров изделий	Толщина, размеры изделий	0,1	0,1	Поверхность изделий должна быть отполированной
9. Дифракционный	Контроль размеров тонких волокон, формы острых кромок, отверстий	Диаметры волокон, размеры дефектов, острых кромок	0,1?	1,0	Размеры дефектов должны быть сравнимы с длиной волны света

10. Спектральный	Контроль спектральных характеристик изделий в проходящем и отраженном свете	Спектральные коэффициенты отражения, поглощения, пропускания, концентрация вещества	10^{-4}	1,0	–
11. Поляризационный	Контроль напряжений в прозрачных средах, анализ степени поляризации источников света, эллипсометрическая толщинометрия (одновременно контроль толщины и показателя преломления)	Вращение плоскости поляризации, толщина и показатель преломления	$\frac{0,6}{A} \cdot \lambda$	1,0	Применим только для оптически прозрачных сред
12. Стробоскопический	Дефектоскопия и размерный контроль подвижных объектов	Угловая скорость, дефектность	10^{-6} с	5,0	–
13. Голографический	Контроль геометрии объектов сложной формы (фотошаблонов).	Деформации, перемещения, отклонения от заданной формы, градиенты показателя преломления	0,1?	1,0	–
14. Телевизионный	Оптический анализ структуры веществ, измерение линейных размеров	Размеры дефектов	$\frac{\lambda}{A}$	1,0	–

Таблица 3.6 – Цвета плёнок двуокиси кремния в зависимости от толщины

Цвет пленки	Толщина пленки двуокиси кремния, мкм
Бежевый	0,05
Темно-фиолетовый	0,1
Светло-красновато-фиолетовый	0,85

Относительная погрешность измерения толщины пленок составляет 10%.

Первый эллипсометрический параметр (отношение амплитуд компонент, параметр условно обозначили через тангенс) определяется из соотношения:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{|E_P^{OTP}|}{|E_S^{OTP}|} / \frac{|E_P^{ПАД}|}{|E_S^{ПАД}|} = \frac{R_P}{R_S}.$$

Второй эллипсометрический параметр определяется из соотношения:

$$\Delta = \delta_P^{OTP} - \delta_S^{OTP} = \delta_P - \delta_S.$$

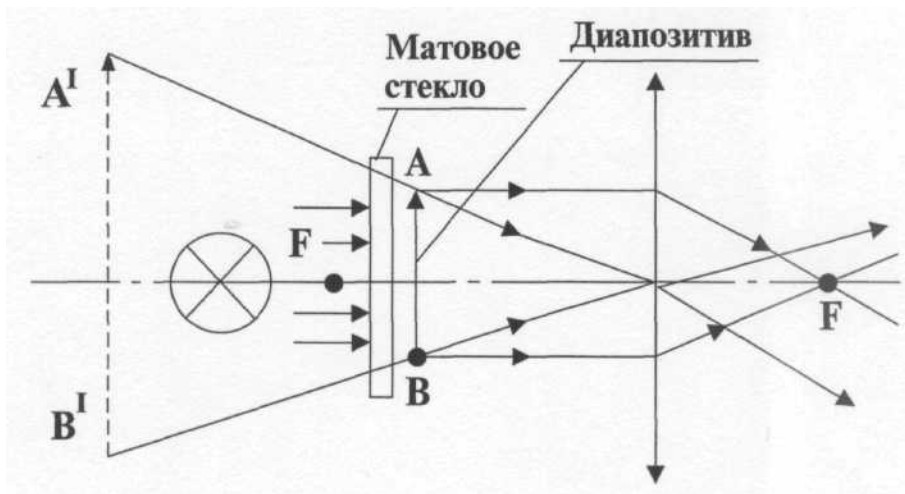


Рисунок 3.16 – Оптическая схема линзового диакопа (изображение мнимое, прямое, увеличенное).

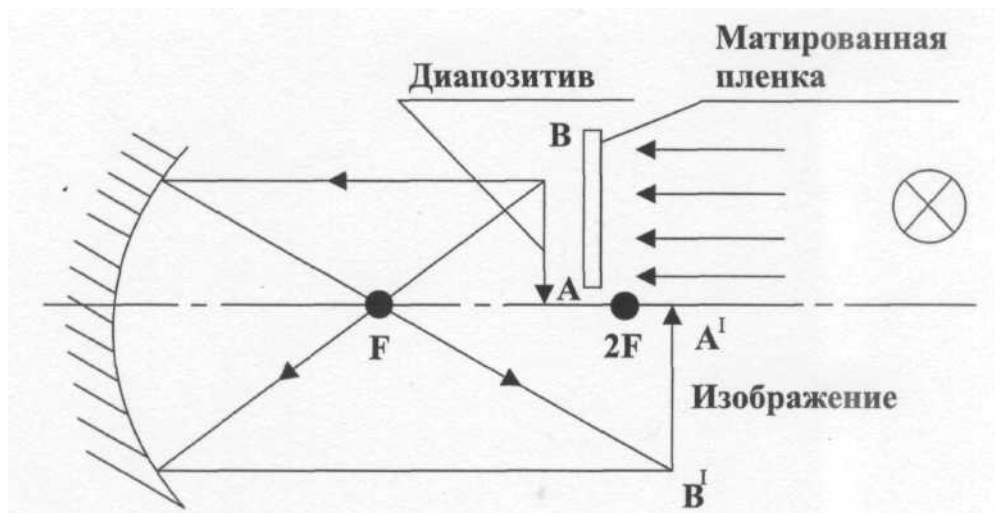


Рисунок 3.17 – Оптическая схема зеркального диакопа с искусственной подсветкой (изображение действительное, обратное, увеличенное).

Таким образом, параметр Δ есть относительная разность фаз между P и S компонентами, возникшая вследствие отражения от рассматриваемой структуры. Основное уравнение эллипсометрии имеет вид:

$$\rho = \operatorname{tg} \psi \cdot e^{i\Delta}.$$

Величина ρ для случая тонкой прозрачной диэлектрической пленки на поверхности полупроводника является функцией, показателей преломления окружающей среды, пленки и подложки n_0, n_1, n_2 , толщины пленки d , длины волны лазера λ и угла падения луча на образец – φ_0 (см. рисунок 3.18).

$$\rho = \rho \cdot (n_0, n_1, n_2, d, \lambda, \varphi_0).$$

Конкретная зависимость имеет вид

$$\rho = \operatorname{tg} \psi \cdot e^{i\Delta} = \frac{r_{1p} + r_{2p} \cdot e^{2i\delta}}{1 + r_{1p} \cdot r_{2p} e^{-2i\delta}} \cdot \frac{1 + r_{1s} \cdot r_{2s} e^{-2i\delta}}{r_{1s} + r_{2s} \cdot e^{2i\delta}}.$$

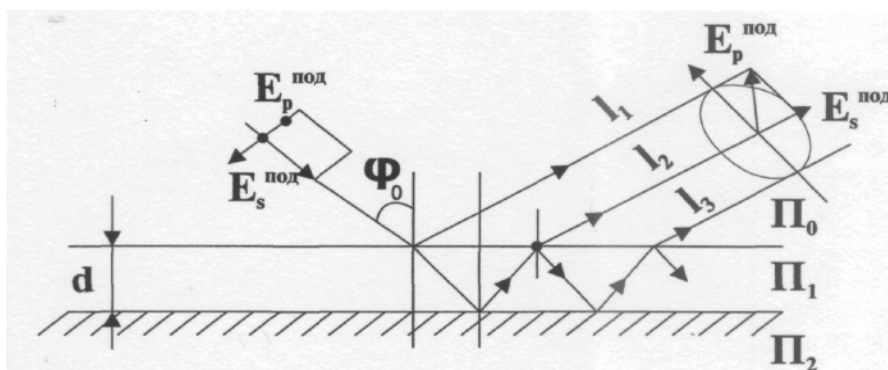


Рисунок 3.18 – Ход лучей при отражении линейно поляризованного света от поверхности полупроводника с пленкой.

$r_{1p}, r_{2p}, r_{1s}, r_{2s}$ – соответственно коэффициенты отражения раздела «воздух-пленка» и «пленка-подложка»;

φ_0 – изменение фазы, вызванное прохождением луча света через пленку толщиной d .

$$\delta = \frac{360 \cdot d}{\lambda} \cdot \sqrt{(n_1^2 - \sin^2 \varphi_0)}.$$

Метод контроля с помощью интерференционных микроскопов. Для контроля толщины покрытия необходимо получить на подложке, с напыленной на ней пленкой, уступ. Толщина слоя находится как:

$$h = \frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где a – величина изгиба полосы

b – расстояние между соседними темными и светлыми полосами.

λ – длина волны источника света

Широко распространенный микроскоп МИИ-4 позволяет контролировать толщину пленок от 0,03 до 2,2 мкм с относительной погрешностью 5%.

Метод контроля с помощью лазерной интерферометрии (контроль диэлектрических пленок в процессе их получения).

Вследствие интерференции отраженных от границ («пленка – подложка» и «пленка – среда») лучей, интенсивность сигнала фотоэлемента меняется периодически с изменением толщины наращиваемой пленки. Общая толщина диэлектрической пленки нанесенной на стеклянную или ситалловую подложку:

$$h = \frac{Z \cdot \lambda}{\Delta \cdot n \cdot \cos \varphi},$$

где Z – суммарное число экстремумов (т.е. максимумов и минимумов);

λ – длина волны монохроматического света;

n – показатель преломления пленки;

φ – угол преломления луча в пленки.

Лазерная интерферометрия позволяет контролировать не только суммарную толщину, но и промежуточную. Для измерения толщины эпитаксиальных слоев от 2 до 50 мкм используется спектральный диапазон инфракрасного (ИК) излучения. В диапазоне ИК волн исследуемые пленки прозрачны.

Поляризационный (эллипсометрический) контроль.

Этот метод основан на изменении поляризации света, отраженного от подложки с тонкой прозрачной пленкой на поверхности. При освещении подложки линейно-поляризованным светом, составляющие излучения (параллельная и перпендикулярная плоскости падения) отражаются по-разному, в результате чего, после отражения излучение оказывается эллиптически поляризованным (рисунок 3.18). Отсчет положительных значений угла ведется против часовой стрелки. Измерив эллиптичность отраженной волны, можно определить свойства пленки, вызвавшей изменения поляризации. Состояние эллиптической поляризации определяется двумя эллипсометрическими параметрами ψ и Δ .

Зная оптические параметры, толщину пленки d (изменяется от 0,5 до 10 мкм), длину волны λ (составляет 0,5-0,6 мкм), угол падения φ_0 (изменяется от 45° до 75°) и экспериментально определив значение $tg \psi$ и Δ и определяют показатель преломления n_1 . Результатами расчета являются номограммы (рисунок 3.19), на которых представлены зависимости Δ , $\psi = f(d, n_1)$. Величины ψ и Δ являются периодическими функциями толщины и повторяются через так называемый эллипсометрический период равный 250...300 нм, в зави-

симости от показателя преломления n_1 , и угла падения φ_0 . После приближенного определения n_1 , а также и в том случае, когда величина n_1 , известна заранее, используют кривые $\Delta = \Delta(d)$ и $\psi = \psi(d)$ (рисунок 3.20), построенные для определенного значения углов падений и показателей преломления для более точного определения толщины пленки d . Используя лазерную эллипсометрию, определяют толщины пленок от $2 \cdot 10^{-4}$ до 17 мкм и показатели преломления от 1,1 до 3,0.

Разновидностью эллипсометрии является инфракрасная эллипсометрия. Она используется для определения толщины пленок и концентрации носителей заряда в сильнолегированных подложках (структуры pn^+ , pp^+ , Si, Ge, GaAs). Контроль толщины осуществляется в диапазоне от 1 до 10 мкм в структурах кремния, GaAs на 154 мкм. В сильнолегированных подложках из-за большого поглощения света на свободных носителях (исследуемая пленка становится непрозрачной для видимого диапазона длин волн) показатель преломления начинает зависеть от концентрации носителей (рисунок 3.21).

Толщина пленки и концентрация носителей заряда рассчитывается по зависимости:

$$\Delta, \Psi = f(d, n),$$

где d – толщина пленки;

n – концентрация носителей заряда.

Оптические методы контроля обладают высокой разрешающей способностью и хорошей чувствительностью и позволяют перейти от традиционного использования зрительного рецептора оператора к автоматическим методам обработки изображения и использованию полученной информации в процессах испытания РЭСИ.

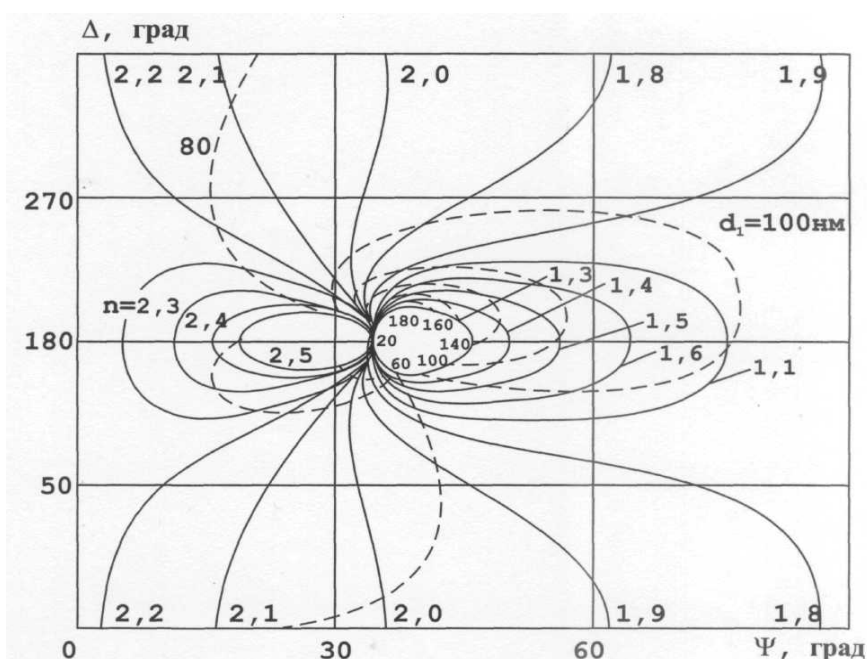


Рисунок 3.19 – Номограммы ψ - Δ для приближенного определения показателей преломления n , и толщины d эпитаксиальных пленок.

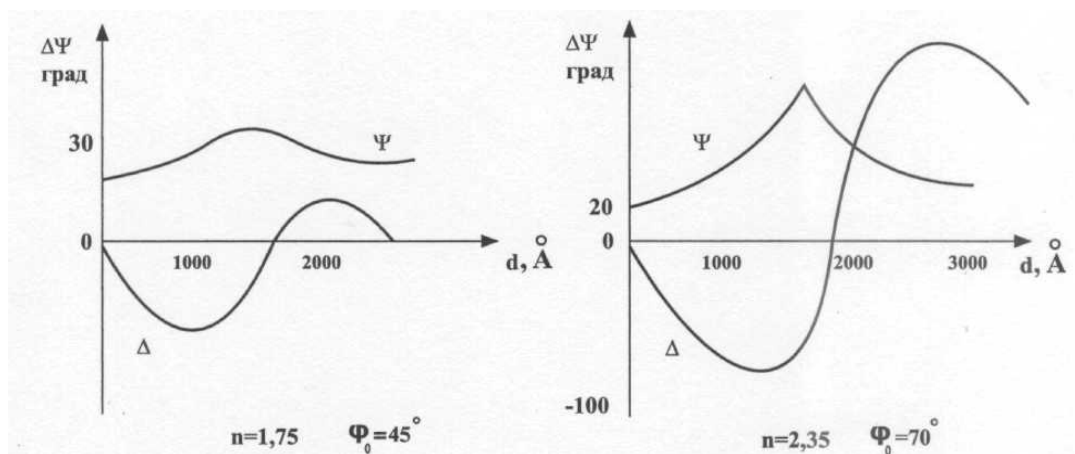


Рисунок 3.20 – Номограммы ψ - d для определения толщины пленок.

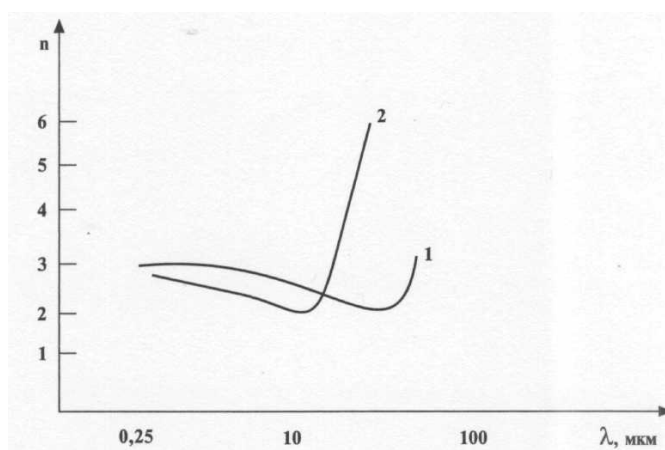


Рисунок 3.21 – Спектральная зависимость показателя преломления с различной концентрацией свободных носителей от длины волны падающего излучения

$$1 - N=10^{18} \text{ см}^{-3}; 2 - N=10^{19} \text{ см}^{-3}.$$

3.1.7 Электрические методы

Электрические методы неразрушающего контроля (ЭМНК) основаны на создании в контролируемом объекте электрического поля либо непосредственным воздействием на него электрическим возмущением (например, электростатическим полем, полем постоянного или переменного тока), либо косвенно с помощью воздействия возмущениями неэлектрической природы (например, тепловым, механическим и др.). В качестве информативного параметра используются электрические параметры объекта контроля (емкость, тангенс угла потерь, проводимость).

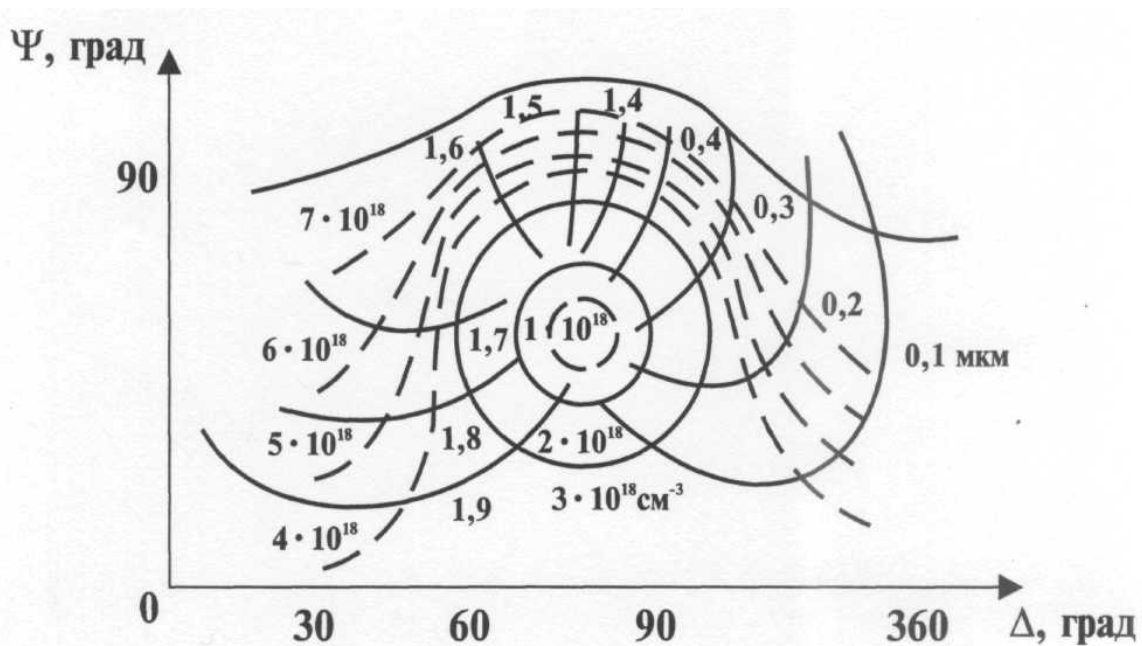


Рисунок 3.22 – Номограмма ψ - Δ для определения толщины эпитаксиальной пленки (d) и концентрации электронов в подложке (N) в структуре nn^+ GaAs при $\lambda = 10,6$ мкм, $\varphi_0 = 65^\circ$

- - - - - линии равной концентрации
- линии равной толщины

По назначению ЭМК делятся по определению исследуемых характеристик состава и структуры материала на *емкостные, электропотенциальные и термоэлектрические*.

1. *Емкостной метод контроля* (ЭМК) предусматривает введение объекта контроля или его исследуемого участка в электростатическое поле определение искомых характеристик материала по вызванной им обратной реакции на источник этого поля.

Информативность ЭМК определяется зависимостью первичных параметров емкости, тангенса угла потерь от характеристик объекта контроля, (диэлектрической проницаемости и коэффициента диэлектрических потерь (см. рисунок 3.23)). Косвенным путем с помощью ЭМК можно определить и другие физические и структурные характеристики материала: плотность, содержание компонентов, механические параметры, радиопрозрачность, толщину, проводящие и диэлектрические включения и т.п.

2. *Электропотенциальные методы*.

Работа электропотенциальных приборов основана на прямом пропускании тока через контролируемый участок и измерении разности потенциалов на определенном участке.

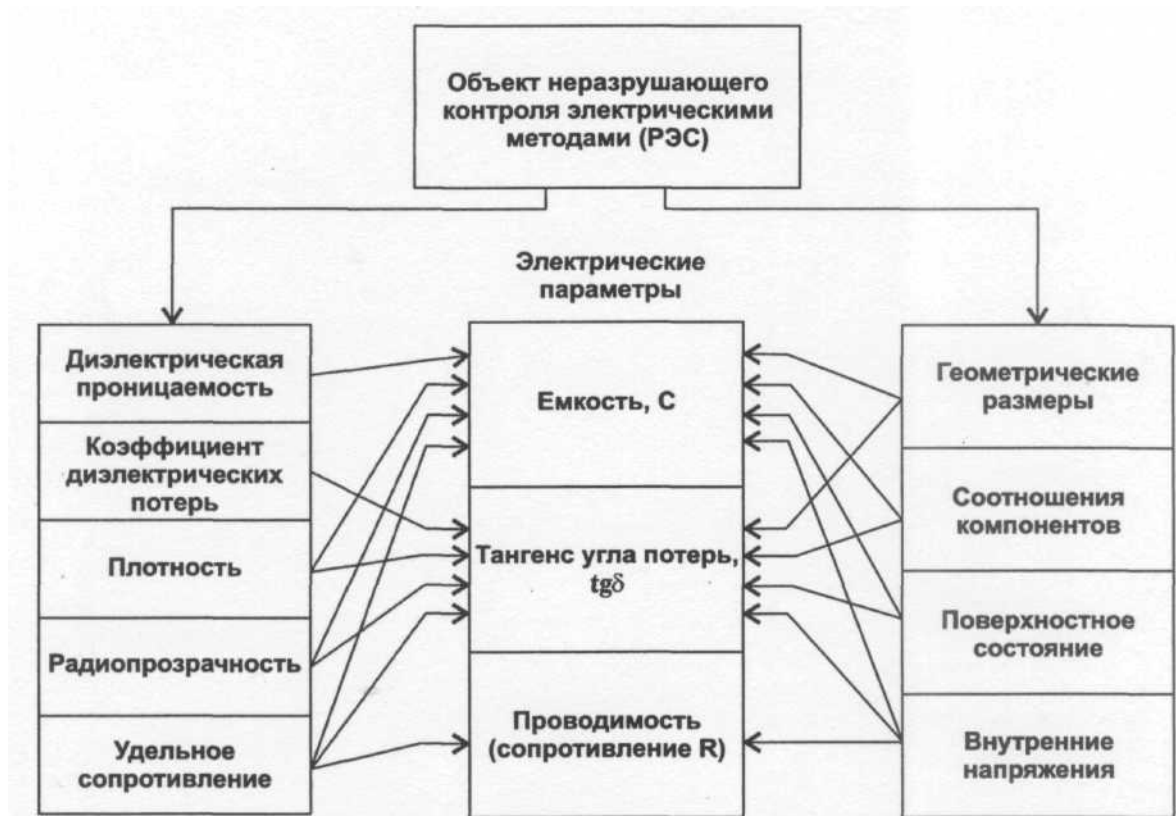


Рисунок 3.23 – Схема воздействия характеристик объекта контроля на электрические параметры.

При пропускании через электропроводящий объект электрического тока в объекте создается электрическое поле. Геометрическое место точек с одинаковым потенциалом составляет эквипотенциальные линии (рисунок 3.24). На рисунке показано распределение эквипотенциальных линий при отсутствии (рисунок 3.24,а) и наличии дефекта (рисунок 3.24,б). Разность потенциалов зависит от трех факторов: удельной электрической проводимости σ , геометрических размеров (например, толщины) и наличия поверхностных трещин. При пропускании переменного тока разность потенциалов будет зависеть и от магнитной проницаемости μ .

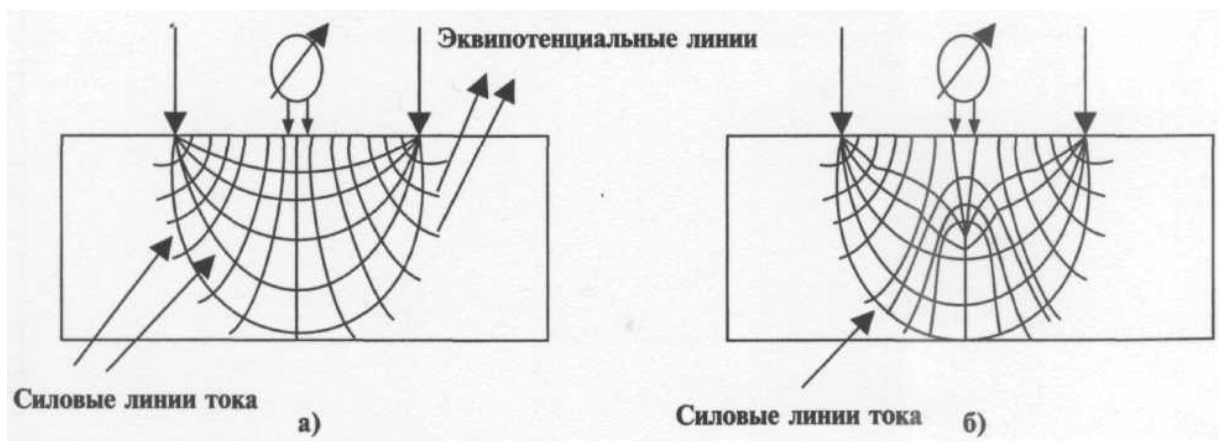


Рисунок 3.24 – Распределение эквипотенциальных линий.

В приборах имеется четыре электрода. С помощью двух из них (токопроводящих) к контролируемому участку подводится ток, а два других измерительные измеряют разность потенциалов на определенном расстоянии (обычно не более 2 мм), по которой судят о глубине обнаруженной трещины.

Электродпотенциальные приборы применяют для измерения толщины стенок деталей, для изучения анизотропии электрических и магнитных свойств, обусловленной приложенными к объекту контроля механическими напряжениями, но основное назначение этих приборов – измерение глубины трещин, обнаруженных другими методами неразрушающего контроля. Электродпотенциальный метод с использованием четырех электродов, является единственным методом, который позволяет осуществить простое измерение глубины (до 100 – 120 мм) поверхностных трещин.

В этом смысле характерным представителем таких приборов является прибор – измеритель глубины трещин типа ИГТ – 10НК позволяющий контролировать глубины трещин от 0,5 до 20 мм в ферромагнитных, аустенитных сталях с 10% относительной погрешностью.

Применение измерителей глубины трещин совместно с другими методами, например, магнитопорошковым или капиллярным, позволяет повысить эффективность обнаружения трещин.

Помимо контроля трещин электродпотенциальные методы используются при контроле удельного сопротивления полупроводниковых структур.

3. Термоэлектрические методы.

Приборы неразрушающего контроля, основанные на термоэлектрическом методе, находят применение при контроле деталей по маркам сталей, при контроле полупроводниковых пластин по типам проводимостей и т.д.

а) Контроль деталей по маркам сталей.

Источником информации о физическом состоянии материала при термоэлектрическом методе неразрушающего контроля является термо-ЭДС, возникающая в цепи, состоящей из пары электродов (горячего и холодного) и наличие контролируемого металла или полупроводника.

Обработка информации может проводиться или путем прямого преобразования или дифференцированным методом (рисунок 3.25,а и рисунок 3.25,б).

Сущность работы приборов по схеме прямого преобразования заключается в следующем. Контролируемый образец 1 помещают на площадку холодного электрода 3. К контролируемой поверхности прикасаются горячим электродом 2, нагреваемым элементом 4. В месте контакта горячего электрода возникает термо-ЭДС, и ток начинает протекать в цепи, в которую включен индикаторный прибор V.

При работе прибора по дифференцированной схеме к холодным электродам, на которых размещены: образец 5 из известной марки стали и контролируемая деталь 1, подключен индикаторный прибор V. К этим деталям одновременно прикасаются горячим электродом - щупом 2 и,

наблюдая за показаниями индикаторного прибора V , судят о принадлежности контролируемой детали к марке стали образца.

Регистрация результатов контроля возможна тремя способами: по углу отклонения стрелки индикаторного прибора, по измерению знака термо-ЭДС и по индикации нулевого показания.

В таблице 3.7 приведены значения термо-ЭДС для некоторых сталей.

Контроль типа проводимости монокристаллических слитков и пластин

Для (кремния или арсенида галлия) n – типа горячий токоподвод имеет положительную полярность, а холодный – отрицательную. При нагреве токоподвода скорость электронов в нем становится больше, чем в холодном, поэтому они диффундируют от горячего токоподвода к холодному до тех пор, пока горячий токоподвод, отдавший электроны, не окажется заряженным положительно, а холодный токоподвод получивший избыток, зарядится отрицательно (рисунок 3.26,а) (в кремнии или арсениде галлия), дырки диффундируют от горячего токоподвода к холодному и горячий токоподвод заряжается отрицательно (рисунок 3.26,б).

Таблица 3.7 – Значения термо-ЭДС для марок сталей.

Марка стали	Значение термо-ЭДС, мВ
40X14H14B2M	0,30 – 0,38
10X18H10T	0,27 – 0,36
30XГСНА	0,16 – 0,28
18ХНВА	0,15 – 0,27
30XГСА	0,12 – 0,18
ЭИ868	0,13 – 0,19
12ХНЗА	0,02 – 0,06
10	-0,07 – +0,09
20	-0,09 – +0,11
25	-0,09 – +0,11
45	-0,11 – +0,11
15ХА	-0,17 – +0,11
ЭИ617	-0,21 – +0,14
16ХГТА	-0,27 – +0,20
ЭИ617	-0,28 – +0,23
16ХГТА	-0,27 – +0,30
ЭИ347	-0,28 – +0,23
10X18	-0,27 – +0,30
P18	-0,30 – +0,32
20X23	-0,31 – +0,33
10X12M	-0,37 – +0,41
10X12Ф1	-0,40 – +0,46

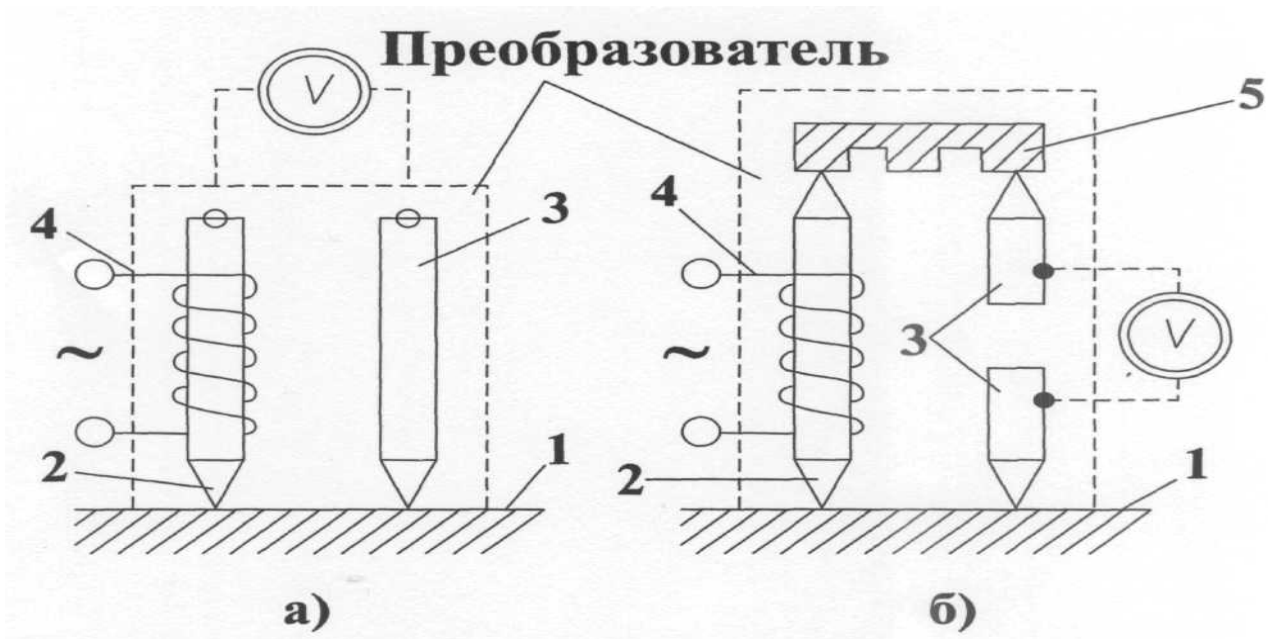


Рисунок 3.25 – Схемы контроля путем прямого преобразования (а) и дифференцированным методом(б).

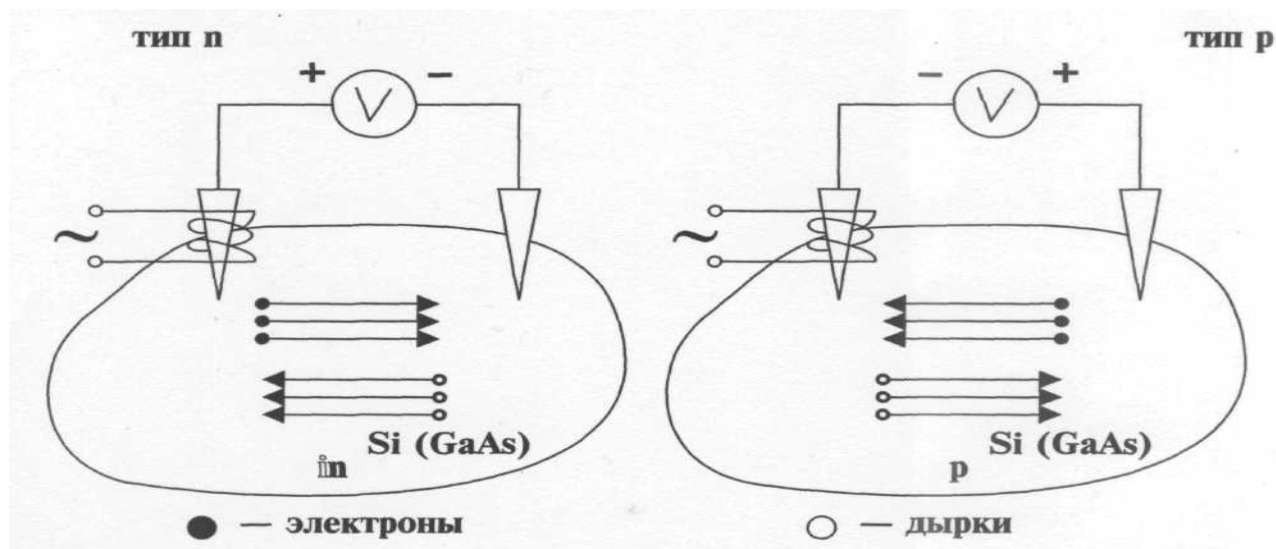


Рисунок 3.26 – Контроль типа проводимости полупроводников по знаку термо-ЭДС: а) n-тип; б) p-тип.

3.1.8 Магнитные методы

Методы основаны на взаимодействии магнитного поля с контролируемым объектом.

Контролируемый объект помещается в магнитное поле. Встретив на своем пути препятствия в виде дефектов - (трещин, расслоений, газовых пузырей, раковин и др.) с меньшей магнитной проницаемостью, часть магнитных силовых линий выходит на поверхность объекта, образуя вокруг

этого дефекта поля рассеяния (рисунок 3.27). Для регистрации полей рассеяния над дефектами применяют несколько методов: *магнитопорошковый; магнитографический и магнитоферрозондовый*.

Возможность применения магнитных методов и конкретные параметры контроля изделий зависят от магнитных свойств материала. Если в магнитное поле поместить тело из ферромагнитного материала, то после удаления источника намагничивания тело сохранит некоторую остаточную намагниченность.

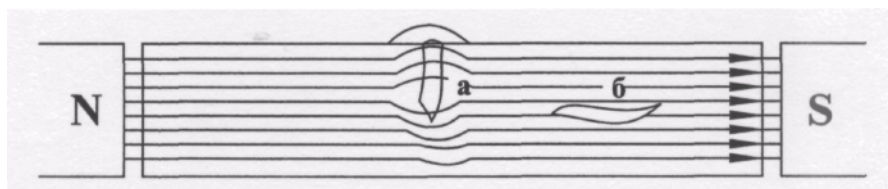


Рисунок 3.27 – Схема магнитного контроля при расположении дефекта поперек (а) и вдоль (б) магнитных силовых линий.

1. *Магнитопорошковый метод.*

Магнитопорошковый метод регистрации полей рассеивания при неразрушающем контроле основан на явлении притяжения частиц магнитного порошка в местах выхода на поверхность контролируемого изделия магнитного потока, связанного с наличием нарушений сплошности. В намагниченных изделиях из ферромагнитных материалов нарушения сплошности (дефекты) вызывают перераспределение магнитного потока и выход части его на поверхность (магнитный поток дефекта). На поверхности изделия создаются локальные магнитные полюсы, притягивающие частицы магнитного порошка, в результате чего место дефекта становится видимым.

Метод служит для выявления дефектов типа тонких поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности: трещин, расслоений, непроваров сварных соединений и т. п.

Метод позволяет контролировать изделия любых размеров и форм если их магнитные свойства дают возможность намагничивания до степени, достаточной для создания магнитного поля дефекта необходимого для притяжения частиц магнитного порошка.

Чувствительность метода определяется магнитными характеристиками материала контролируемого изделия, его формой и размерами, чистотой обработки поверхности, напряженностью намагничивающего поля, способом контроля, взаимным направлением намагничивающего поля дефекта, свойствами применяемого магнитного или магнитно-люминесцентного порошка способом нанесения суспензии (или сухого порошка), а также освещенностью осматриваемого участка изделия.

В зависимости от размеров выявляемых поверхностных дефектов устанавливаются три условных уровня чувствительности указанные в таблице 3.8

Таблица 3.8 – Уровни чувствительности магнитопорошковых методов.

Условный уровень чувствительности	Ширина выявляемого дефекта, мкм	Минимальная протяженность выявляемой части дефекта, мкм
А	2,5	Свыше 0,5
Б	10,0	Свыше 0,5
В	25,0	Свыше 0,5

Магнитопорошковый метод контроля предусматривает следующие технологические операции:

- подготовку изделия к контролю;
- намагничивание изделия;
- нанесение на изделие магнитного порошка или суспензии;
- осмотр изделия;
- разбраковку;
- размагничивание.

Изделия, подаваемые на намагничивающие устройства, должны быть очищены от покрытий, мешающих их смачиванию или их намагничиванию (масла, грязь, иногда изоляционные покрытия и т. п.).

В зависимости от магнитных свойств материала, размеров и формы контролируемого изделия, а также оборудования, используемого для намагничивания, применяют два способа контроля:

- способ приложенного магнитного поля СПМП;
- способ остаточной намагниченности (СОН).

Контроль СПМП характеризуется образованием валика порошка над дефектом за время действия на контролируемое изделие внешнего магнитного поля. При контроле СПМП намагничивание должно начинаться раньше или одновременно с моментом прекращения полива суспензией или нанесения сухого порошка на контролируемое изделие. Окончание намагничивания должно происходить после прекращения стекания основной массы суспензии с контролируемого участка.

Во избежание перегрева изделия после прекращения нанесения суспензии при длительном времени стекания последней, намагничивающий ток может периодически выключаться. Время действия тока 0,1 - 0,5 с с перерывами между включениями 1 - 2 с.

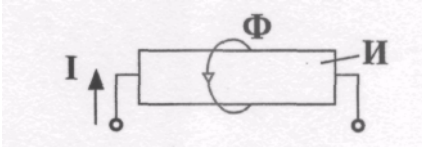
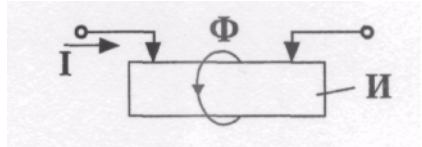
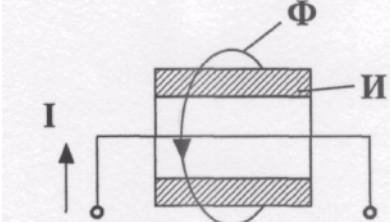
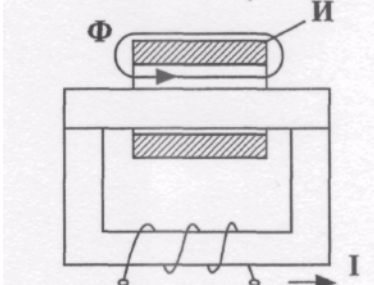
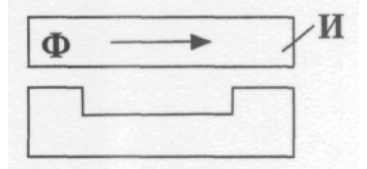
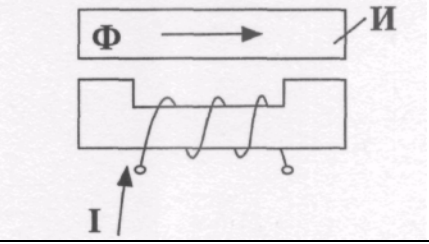
Осмотр изделия производят по окончании стекания суспензии. В отдельных случаях, оговариваемых технической документацией, осмотр изделия может производиться во время действия намагничивающего тока (поля).

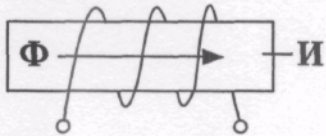
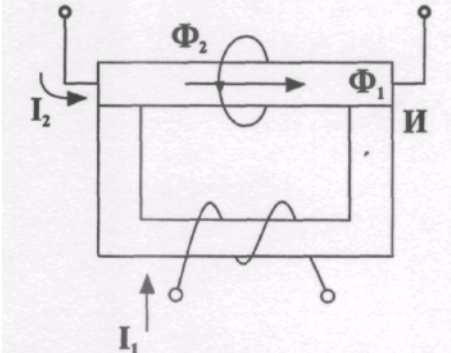
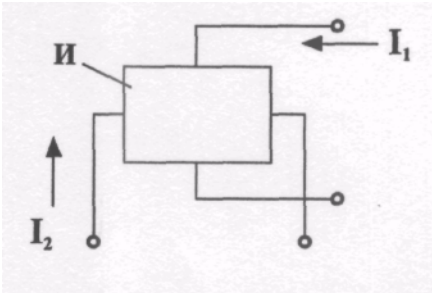
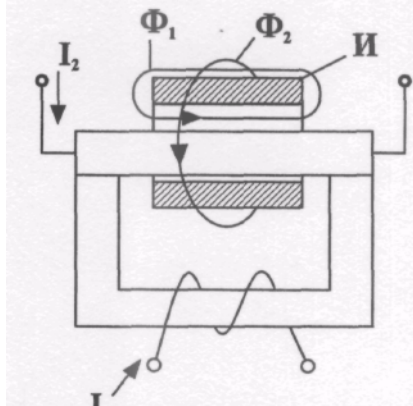
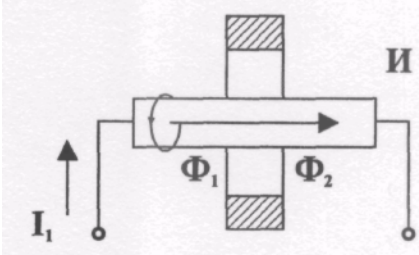
Контроль СОН заключается в предварительном намагничивании контролируемого изделия и последующем нанесении на него суспензии или сухого магнитного порошка. Промежуток времени между намагничиванием и указанной выше обработкой должен быть не менее 1 ч. При этом оседание порошка в зоне дефекта образуется в отсутствие внешнего намагничивающего поля. Наибольшая чувствительность СОН имеет место,

когда величина остаточной индукции в изделии соответствует предельному гистерезисному циклу.

При магнитопорошковом методе контроля применяют три вида намагничивания: *циркулярное, продольное (полюсное) и комбинированное*. Комбинированное намагничивание может быть выполнено только СПМП. Основные способы намагничивания и схемы их осуществления приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Способы и схемы намагничивания изделий.

Вид намагничивания (по форме магнитного потока)	Способ намагничивания	Схема намагничивания
Циркулярное	Пропусканием тока по всему изделию	
	Пропусканием тока по контролируемой части изделия	
	С помощью провода с током, помещаемого в отверстие изделия	
	Путем индуцирования тока в изделии	
Продольное (полюсное)	Постоянным магнитом	
	Электромагнитом	

Продольное (полюсное)	Намагничивающим соленоидом	
Комбинированное	Пропусканием через изделие электрического и магнитного потока от электромагнита	
	Пропусканием по изделию двух (или более) независимых токов во взаимно перпендикулярных направлениях	
	Путем индукцирования тока в изделии и током, проходящим по проводнику, помещенному в отверстие изделия	
	Пропусканием тока по изделию и при помощи соленоида	

Примечание. Обозначения на чертежах означают: И - изделие; Φ - магнитный поток; I - намагничивающий ток.

В зависимости от ориентации дефектов, подлежащих обнаружению, применяют намагничивание в одном, двух или в трех взаимно перпендикулярных направлениях (или применяют комбинированное намагничивание).

Нанесение магнитного порошка на контролируемое изделие может

производиться двумя способами: сухим и мокрым. В первом случае для обнаружения дефектов применяют сухой магнитный порошок, во втором – магнитную суспензию (взвесь магнитного порошка в дисперсионной среде). В качестве дисперсионной среды могут применяться вода, масло, керосин, смесь масла с керосином и др.

Разбраковка изделий проводится путем визуального осмотра поверхности изделия на наличие отложений магнитного порошка в местах дефектов. При необходимости расшифровка результатов контроля может проводиться с применением оптических средств, тип и увеличение которых устанавливаются технической документацией на контроль конкретных изделий.

2. Магнитографический метод.

Этот метод основан на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами с применением в качестве индикатора ферромагнитной пленки. В этом методе контролируемый участок объекта намагничивают, затем плотно прижимают к нему магнитную ленту аналогичную лентам, применяемым для магнитной звуко- и видеозаписи. Намагниченность ферромагнитных частиц ленты определяется напряженностью основного магнитного поля и магнитными полями рассеяния над дефектами. Информация о дефекте считывается при помощи магнитографического дефектоскопа, имеющего лентопротяжное устройство, чувствительную головку типа магнитофонной и осциллографический индикатор. Для воспроизведения записи взаимно перемещают ленту или головку с постоянной скоростью. Возникающий в головке электрический сигнал пропорционален величине остаточного магнитного потока отпечатков полей рассеяния дефектов, зафиксированных на ленте.

Отечественные серийные магнитографические дефектоскопы МД-9, МД-11, МКГ имеют электродвигатель, приводящий во вращение барабан с несколькими магнитными головками. Головки перемещаются поперек магнитной ленты. Электрический сигнал с головки усиливается и подается на электроннолучевую трубку. Горизонтальная развертка трубки синхронизирована с вращением магнитных головок.

Чувствительность магнитографического метода сравнительно высока - на изделиях с ровной поверхностью выявляются дефекты глубиной 0,3 мм при шероховатости поверхности 0,15 мм. Преимущество данного метода - документальность контроля и возможность количественной оценки. Магнитографический метод дефектоскопии получил широкое распространение для контроля качества сварного шва, соединений трубопроводов и листовых конструкций.

4. Магнитоферрозондовый метод.

Этот метод основан на выявлении феррозондовым преобразователем магнитных полей рассеяния над дефектами в намагниченном изделии и преобразовании их в электрические сигналы. Содержание метода

устанавливается ГОСТ 21104-75.

Феррозонд представляет собой ферритовый или пермаллоевый сердечник длиной не более 2-6 мм с двумя обмотками, из которых первая - возбуждающая, питаемая переменным током от генератора, а вторая - измерительная, дающая информацию о наличии и изменениях внешних магнитных полей. Феррозондовые преобразователи имеют очень высокую чувствительность (до 10^{-6} эВ), что позволяет обнаруживать мельчайшие дефекты, способные создать поле рассеяния. Обеспечив перемещение преобразователя по поверхности объекта, осуществляют автоматический или полуавтоматический контроль наличия дефектов.

В зависимости от магнитных свойств, размеров и формы контролируемого изделия применяют два способа контроля:

- приложенного магнитного поля;
- остаточной намагниченности.

Контроль первым способом осуществляют намагничиванием изделия и одновременной регистрацией напряженности магнитных полей рассеяния дефектов феррозондовым преобразователем в присутствии намагничивающего поля, вторым - после снятия намагничивающего поля.

Для неразрушающего контроля при помощи феррозондов созданы и получают все больше промышленное применение различные дефектоскопы. Используются, например, переносной импульсный феррозондовый дефектоскоп ДИФ-1К, позволяющей обнаружить в сталях различные дефекты. При помощи установок ФДУ-1, УФКТ-1, УФСТ-61, МД-10Ф производится автоматизированный скоростной контроль цилиндрических труб, прутков и других изделий.

3.1.9 Электромагнитные методы

Электромагнитные методы неразрушающего контроля основаны на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте. К особенностям вихретокового метода неразрушающего контроля относят:

- электрическую природу сигнала и быстрое действие, что позволяет легко автоматизировать контроль;
- значительную скорость и простоту контроля;
- отсутствие необходимости электрического и даже механического контакта преобразователя с контролируемым объектом;
- возможность контроля слоев металла небольшой толщины, а также быстро движущихся изделий.

Существуют три основных метода возбуждения вихревых токов в объекте:

- помещение изделия в катушку (метод проходной катушки);
- накладывание катушки на изделие (метод накладной катушки);
- помещение изделия между первичной и вторичной катушками

(экранный метод).

При пропускании через катушку переменного тока определенной частоты магнитное поле этой катушки изменяет свой знак с той же частотой. Если поместить изделие в поле этой катушки, то в нем возбуждаются вихревые токи, поле которых оказывает действие на поле возбуждающей катушки.

Существует несколько методов вихретокового контроля (ГОСТ 18353-79): амплитудный, фазовый, частотный, многочастотный.

Наибольшее применение нашли амплитудный и частотный методы.

Амплитудный метод применяют при наличии двух изменяющихся факторов, например, одновременном изменении зазора и электрической проводимости, один из которых нужно исключить. Такое исключение осуществляется фазовой настройкой.

Частотный метод часто используют, например, при измерении толщины стенок труб, когда необходимо отстраниться от измерения наружного диаметра или электрической проводимости.

По чувствительности к трещинам вихретоковая дефектоскопия уступает магнитной. Выпускаемые отечественные электроиндуктивные дефектоскопы типа ДНМ-500, ДНМ-2000 с динамическим модуляционным методом регистрации, в которых накладная катушка вращается вокруг контролируемого изделия, позволяют получить сигнал большой амплитуды и выявить дефект с наименьшим полем рассеяния.

Указанные приборы применяют для выявления трещин протяженностью до 0,8 мм и глубиной $>0,1$ мм в поверхностных слоях деталей под слоем краски и эмали, а также изделий из жаропрочных и коррозионностойких сталей.

Широкое распространение получили дефектоскопы многоцелевого назначения типа ЭМИД. Эти приборы комплектуются набором проходных катушек - датчиков с внутренним диаметром от 5 до 100 мм, что позволяет контролировать многие изделия.

Например, для контроля труб, прутков, проволоки на наличие трещин, раковин, успешно применяется прибор ЭМИР-2М, в котором дефекты регистрируются визуально по изменениям фазы или амплитуды кривой на экране осциллографа, а также автоматически при наличии автоматической приставки. Широко используют также дефектоскопы типа АСК-10(12), ИОС-1, ВК-ЗОС, ВД-20П, ИПП-1М, «Магнитоскоп» и др.

3.1.10 Тепловые методы

Тепловые методы неразрушающего контроля используют при исследовании тепловых процессов в РЭС, причем в большинстве случаев регистрируют поверхностное тепловое или температурное поле объекта контроля, в пространственно-временной структуре которого содержатся «отпечатки» внутренних геометрических или теплофизических аномалий. Согласно ГОСТ 23483-79 методы теплового контроля (ТК) основаны на

взаимодействии теплового поля объекта с термометрическими чувствительными элементами (термопарой, фотоприемником, жидкокристаллическим термоиндикатором и т.д.), преобразовании параметров поля (интенсивности, температурного градиента, контраста, лучистости и др.) в электрический или другой сигнал и передаче его на регистрирующий прибор.

Необходимое условие применения ТК - отличие интегральной или локальной температуры изделий от температуры окружающей среды, которое создается либо искусственно с помощью внешних источников теплового нагружения (ИТН), либо в силу естественных причин при изготовлении или функционировании изделий.

Таблица 3.10 – Основные объекты ТК в радиоэлектронике.

Объекты ТК	Дефекты	Примечание
Полупроводниковые изделия (транзисторы, диоды, тиристоры)	Дефекты р-п-перехода (поверхностная деградация, электромиграция, межметаллические соединения); неравномерная плотность тока; трещины, газовые пузыри между кристаллом и основанием, неоднородность состава исходного материала; дефекты тепло-отвода, диффузионной сварки; повреждения кристалла; обрыв проводов и короткие замыкания.	При интегральном способе ТК измеряют тепловое сопротивление. Наиболее перспективно импульсное питание, при котором определяют время тепловой устойчивости и переходную тепловую характеристику. Исследование температурных рельефов и двухмерных термограмм позволяет локализовать дефекты.
Интегральные схемы	Дефект теплоотвода; обрыв выводов; короткие замыкания; некачественная металлизация; сколы резистивной пленки; плохая адгезия и термокомпрессия; пробой конденсаторов; объемные дефекты полупроводника.	Разрешение по площади составляет 20..50 мкм. Контроль проводят с помощью автоматизированных систем, измеряя температуру в 50.. 10 точках интегральной схемы при снятой крышке.
Многослойные печатные платы	Утонение и коррозионный износ проводников; некачественная металлизация; отслоение проводников.	Используют импульсный нагрев электрическим током. Температурное поле имеет сложный вид и требует наличие эталонов.
Резисторы	Локальное уплотнение; непроводящие включения; трещины.	Размер обнаруживаемого дефекта 15x15 мкм.
Конденсаторы	Пробой электролитических конденсаторов; замыкание слоев конденсаторов в микросхемах.	ТК осложнен небольшим излучением энергии и низким коэффициентом излучения.

Сборочные единицы и блоки радиоэлектронных средств	Неправильное включение элемента в схему; некачественный монтаж; неудачное размещение элементов на плате.	ТК рекомендуется при проектировании, изготовлении и функционировании узлов. Наиболее эффективен ТК при массовом производстве однотипных узлов. Разрешение по площади - от долей миллиметра до нескольких сантиметров. В основе отбраковки операторное или автоматическое сравнение текущей термограммы с эталонной. Оптимизацию проводят путем выбора контрольных точек и тестового воздействия.
Проволока	Утонение; трещины	Используют контактный электронагрев и бесконтактный СВЧ-нагрев. Скорость контроля до 4 м/мин. Способ чувствительности к изменению проволоки от 20 до
Катодные узлы	Неравномерность покрытия	Повышение температуры на 50..60 К уменьшает долговечность катода на порядок. Используют
Высокотемпературные и пленочные покрытия	Отслоение от подложки, неравномерность покрытия	Наиболее чувствителен нестационарный ТК.
Контроль сварки выводов интегральной схемы с контактными площадками микро-плат.	Непроваривание выводов.	При стандартном точечном воздействии температурный отклик бездефектного соединения лежит в определенном интервале.

С помощью методов ТК можно проводить анализ теплового режима электронных схем, контроль измерения параметров цепей, качества элементов, автоматический поиск неисправностей в РЭС.

Терминология ТК определена ГОСТ 18353-79, а классификация методов установлена ГОСТ 23483-79. Для ТК применяют пассивные и активные методы.

При пассивном ТК объекты испытаний не подвергают воздействию от внешнего источника, и в местах потенциальных дефектов механических соединений токоведущих элементов путем опрессовки, скрутки, пайки и сварки возникает дополнительное электрическое сопротивление, которое обуславливает нагрев этого участка в соответствии с законом Джоуля - Ленца (рисунок 3.28,а). Пассивным способом ТК объекта испытаний, характеризующимся аномальным выделением теплоты в месте потенциального дефекта, контролируют сборочные единицы и компоненты

радиоэлектронных средств (рисунок 3.28,б).

При активном контроле объект подвергают воздействию от внешнего источника энергии (1) (рисунок 3.28, в). До проведения контроля температура изделия во всех точках одинакова (чаще всего равна температуре окружающей среды). При нагреве изделия, тепловой поток распространяется вглубь изделия, в месте газового дефекта испытывает дополнительное тепловое сопротивление. В результате этого наблюдается локальное повышение температуры на нагреваемой поверхности, а на противоположной поверхности изделия, в силу закона сохранения энергии, знак температурного сигнала инвертируется.

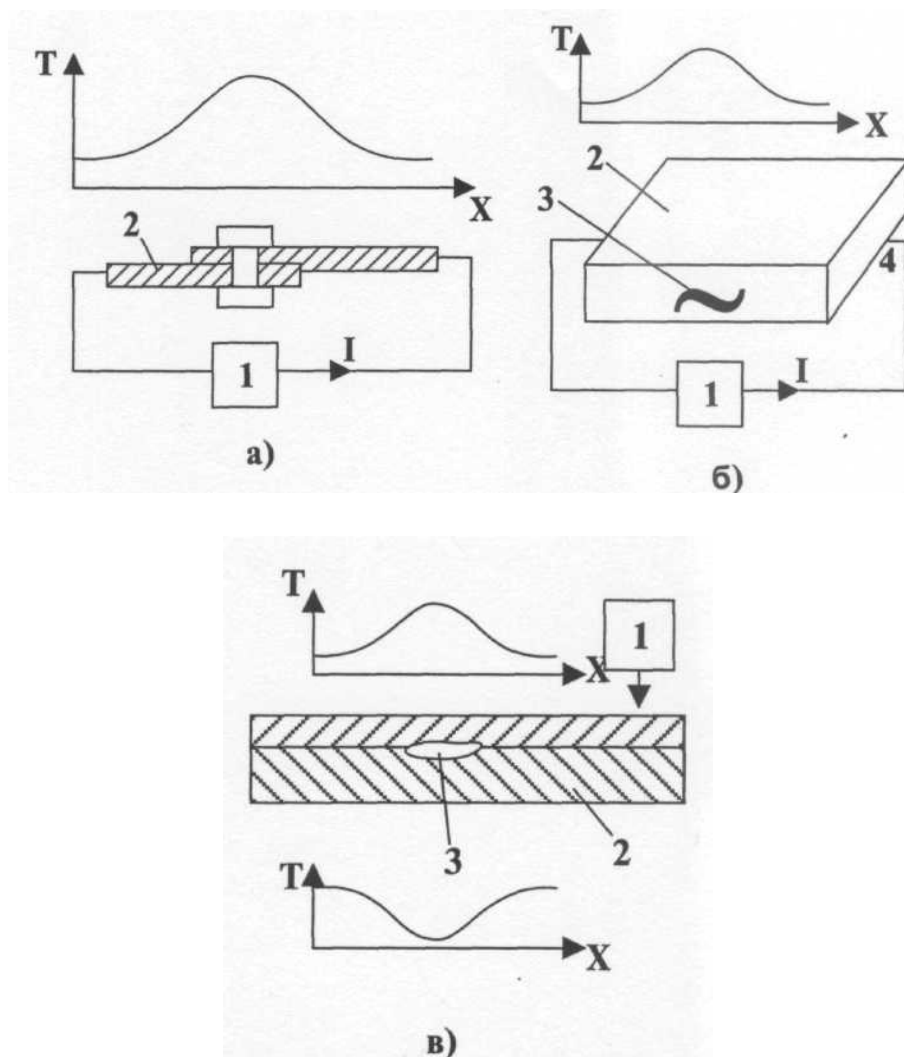


Рисунок 3.28 – Пассивные (а, б) и активные (в) ТК.
1 - ИТН; 2 - изделие; 3 - дефект.

Пассивный контроль в общем случае предназначен:

- для контроля теплового режима объектов контроля;
- для обнаружения отклонений от заданной формы и геометрических размеров объектов контроля.

Активный контроль в общем случае предназначен:

- для обнаружения дефектов типа нарушения сплошности в объектах

контроля (трещин, пористости, расслоений, инородных включений);

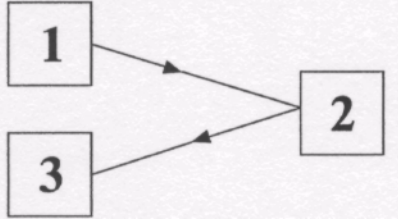


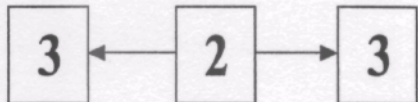
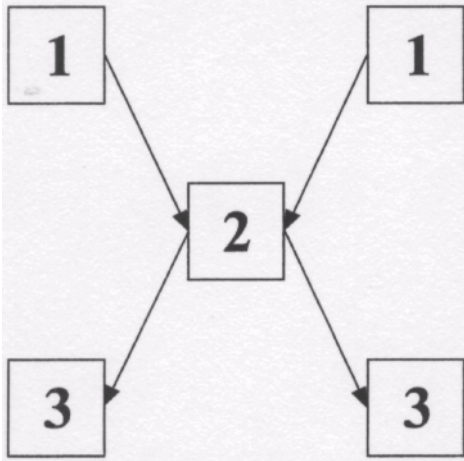
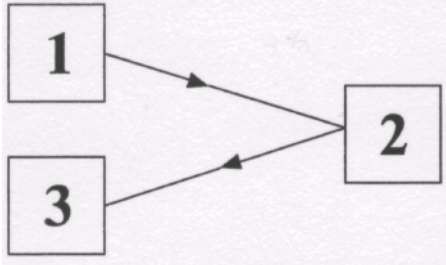
- для обнаружения изменений в структуре и физико-химических свойствах объектов контроля (неоднородность, теплопроводность структуры, теплоемкость и коэффициент излучения).

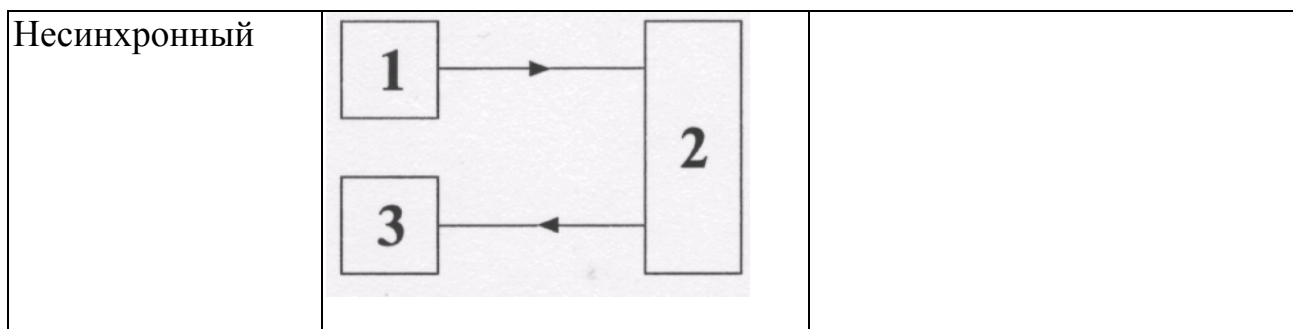
Схемы основных методов теплового контроля приведены в таблице 3.11.

Основные методы пассивного теплового контроля и области их применения приведены в таблице 3.12.

Основные методы активного теплового контроля и области их применения приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.11 - Основные методы ТК.

Метод контроля	Схема контроля	
	Активного	Пассивного
Односторонний		
Двухсторонний		
Комбинированный		
Синхронный		



Обозначения: 1 – источник нагрева; 2 – объект контроля; 3 – термочувствительный элемент.

Дефекты вызывают значительные перегревы отдельных областей ИМС или всего изделия в целом, что приводит к последующему его отказу. Поэтому контроль реальной картины теплового поля в изделии необходим для успешного конструирования высоконадежных изделий. По времени действия различают непрерывные и импульсные ИТН. Температурные поля регистрируют с помощью контактных (индикаторы на жидких кристаллах, термолюминофоры, термометры, термосопротивления и т. д.) и бесконтактных дистанционных ИК (радиометры, тепловизоры).

Критерии дефектности (КД), т.е. измеряемые или рассчитываемые физические величины, по которым оценивают качество изделий, подразделяют на амплитудные и временные (таблица 3.14). В течение долгого времени на практике использовали абсолютную температуру изделия, разность температур дефектного и бездефектного участка или эталонного и контролируемого изделий, названную температурным перепадом ΔT , а также температурный контраст $A = \Delta T / T$. Ввиду того, что указанные амплитудные критерии существенно зависят от специфических для ТК помех, в последние годы интенсивно разрабатывают временные критерии, которые представляют собой некоторое характерное время процесса теплопередачи.

Таблица 3.12 - Методы пассивного ТК.

Название метода	Область применения	Контролируемые параметры	Факторы, ограничивающие область применения	Чувствительность	Диапазоны контролируемых параметров	Быстроты, с	Относительная погрешность, %	Примечание
Контактные	Контроль температуры твердых, жидких и газообразных сред, размеров тепловыделяющих элементов объектов, дефектов нарушения сплошности	Температура	Температура объекта, превышающая допустимую температуру нагрева датчика; сложная конфигурация изделия; плохой контакт датчика с объектом	0,001 С	От -270 до 1500 °С	0,1 – 1,0	0,1	Для термоэлектрических датчиков
		Геометрические размеры и форма объектов		0,02 °С	От -40 до 400 °С	0,1 – 1,0	1,0 – 5,0	Для термоиндикаторов
		Величина и форма дефектов		0,01 мм	0,1 – 500,0 мм	0,1 – 1,0	0,1 – 1,0	
				0,01 мм	От 0,1 до 100,0 мм и более	0,1 – 1,0	–	
Собственного излучения	Контроль температуры, измерение излучательной способности, размерный контроль тепловыделяющих элементов, контроль дефектов типа нарушения	Коэффициент излучения; лучистый поток	Нестабильность коэффициента излучения во времени и пространстве и наличие подсветки объекта посторонними источниками	0,01 °С	-260 °С – 4000 °С	10^{-6}	1,0 – 5,0	Для фотоэлектрических датчиков
		Геометрические размеры и формы объекта		0,01 мм	От 0,01 мм	10^{-6}	0,01 – 1,0	Для фотоэлектрических датчиков
						10^{-2}		Для тепловых датчиков
		Величина и форма дефектов		0,01 мм	От 0,1 мм до 100,0 мм и более	10^{-6}	1,0 – 5,0	Для фотоэлектрических датчиков

Таблица 3.13 – Методы активного ТК.

Название метода	Область применения	Контролируемые параметры	Факторы, ограничивающие область применения	Чувствительность	Быстродействие (с)	Погрешность (%)	Примечание
Стационарный	Контроль теплофизических свойств изделий с анизотропией теплопроводности; контроль пористости, излучательной способности объектов	Теплопроводность; теплоемкость	Допустимая температура нагрева объекта, временная и пространственная нестабильность излучения объекта (при неконтактных методах контроля)	~ 5%	0,1 – 1,0	5,0 – 10,0	Для контактных датчиков
		Коэффициент излучения			$10^{-4} - 10^{-6}$		Для неконтактных датчиков
					$\Delta e_{min} = 0,02$		0,1 – 1,0
		$10^{-4} - 10^{-6}$			Для неконтактных датчиков		
Нестационарный	Контроль теплофизических свойств материалов с большой теплопроводностью, динамики нагрева (охлаждения) объектов; контроль дефектов типа нарушения сплошности в сотовых и композитных материалах, полимерах; контроль тепловых деформаций	Теплопроводность		~ 5%	0,1 – 1,0	5,0 – 10,0	Для контактных датчиков
		Тепловая постоянная времени			$10^{-4} - 10^{-6}$		Для неконтактных датчиков
		Размер дефектов			0,1 – 1,0		Для контактных датчиков
		Температурная деформация		Порядка $h/l = 1 - 3$	Время задержки 0,1 – 1,0 для металлов и 10 – 100 для неметаллов		При несинхронном контроле
				Порядка 0,1λ			При интерферрационном голографическом методе регистрации

Примечание: h – глубина залегания; l - раскрыв дефекта; Δe_{min} – минимальное изменение коэффициента излучения.

Можно отметить следующие основные преимущества теплового контроля:

- дистанционность (для ИК систем);
- высокая скорость обработки информации;
- высокая производительность испытаний, ограниченная скоростью нагрева в активном режиме и скоростью сканирования в пассивном режиме;
- высокое линейное разрешение (до 10 мкм в ИК микроскопии);
- возможность контроля при одно- и двухстороннем подходе к изделию;
- теоретическая возможность контроля практически любых материалов, если теплофизические или спектральные свойства дефектов и материалов различаются;
- практическая целесообразность методов контроля материалов с высокой и низкой теплопроводностью, а также контроля при обилии внешних тепловых помех;
- многопараметрический характер испытаний;
- малая зависимость результатов контроля от шероховатости поверхности по сравнению с некоторыми другими видами МНК;
- возможность взаимодополняющего сочетания ТК с другими методиками МНК, особенно радиационными, капиллярными и ультразвуковыми;
- возможность исследования динамических и статистических тепловых процессов, процессов производства, преобразования, передачи, потребления и консервации энергии различных видов;
- возможность прогнозирования тепловой деградации изделий; исследования усталостных и коррозионных процессов;
- совместимость со стандартными системами обработки информации;
- возможность поточного контроля и создания автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами.

Таблица 3.14 – Критерии дефектности и их зависимость от различных факторов.

Критерии дефектности	Влияние температуры нагрева (мощности ИТН)	Влияние помехи	
		Аддитивной	Мультипликативной
Амплитудные			
1. Абсолютная температура T или температурный перепад ΔT	+	+	+
2. Температурный контраст $\Delta T/T$	–	+	–

Продолжение таблицы 3.14

Критерии дефектности	Влияние температуры	Влияние помехи	
		Аддитивной	Мультипликативной
3. Первая производная от температуры на поверхности по толщине изделия	+	+	+
4. Положение экстремумов первой производной от температуры по поверхностной координате	–	+	–
5. Форма температурных перепадов	–	+	+
Временные			
6. Время достижения относительных уровней температуры	–	÷	–
7. Наличие и время достижения экстремумов первой производной от температурного контраста по времени	–	÷	–
8. Время распространения поверхностной изотермы	–	÷	–

Примечание:

1. Знак + (-) означает, что помеха оказывает (не оказывает) существенное влияние на КД; принято, что локальное изменение оптических свойств не влияет на температуру.
2. Знак ÷ свидетельствует об отсутствии исследований.

3.1.11 Радиоволновый метод

Радиоволновые методы основаны на взаимодействии электромагнитного поля в диапазоне длин волн от 1 до 100 мм с объектом контроля, преобразовании параметров поля в параметры электрического сигнала и передаче на регистрирующий прибор или средства обработки информации.

По первичному информативному параметру различают следующие СВЧ-методы: амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый, геометрический, временной, спектральный, поляризационный, голографический. Область применения СВЧ-методов радиоволнового вида неразрушающего контроля приведен в таблице 3.15 и в ГОСТ 23480-79.

Таблица 3.15 – Радиоволновые методы неразрушающего контроля

Название метода	Область применения	Факторы, ограничивающие область применения	Контролируемые параметры	Чувствительность	Погрешность
Амплитудный	Толщинометрия полуфабрикатов, изделий из радиопрозрачных материалов	Сложная конфигурация. Изменение зазора между антенной преобразователя и поверхностью контроля.	Толщина до 100 мм	1 – 3 мм	5%
	Дефектоскопия полуфабрикатов, изделий и конструкций из диэлектрика		Дефекты: трещины, расслоения, недопрессовки	Трещины более 0,1x1x1 мм	
Фазовый	Толщинометрия листовых материалов и полуфабрикатов, слоистых изделий и конструкций из диэлектрика.	Волнистость профиля или поверхности объекта контроля при шаге менее 10L. Отстройка от влияния амплитуды сигнала	Толщина до $0,5\lambda_E$	$5 \cdot 10^{-3}$ мм	1%
	Контроль «электрической» (фазовой) толщины		Толщина до $0,5\lambda_E$	0,1 мм	1°
Амплитудно - фазовый	Толщинометрия материалов, полуфабрикатов, изделий и конструкций из диэлектриков, контроль изменения толщины.	Неоднозначность отсчета при изменении толщины более $0,5\lambda_E$ Изменение диэлектрических свойств материала объектов контроля величиной более 2%. Толщина более 50 мм.	Толщина 0 – 50 мм	0,05 мм	$\pm 0,1$ мм
Амплитудно - фазовый	Дефектоскопия слоистых материалов и изделий из диэлектрика и полупроводника толщиной до 50 мм	Изменение зазора между антенной преобразователя и поверхностью объекта контроля.	Расслоения, включения, трещины, изменения плотности, неравномерное распределение составных компонентов	Включения порядка $0,05\lambda_E$. Трещины с раскрывом порядка 0,05 мм. Разноплотность порядка $0,05 \text{ г/см}^3$	-

Продолжение таблицы 3.15

1	2	3	4	5	6
Геометрический	Толщинометрия изделий и конструкций из диэлектриков: контроль абсолютных значений толщины, остаточной толщины	Сложная конфигурация объектов контроля; непараллельность поверхностей. Толщина более 500 мм	Толщина 0 - 500 мм	1,0 мм	3 – 5 %
	Дефектоскопия полуфабрикатов и изделий: контроль раковин, расслоений, инородных включений в изделиях из диэлектрических материалов	Сложная конфигурация объектов контроля	Определение глубины залегания дефектов в пределах до 500 мм	1,0 мм	3 – 5 %
Временной	Толщинометрия конструкций и сред, являющихся диэлектриками	Наличие «мертвой» зоны. Наносекундная техника. Применение генераторов мощностью более 100 мВт	Толщина более 500 мм	5 – 10 мм	5%
	Дефектоскопия сред из диэлектриков		Определение глубины залегания дефектов в пределах до 500 мм	5 – 10 мм	5%
Спектральный	Дефектоскопия полуфабрикатов и изделий из радиопрозрачных материалов	Стабильность частоты генератора более 10^{-6} . Наличие источника магнитного поля. Сложность создания чувствительного тракта в диапазоне перестройки частоты более 10%	Изменения в структуре и физико-химических свойствах материалов объектов контроля, включения	Микродефекты и микроненормодности значительно меньшие рабочей длины волны.	–
Поляризационный	Дефектоскопия полуфабрикатов, изделий и конструкций из диэлектрических материалов.	Сложная конфигурация. Толщина более 100 мм.	Дефекты структуры и технологии, вызывающие анизотропию свойств материалов (анизотропия, механические и термические	Дефекты площадью более $0,5 - 1,0 \text{ см}^2$.	–

Продолжение таблицы 3.15

1	2	3	4	5	6
			напряжения, технологические нарушения упорядоченности структуры)		
Голографический	Дефектоскопия полуфабрикатов, изделий и конструкций из диэлектрических и полупроводниковых материалов с созданием видимого (объемного) изображения	Стабильность частоты генератора более 10^{-6} . Сложность создания опорного пучка или поля с равномерными амплитудно-фазовыми характеристиками. Сложность и высокая стоимость аппаратуры.	Включения, расслоения, разнотолщинность. Изменения формы объектов.	Трещины с раскрывом 0,05 мм	-

Примечание: λ_E – длина волны в контролируемом объекте; L – размер раскрыва антенны в направлении волнистости.

Необходимым условием применения СВЧ-методов является соблюдение следующих требований:

- отношение наименьшего размера (кроме толщины) контролируемого объекта к наибольшему размеру раскрыва антенны преобразователя должно быть не менее единицы;
- наименьший размер минимально выявляемых дефектов должен не менее чем в три раза превышать величину шероховатости поверхности контролируемых объектов;
- резонансные частоты спектра отраженного (рассеянного) излучения или напряженности магнитных полей материалов объекта и дефекта должны иметь различие, определяемое выбором конкретных типов регистрирующих устройств.

Варианты схем расположения антенн преобразователя по отношению к объекту контроля приведены в таблице 3.16.

Методы этого вида контроля позволяют определять толщину и обнаружить внутренние и поверхностные дефекты в изделиях преимущественно из неметаллических материалов. Радиоволновая дефектоскопия дает возможность с высокой точностью и производительностью измерять толщину диэлектрических покрытий на металлической подложке. В этом случае амплитуда зондирующего сигнала представляет собой основной информационный параметр. Амплитуда проходящего через материал излучения уменьшается из-за многих причин, в том числе из-за наличия дефектов. Кроме этого, изменяются длина волны и ее фаза.

Существуют три группы методов радиоволновой дефектоскопии: на прохождение, отражение и на рассеяние.

Аппаратура радиоволнового метода обычно содержит генератор, работающий в непрерывном или импульсном режиме, рупорные антенны, предназначенные для ввода энергии в изделие и прием прошедший или отраженной волны, усилитель принятых сигналов и устройства для выработки командных сигналов, управляющих различного рода механизмами.

При контроле фольгированных диэлектриков производят сканирование поверхности проверяемого образца направленным пучком микроволн с длиной волны 2 мм.

В зависимости от информационно используемого параметра микроволн дефектоскопы подразделяют на фазовые, амплитудно-фазовые, геометрические, поляризационные.

Изменение относительно амплитуды волны отсчитывается на эталонном изделии. Амплитудные дефектоскопы наиболее просты с точки зрения настройки и эксплуатации, но их применяют только для обнаружения достаточно больших дефектов, значительно влияющих на уровень принятого сигнала.

Амплитудно-фазовые дефектоскопы позволяют обнаруживать дефекты, изменяющие как амплитуду волны, так и ее фазу. Такие дефектоскопы способны давать достаточно полную информацию, например, о качестве заготовок фольгированных диэлектриков, предназначенных для изготовления отдельных слоев многослойных печатных плат.

В поляризационных дефектоскопах фиксируют изменение плоскости поляризации волны при ее взаимодействии с различными неоднородностями. Эти дефектоскопы могут быть использованы для обнаружения скрытых дефектов в самих различных материалах, например, для исследования диэлектрической анизотропии и внутренних напряжений в диэлектрических материалах.

3.1.12 Радиационные методы

Под радиационными методами неразрушающего контроля понимается вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом. В основе радиационных методов лежит получение дефектоскопической информации об объекте с помощью ионизирующего излучения, прохождение которого через вещество сопровождается ионизацией атомов и молекул среды. Результаты контроля определяются природой и свойствами используемого ионизирующего излучения, физико-химическими характеристиками контролируемых изделий, типом и свойствами детектора (регистратора), технологией контроля и квалификацией дефектоскопистов.

Радиационные методы неразрушающего контроля предназначены для обнаружения микроскопических нарушений сплошности материала контролируемых объектов, возникающих при их изготовлении (трещины, овалы, включения, раковины и др.)

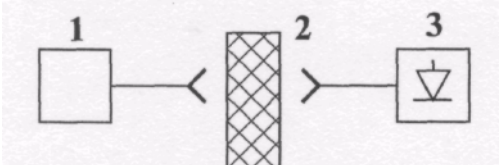
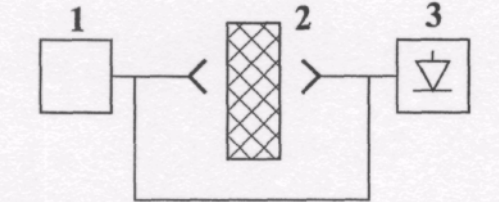
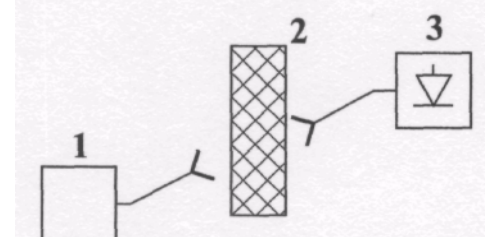
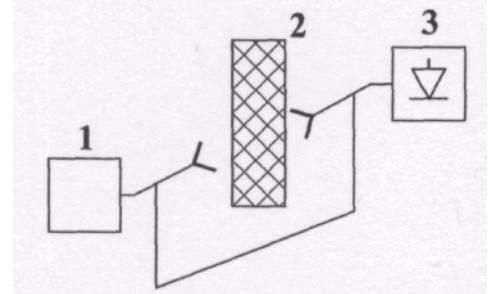
Классификация радиационных МНК представлена на рисунок 3.29.

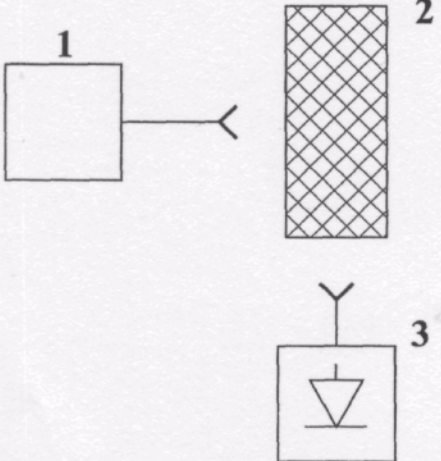
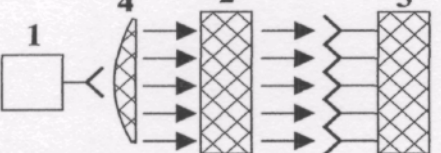
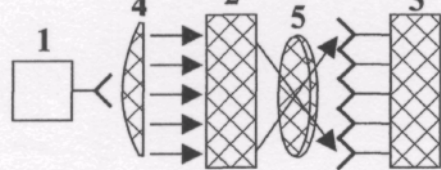
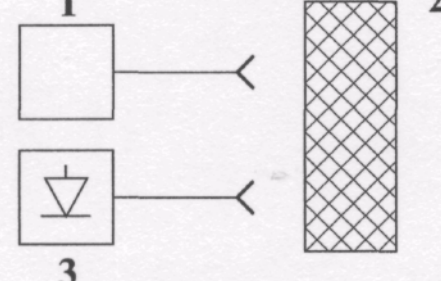
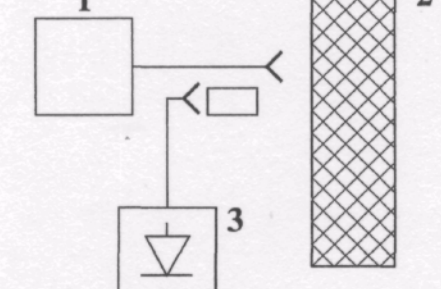
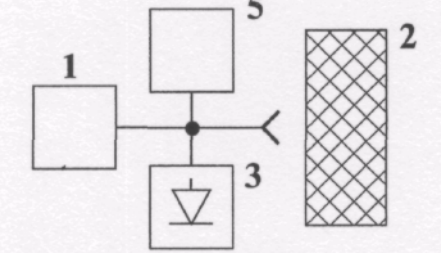
3.1.13 Методы электронной микроскопии (ЭМ)

Электронная микроскопия основывается на взаимодействии электронов с энергиями 0,5 - 50 кэВ с веществом, при этом они претерпевают упругие и неупругие столкновения.

Рассмотрим основные способы использования электронов при контроле тонкопленочных структур (см. рисунок 3.30)

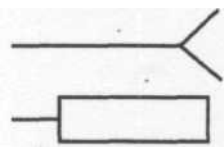
Таблица 3.16 – Схемы расположения антенн преобразователей по отношению к объекту контроля.

Схема расположения антенн преобразователя	Возможный метод контроля	Примечание
1	2	3
	Амплитудный, спектральный, поляризационный	–
	Фазовый, амплитудно-фазовый, временной, спектральный	–
	Амплитудный, геометрический, спектральный, поляризационный	–
	Фазовый, амплитудно-фазовый, геометрический, временной, спектральный	–

1	2	3
	<p>Амплитудный, спектральный, поляризационный.</p>	<p>—</p>
	<p>Амплитудный, поляризационный, голографический.</p>	<p>В качестве приемной используется многоэлементная антенна.</p>
	<p>Амплитудный, голографический.</p>	<p>В качестве приемной используется многоэлементная антенна.</p>
	<p>Амплитудный, амплитудно-фазовый, временной, поляризационный</p>	<p>—</p>
	<p>Амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый, спектральный.</p>	<p>Функции передающей (излучающей) и приемной антенн совмещены в одной антенне.</p>
	<p>Амплитудно-фазовый, спектральный</p>	<p>Функции передающей (излучающей) и приемной антенн совмещены в одной антенне.</p>

1	2	3
	<p>Амплитудно-фазовый, спектральный</p>	<p>В качестве приемо-передающих антенн используются две одинаковые антенны.</p>
	<p>Амплитудно-фазовый, геометрический, временной, поляризационный</p>	<p>—</p>
	<p>Амплитудный, голографический.</p>	<p>В качестве приемной используется многоэлементная антенна.</p>

Обозначения:



- антенна преобразователя;

- нагрузка.

1 – СВЧ-генератор; 2 – объект контроля; 3 – СВЧ-приемник; 4 – линза для создания (квази) плоского фронта волны; 5 – линза для формирования радиоизображения; 6 – опорное (эталонное) плечо мостовых схем.

Примечание: допускается применение комбинаций схем расположения антенн преобразователя по отношению к объекту контроля.

Растровая электронная микроскопия (РЭМ). Сфокусированный пучок электронов 1 (рисунок 3.30) диаметром 2-10 нм с помощью отклоняющей системы 2 перемещается по поверхности образца, (либо диэлектрической пленки 3¹, либо полупроводника 3-¹¹.) Синхронно с этим пучком электронный пучок перемещается по экрану электронно-лучевой трубки. Интенсивность электронного луча моделируется сигналом, поступающим с образца. Строчная и кадровая развертка пучка электронов позволяют наблюдать на экране ЭЛТ определенную площадь

исследуемого образца. В качестве модулирующего сигнала можно использовать вторичные и отражательные электроны.

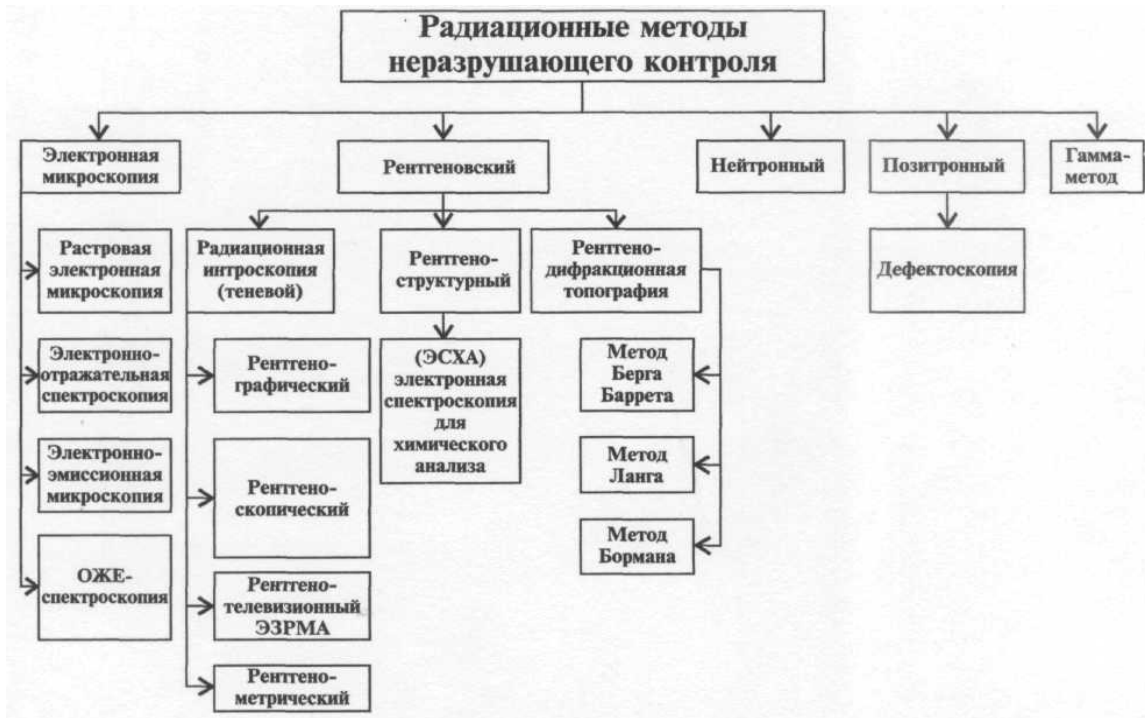


Рисунок 3.29 – Классификация радиационных методов.

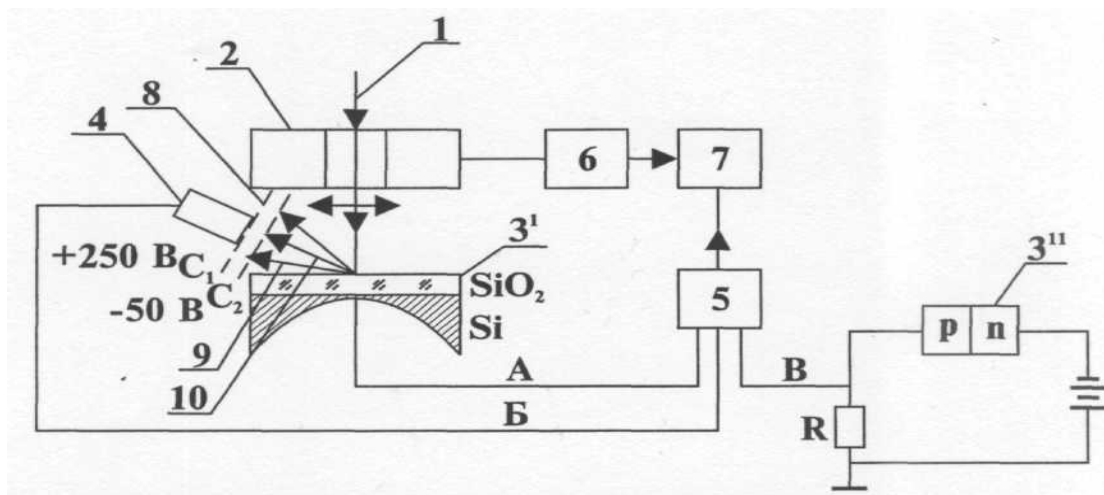


Рисунок 3.30 – Режимы работы растровой электронной микроскопии:

- а) контраст в прошедших электронах; б) контраст во вторичных и отраженных электронах; в) контраст в наведенном токе (3^{11} - условно вынесен за пределы прибора). 1 – сфокусированный луч; 2 – отклоняющая система; 3 – объект исследования - диэлектрическая пленка; 4 - детектор вторичных и отраженных электронов; 5 - усилитель; 6 - генератор развертки; 7 - ЭЛТ; 8 - сетка детектора; 9 - отраженные электроны; 10 - вторичные электроны.

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) основана на поглощении, дифракции электронов взаимодействия с атомами вещества. При этом прошедший через пленку сигнал снимается с сопротивления, включаемого последовательно с образцом 3^1 . Для получения изображения на экране используются

мощные линзы, располагаемые за образцом. Стороны образца должны быть плоскопараллельными, чистыми. Толщина образца должна быть много меньше длины свободного пробега электронов и должна составлять 10..100 нм.

ПЭМ позволяет определить: *формы и размеры дислокаций, толщину образцов и профиль пленок*. В настоящее время существуют ПЭ микроскопы до 3 МэВ.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

Изображение формируется как за счет вторичных электронов, так и за счет отраженных электронов (рисунок 3.30). Вторичные электроны позволяют определить химический состав образца, а отраженные – морфологию его поверхности. При подаче отрицательного потенциала - 50 В происходит запираание малоэнергетичных вторичных электронов и изображение на экране становится контрастным, поскольку грани, расположенные под отрицательным углом к детектору, не просматриваются вообще. Если на сетку детектора подать положительный потенциал (+250 В), то вторичные электроны собираются с поверхности всего образца, что смягчает контрастность изображения. Метод позволяет получить информацию о:

- топологии исследуемой поверхности;
- геометрическом рельефе;
- структуре исследуемой поверхности;
- коэффициенте вторичной эмиссии;
- об изменении проводимости;
- о местоположении и высоте потенциальных барьеров;
- о распределении потенциала по поверхности и в поверхности (за счет заряда по поверхности при облучении электронами) при попадании сканирующего луча на поверхность полупроводниковых приборов в ней наводятся токи и напряжения, которые изменяют траектории вторичных электронов. Элементы ИМС с положительным потенциалом по сравнению с участками, имеющими более низкий потенциал, выглядят темными. Это обуславливается наличием замедляющих полей над участками образца с положительным потенциалом, которые приводят к уменьшению сигнала вторичных электронов. Потенциально-контрастные измерения дают только качественные результаты из-за того, что замедляющие поля зависят не только от геометрии и напряжения пятна, но и от распределения напряжения по всей поверхности образца;
- большого разброса скоростей вторичных электронов;
- потенциальный контраст накладывается на топографический и на кон траст, связанный с неоднородностью состава материала образца.

Режим наведенного (индуцированного электронно-лучевого тока).

Электронный луч с большой энергией фокусируется на маленькой площади микросхемы и проникает через несколько слоев ее структуры, в результате в полупроводнике генерируются электронно-дырочные пары. Схема включения образца представлена на (рисунок 3.30, в). При соответствующих внешних напряжениях, приложенных к ИМС, измеряются токи, обусловленные вновь

рожденными носителями заряда. Этот метод позволяет:

- определить периметр р-n перехода. Форма периметра оказывает влияние на пробивные напряжения и токи утечки. Первичный электронный луч (2) (рисунок 3.31 и 3.32) движется по поверхности образца (1) в направлениях x , и в зависимости от направления перемещения меняется значение индуцированного тока в р-n переходе. По фотографиям р-n перехода можно определить искажения периметра р-n перехода (рисунок 3.33).

- определить места локального пробоя р-n перехода. При образовании локального пробоя р-n перехода в месте пробоя образуется лавинное умножение носителей тока (рисунок 3.34) Если первичный пучок электронов (1) попадает в эту область (3), то генерированные первичными электронами электронно-дырочные пары также умножаются в р-n переходе, в результате чего в данной точке будет зафиксировано увеличение сигнала и соответственно появление светлого пятна на изображении. Изменяя обратное смещение на р-n переходе, можно выявить момент образования пробоя, а проведя выявление структурных дефектов, например с помощью селективного травления или с ПЭМ, можно сопоставить область пробоя с тем или иным дефектом.

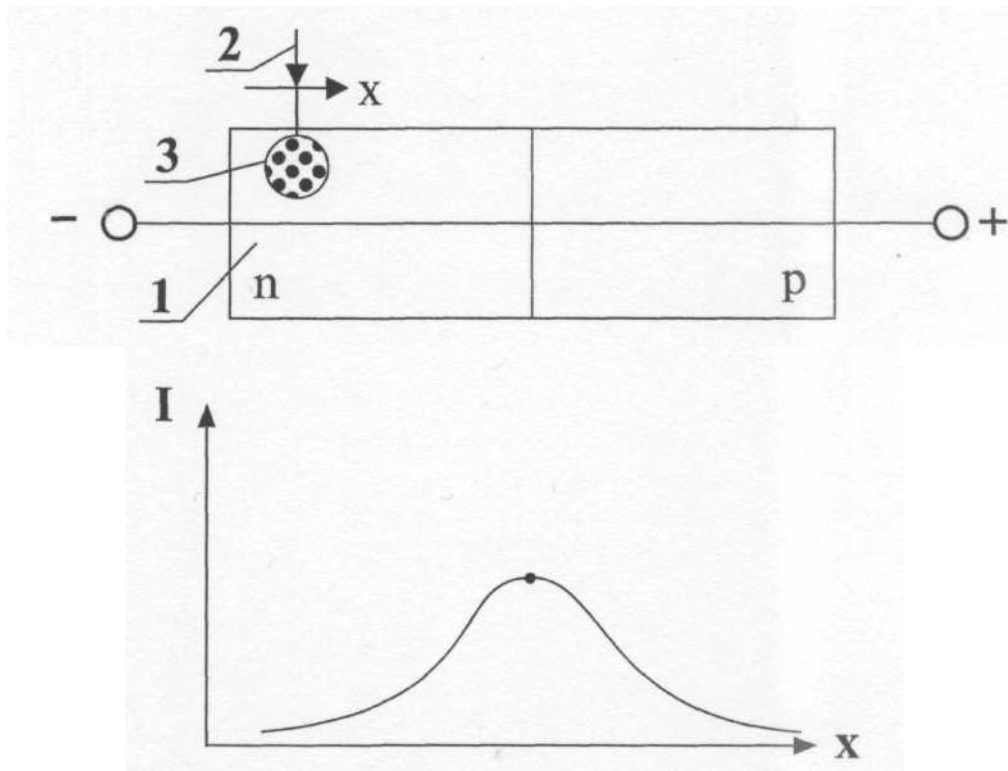


Рисунок 3.31 – Изображение торцевого р-n-перехода с целью определения его периметра:

1 – торцевой р-n-переход; 2 – электронный луч; 3 – область генерации электронно-дырочных пар.

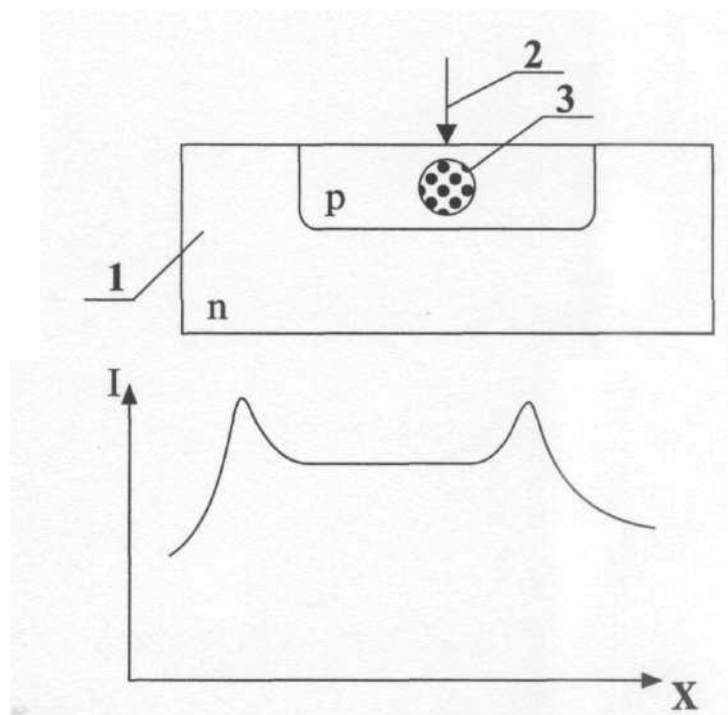


Рисунок 3.32 – Изображение планарного р-п-перехода с целью определения его периметра:

1 - планарный р-п-переход; 2 - электронный луч; 3 - область генерации электронно-дырочных пар.

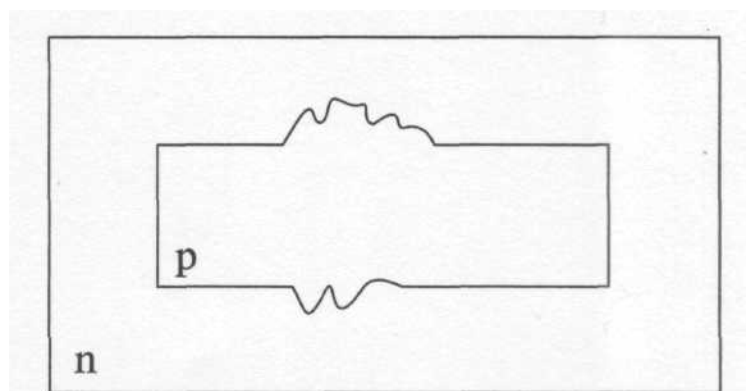


Рисунок 3.33 – Искажения периметра планарного р-п-перехода сверху.

- наблюдать дефекты. Если в области р-п-перехода находится дефект (4) (рисунок 3.34), то при попадании первичного пучка электронов в область дефекта некоторая часть генерированных пар рекомбинирует на дефекте, и соответственно до границы р-п-перехода дойдет меньшее число носителей, что уменьшит ток во внешней цепи. На фотографии р-п-перехода эта область будет выглядеть более темной, чем остальной фон. Изменяя соотношение между глубиной залегания р-п-перехода и проникновением первичных электронов можно зондировать электрическую активность дефектов, располагающихся на разной глубине. Наблюдение дефектов можно проводить при обратных и прямых смещениях р-п-перехода.

Электронная оже-спектроскопия (ЭОС).

Она состоит в получении и анализе спектра электронов, испускаемых атомами поверхностей при воздействии на него электронным лучом. Такие спектры несут информацию:

- о химическом (элементном) составе и состоянии атомов поверхностных слоев;
 - о кристаллической структуре вещества;
 - о распределении примесей по поверхности и диффузионных слоях;
- Установка для оже-спектроскопии состоит из электронной пушки, энергоанализатора оже-электронов регистрирующей аппаратуры и вакуумной системы.

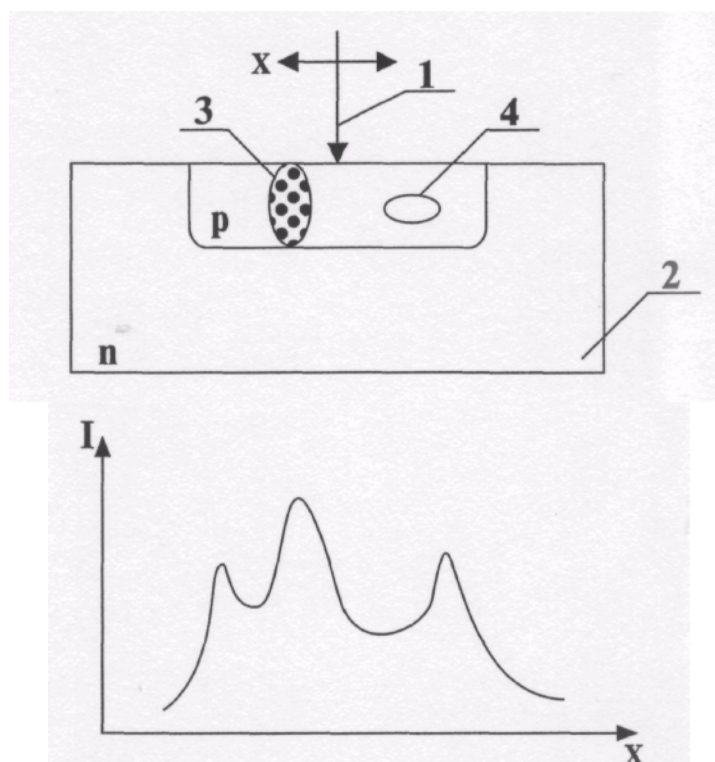


Рисунок 3.34 – Изображение планарного р-п-перехода с целью определения пробы и выявления дефекта:

1 – электронный луч; 2 – планарный р-п-переход; 3 – металлическая примесь; 4 – дефект.

Электронная пушка обеспечивает фокусировку электрического пучка на образце и его сканирование. Диаметр пучка в установках с локальным оже-анализом составляет 0,07... 1 мкм. Энергия первичных электронов изменяется в пределах 0,5... 30 кэВ. В установках оже-спектроскопии обычно в качестве энергоанализатора употребляется анализатор типа цилиндрического зеркала.

Регистрирующее устройство с помощью двухкоординатного самописца фиксирует зависимость $\frac{dN}{dE_k}$, где: N – число электронов, попадающих на коллектор;

E_k – кинетическая энергия оже-электронов.

Вакуумная система установки ЭОС должна обеспечивать давление не более $10^{-7} - 10^{-8}$ Па. При худшем вакууме остаточные газы взаимодействуют с поверхностью образца и искажают анализ.

Из отечественных установок ЭОС следует отметить растровый оже-спектрометр 09 ИОС - 10 - 005 Оже-локальностью в растровом режиме 10 мкм.

На (рисунке 3.35) показан оже-спектр загрязненной поверхности GaAs из которого видно, что наряду с основными спектрами GaAs, в пленке присутствуют примесные атомы S, O и C. Регистрируя значения энергий оже-электронов, эмитируемые атомами при их возбуждении и сравнивая эти значения с табулированными, определяют химическую природу атомов, из которых эти электроны были эмитированы.

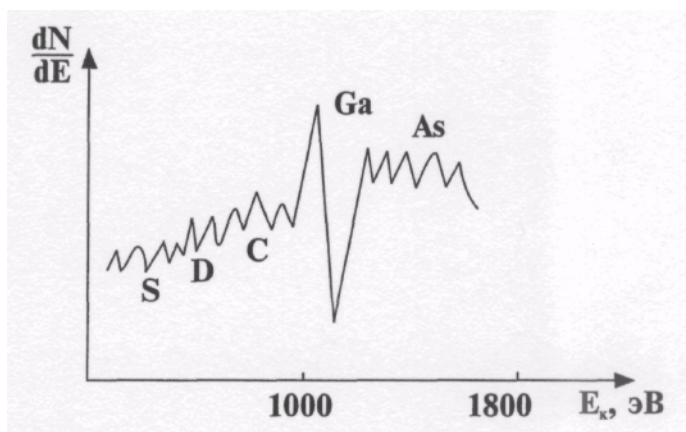


Рисунок 3.35 – Оже-спектр загрязненной поверхности GaAs.

Примечание: метод получил свое название по имени французского физика Пьера Оже, который в 1925 г. открыл эффект испускания электронов атомами вещества в результате возбуждения их внутреннего уровня рентгеновскими квантами. Эти электроны получили название оже-электронов.

Эмиссионная электронная микроскопия (ЭЭМ).

При специальных условиях поверхность образца может испускать электроны, т.е. являться катодом: при приложении сильного электрического поля к поверхности (автоэлектронная эмиссия) или под действием бомбардировки поверхности частицами.

В эмиссионном микроскопе показанном на рисунке 3.36, поверхность образца является электродом системы, образующей с анодом электронную линзу.

Применение ЭЭМ возможно для материалов, которые имеют малую работу выхода. Исследуемое изделие является как бы составной частью электронно-оптической системы ЭЭМ, и в этом его принципиальное отличие от РЭМ.

ЭЭМ используют для визуализации микрополей. Если р-п-переход (1) (рисунк 3.37) поместить в однородное электрическое поле (2) и подать на него запирающее напряжение, то поле, создаваемое р-п-переходом (3) (при больших токах утечки), будет искривлять линии основного поля.

Искривление линий позволяет определить распределение потенциала по поверхности образца.

Электронно-отражательная спектроскопия (ЭОС).

В ЭОС поверхность наблюдаемого образца поддерживается при таком потен-

циале, что все или большая часть облучающих электронов не попадают на поверхность образца.

Принцип его работы показан на рисунке 3.38. Коллимированный электронный луч направлен на поверхность образца перпендикулярно к ней.

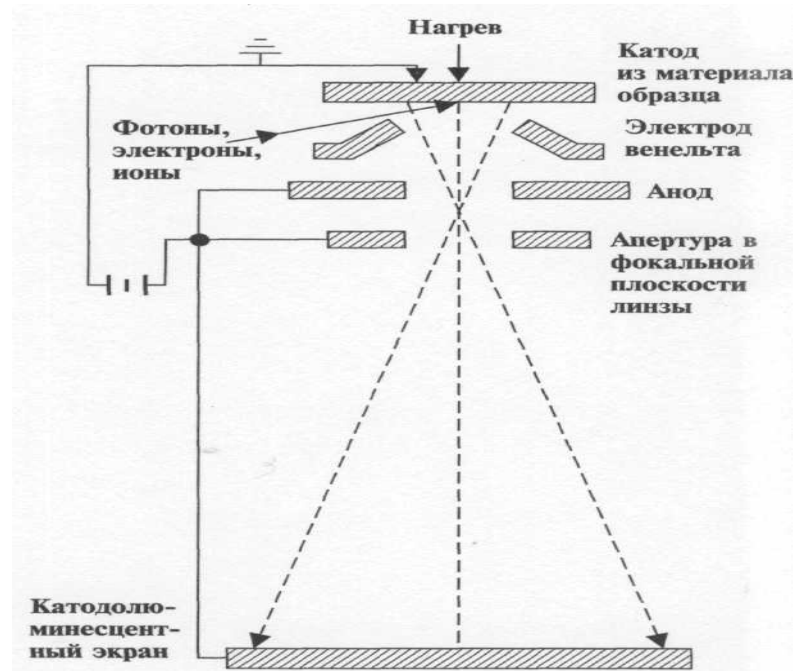


Рисунок 3.36 – Принцип работы эмиссионного микроскопа.

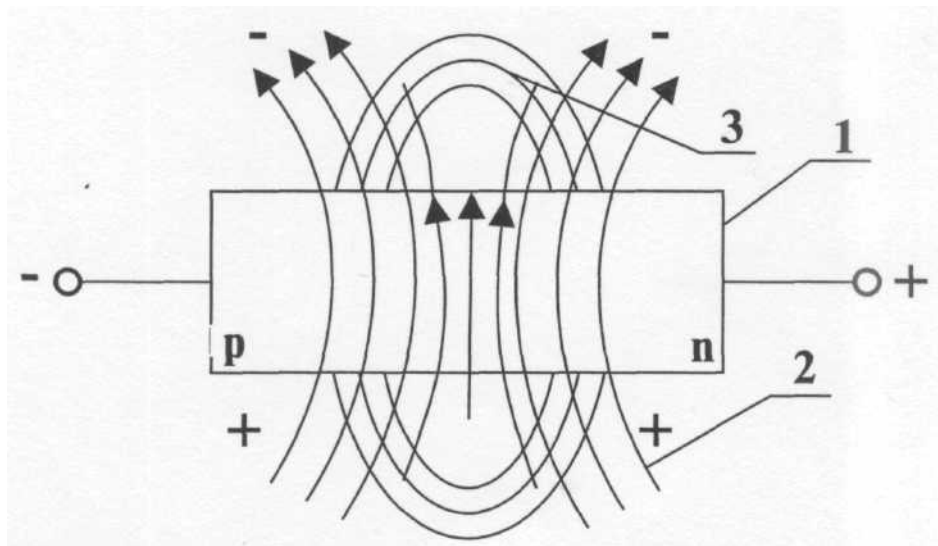


Рисунок 3.37 – Визуализация p-n-перехода с помощью ЭЭМ:

- 1 – p-n-переход, включенный в обратном направлении;
- 2 – электронные траектории поля p-n-перехода.

Электроны, пролетевшие через последнюю апертуру линз, быстро замедляются и поворачиваются обратно в точке, определяемой потенциалом поверхности образца относительно катода и напряженностью электрического поля на поверхности образца. После поворота электроны вновь ускоряются, пролетая обратно через линзы, и увеличенное изображение проецируется на

катодоллюминесцентный экран. Дополнительное увеличение можно получить, отделяя выходящий пучок от входящего в слабом магнитном поле и используя дополнительные увеличительные линзы на пути выходящего пучка.

Контрастность в выходящем пучке определяется топологией поверхности и изменениями электрического потенциала и магнитных полей на ней.

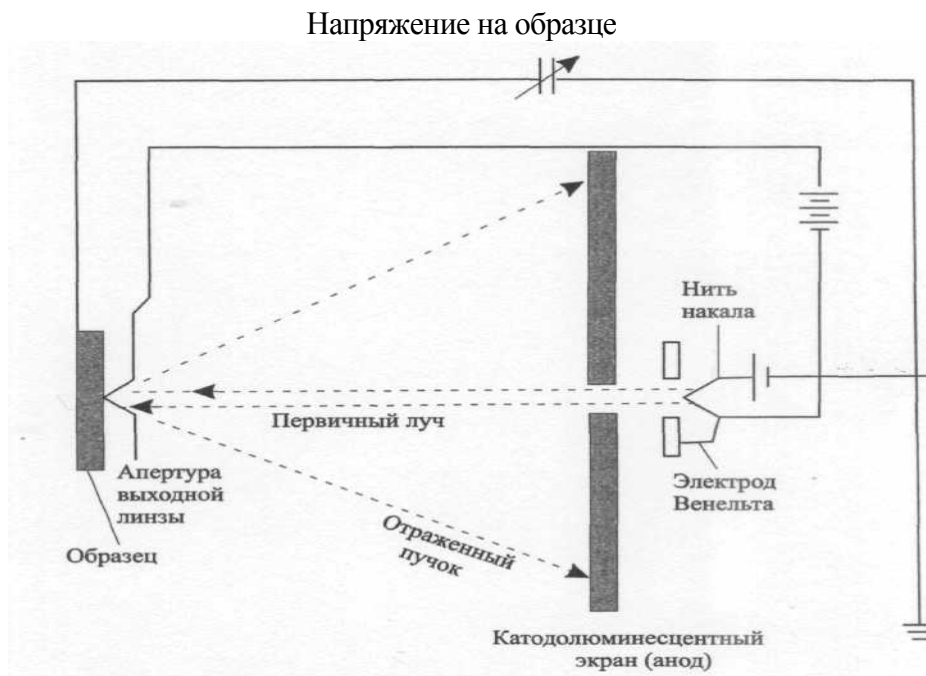


Рисунок 3.38 – Принцип работы электронного отражательного микроскопа.

3.1.14 Рентгеновские методы (РМ)

Наиболее широкое распространение среди радиационных методов получили рентгеновские методы контроля, которые в свою очередь подразделяются на целый ряд методов по источникам излучений, по способу получения первичной информации, по способу преобразования, по способам регистрации информации. Источниками рентгеновского излучения в промышленности служат рентгеновские аппараты, ускорители электронов и радиоактивные источники р-излучения.

Рентгеновским аппаратом называется совокупность технических средств, предназначенных для получения и использования рентгеновского излучения.

Основные блоки рентгеновского аппарата - рентгеновский излучатель, рентгеновское питающее устройство и пульт управления. Согласно ГОСТ 7248-75 рентгеновский излучатель представляет собой совокупность рентгеновской трубки и защитного кожуха.

Таблица 3.17 – Сравнительные данные методов электронной микроскопии

Режимы		Физический эффект	Получаемая информация	Разрешение, мкм	
РЭМ	СЭМ	ПЭМ	Упругое рассеяние	Формы и размеры дислокаций, размеры дефектов упаковки, толщина образца и профиль пленок	$(0,1 \div 10) \cdot 10^{-3}$ нм
		Вторичная эмиссия	Зависимость ВЭ от угла падения первичного луча и потенциала на детекторе	Геометрический рельеф и топология изображения структуры. Распределение потенциала в поверхностных структурах, коэффициент вторичной эмиссии. Место положения и высота потенциальных барьеров, измерение проводимости.	0,01 мкм
		Потенциал на детекторе 3 – 50 В Эмиссия ЭОР обратного рассеяния (отраженные)	Зависимость отраженных электронов от угла падения и потенциала на детекторе	Геометрический рельеф, топология поверхности. Структура поверхностей (неоднородность), измерение атомного номера элементов.	0,01:1 мкм
	Индукцированные электронно-лучевые точки ИЭЛТ	Падающие электроны создают избыточный ток, который изменяет ток во внешней цепи.	Обнаружение электрических пробоев, дефектов, толщины, периметра p-n перехода	0,01:0,1 мкм	
ЭОС		Измерение энергетического спектра оже-электронов (56:1000 ЭВ). Под действием первичного электронного пучка происходит ионизация внутреннего электронного уровня в атоме, и оже-электроны покидают анализируемый образец	Анализ состава материалов, исследование распределения элементов по поверхности, анализ тонких слоев.	$5 \cdot 10^{-2}$:0,1 мкм	

Режимы	Физический эффект	Получаемая информация	Разрешение, мкм
ЭЭМ	Эмиссия электронов образца при приложении к нему сильного электрического поля под действием бомбардировки поверхности частицами (вторичные e)	Изменение работы выхода поверхностей, визуализация р-п перехода, определение влияния адсорбированных примесей на работу выхода материала	-0,5 мкм
ЭОМ	Ускорение отраженных электронов от поверхности образца, находящегося под потенциалом.	Топология поверхности, изменения электрического потенциала на поверхности, изменения магнитных полей на поверхности.	$(5:50) \cdot 10^{-3}$ мм

По геометрии рабочего пучка рентгеновского излучения блок-трансформаторы и защитные кожухи с рентгеновскими трубками подразделяются на следующие основные типы:

рентгеновские блок-трансформаторы (защитные кожухи) с направленным выходом рентгеновского излучения, например в форме конуса с углом при вершине 30-60°

рентгеновские блок-трансформаторы (защитные кожухи) с панорамным (круговым) выходом рентгеновского излучения.

Для радиационного контроля толстостенных конструкций или изделий из высокоплотных материалов требуется рентгеновское излучение с энергией превышающей 400 кВ. Для этой цели используются в основном другие, чем в рентгеновской аппаратуре, принципы ускорения электронов. В радиационной дефектоскопии находят применение ускорители с прямолинейной траекторией движения электронов - *линейные* и ускорители с круговой орбитой движения электронов, когда они проходят ускоряющее устройство многократно – *циклические*.

Линейные ускорители разделяются на высоковольтные или ускорители прямого действия и резонансные.

В высоковольтных линейных ускорителях выделяют три большие группы, отличающиеся способами создания ускоряющего напряжения: электростатического, трансформаторного и каскадного типа.

Среди *циклических ускорителей* для дефектоскопии интерес представляют бетатроны и микротроны.

Основу любого радиоактивного источника составляет радионуклид: используются исключительно искусственные радионуклиды. Их ядра являются неустойчивыми и в результате ядерных превращений испускают β -частицы. β -частицы

имеют непрерывный спектр вплоть до некоторой максимальной энергии E_{β} , характерной для данного радионуклида.

Если на пути β -частиц расположить мишень, то благодаря торможению в ней можно получить источник рентгеновского излучения на основе β -излучающих нуклидов. В технике чаще всего используются источники на основе радионуклидов трития, прометия, криптона, таллия и стронция-гафния. Эти источники имеют значительно меньший, чем рентгеновские аппараты, выход рентгеновского излучения, но они портативны, их излучение стабильно и они относительно дешевы.

В зависимости от способа получения первичной информации различают *рентгенографический*, *рентгеноскопический*, и *рентгенометрический* контролер. Эти методы определяются в соответствии с ГОСТ 18353-79 и ГОСТ 24034-8.

3.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

3.2.1 Принцип построения центральной испытательной станции

Увеличение объема испытаний и трудоемкости их проведения вследствие расширения функциональных возможностей ЭС приводит к необходимости автоматизации испытательных и контрольно-измерительных операций путем широкого внедрения вычислительной техники. При этом особо важная роль отводится микропроцессорам, которые применяют как во встроенных системах контроля ЭС, так и в автономных системах автоматических устройств для испытаний. Интенсивное развитие микропроцессорной техники, а также непрерывное совершенствование устройств для испытаний позволяют создать полностью автоматизированные центральные испытательные станции (ЦИС).

Центральная испытательная станция представляет собой телеметрическую систему, которая используется в сочетании с универсальной малой вычислительной машиной или контроллером. Получаемые в процессе испытаний результаты обрабатывают с помощью микро- и мини- ЭВМ. Данная система является автоматизированной, обмен информацией может осуществляться с помощью телетайпа или дисплея в удобной для пользователя форме.

Объектом управления в ЦИС служит *автоматизированное устройство для испытаний*, в котором требуется поддерживать нужный испытательный режим и производить измерения значений контролируемых параметров испытываемого изделия по заданной программе. В состав автоматизированного устройства для испытаний входят собственно устройство для испытаний, средства измерений и исполнительные органы. Для поддержания заданного испытательного режима в автоматизированном устройстве для испытаний предусмотрен набор датчиков (температуры, влажности, давления, вибрации и др.), преобразующих измеряемый технологический параметр, как правило, в аналоговый электрический сигнал. Ввод этого сигнала в соответствующую микроЭВМ (или микроконтроллер) требует его преобразования в цифровой код. Для управления ЭВМ исполнительным органом необходимо выполнить обратное преобразование цифрового сигнала в аналоговый. Указанные преобразования осуществляет устройство связи, содержащее цифроаналоговый (ЦАП) и аналого-цифровой (АЦП) преобразователи и машинный интерфейс.

Универсальная микро-ЭВМ (или микроконтроллер) анализирует данные о ходе испытаний и в случае нарушения испытательного режима производит необходимую коррекцию этих данных через исполнительный орган. Контроллер обычно обслуживает одно устройство для испытаний, в которое, как правило, конструктивно встроен. Если же в качестве программируемого устройства нижнего уровня служит микро-ЭВМ, то она выступает уже в роли группового контроллера, управляющего работой нескольких устройств для испытаний на отдельных испытательных участках. Микро-ЭВМ выполняет следующие операции: проверку готовности устройств для испытаний к

работе и контроль за их работой в процесс проведения испытаний, контроль параметров в режиме испытаний, организацию измерений и обработку результатов испытаний с выдачей соответствующего протокола" им образом, в этом случае микроЭВМ является управляющей. *Программируемое устройство более высокого уровня*, выполненное на базе мини-ЭВМ, обеспечивает: хранение и подготовку программ контроля и испытаний изделий, каждая из которых в случае необходимости поступает на вход соответствующей микроЭВМ; планирование испытаний; выбор необходимых контрольно-измерительных установок; накопление и статистическую обработку результатов контроля и испытаний; подготовку обмена и обмен информацией с устройствами более высокого уровня системы управления качеством.

Центральный вычислительный комплекс служит для длительного хранения и обработки большого массива информации о качестве выпускаемой продукции и управления с помощью программ, для хранения которых требуется большой объем памяти.

Рассмотренное сочетание перечисленных устройств позволяет моделировать работу отдельных агрегатов, выполнять автоматическую настройку, коррекцию и линеаризацию передаточных функций измерительных преобразователей в процессе испытаний, преобразовывать получаемую информацию, контролировать предельные значения (граничные условия), производить необходимые для анализа обработку и оценку статистического материала, оперативно отражать информацию о ходе испытаний в виде графиков, таблиц, гистограмм и т. п.

Число иерархических уровней определяется задачами и возможностями применяемых вычислительных средств. Развитие современной вычислительной техники обеспечивает вполне эффективное использование двухуровневой структуры управления. Трехуровневые системы управления, широко применяемые в отраслевых и даже межотраслевых центральных испытательных станциях, построены на уникальном испытательном и контрольно-измерительном оборудовании, которое дефицитно или неэффективно для использования отдельными предприятиями.

3.2.2 Структура, состав и критерии оценки АСИ

Под автоматизированной системой испытаний понимают взаимосвязанный программно-аппаратный комплекс, построенный на базе средств испытательной, измерительной и вычислительной техники, в котором управление технологическим процессом испытаний автоматизировано. В такой системе регистрация, сбор, переработка, анализ и представление необходимой информации об испытываемых ЭС и устройствах для испытаний полностью возложены на ЭВМ.

Автоматизированные системы испытаний, создаваемые, как правило, в головных организациях по государственным испытаниям и испытательных центрах предприятий и организаций, обеспечивают автоматизацию управления испытаниями либо на конкретном стенде, либо на совокупности

территориально распределенных или сосредоточенных стендов. При этом АСИ могут быть связаны информационно или входить в состав других автоматизированных систем управления (АСУ), функционирующих на предприятиях, для которых создаются АСИ. АСИ может быть представлена в виде совокупности функциональных подсистем, каждая из которых предназначена для выполнения определенных функций при проведении испытаний.

АСИ работает в реальном масштабе времени, что позволяет получать нужную информацию в процессе испытаний. Непрерывное наблюдение за результатами испытаний позволяет принимать незамедлительные решения о продолжении или прекращении испытаний и оперативно вносить необходимые коррективы в программу испытаний.

Критериями оценки АСУ служат: достоверность полученной информации о качестве испытываемых изделий; надежность; степень автоматизации — отношение трудоемкости ручных операций к общей трудоемкости испытаний изделий; универсальность — возможность выполнения испытаний по многим разновидностям изделий и контролю различных электрических параметров; быстроедействие — минимальное время контроля и испытаний изделий; виды сигналов испытываемых объектов — дискретные (цифровые), непрерывные (аналоговые) и дискретно-непрерывные; способ контроля — статический, динамический, функциональный; степень централизации — централизованные и децентрализованные; производительность — число изделий, испытываемых в единицу времени; стоимость контрольно-испытательных операций и т. д.

Наиболее важными параметрами, характеризующими эффективность АСИ, являются достоверность информации о качестве испытываемых изделий и надежность АСИ. Информация считается *достоверной*, если независимо от источников и каналов передачи достаточно точно отражает состояние управляемого объекта. Достоверность информации оценивают экспериментально в процессе опытной эксплуатации и доводки системы, поскольку сделать это расчетным путем довольно трудно.

Под надежностью АСИ понимают ее свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах при заданных условиях эксплуатации. Надежность АСИ определяется, прежде всего, избыточностью применяемых аппаратно-программных средств, которая, в свою очередь, определяется соответствующими схмотехническими, конструкционными, алгоритмическими и программными решениями.

3.2.3 Основные цели, принципы и этапы разработки АСИ.

Автоматизированные системы испытаний создают в целях: повышения точности и достоверности результатов испытаний и выводов, делаемых на их основе; обеспечения единства испытаний; сокращения сроков проведения испытаний; повышения эффективности используемых средств для испытаний; улучшения условий работы персонала, обслуживающего испытание.

При разработке АСИ следует руководствоваться принципами: системного подхода, решения современных задач, непрерывности развития системы, типизации и стандартизации аппаратно-программных средств, а также их тиражирования и иерархичности. *Принцип системного подхода* состоит в том, что разработку АСИ следует начинать с анализа недостатков существующей системы управления испытаниями и поиска возможных путей их устранения. Необходимо определить цели создаваемой АСИ и совокупность элементов (в данном случае подсистем) и задач АСИ для достижения этих целей при имеющихся ресурсах. При разработке элементов системы следует стремиться к максимальной типизации решений, добиваться информационной, программной и технической совместимости элементов АСИ. Согласно *принципу решения современных задач*, при разработке АСИ следует ориентироваться на возможности решения тех задач, которые играют важную роль в совершенствовании управления испытаниями и могут быть реализованы лишь в АСИ. Основой для постановки и решения современных задач служат математические модели объектов испытаний.

Принцип непрерывности развития состоит в том, что АСИ необходимо проектировать с учетом возможностей ее дальнейшего развития после ввода в действие, что связано с совершенствованием и обновлением задач и средств обеспечения системы.

По принципу типизации и стандартизации реализацию аппаратно-программных средств АСИ следует осуществлять на типовых серийно выпускаемых испытательных, измерительных и вычислительных средствах с использованием типового программного обеспечения.

Согласно *принципу тиражирования*, при разработке аппаратно-программных средств АСИ необходимо предусмотреть условия для их массового производства, что требует типизации и стандартизации проектных решений. *Принцип иерархичности* предполагает иерархическое построение технических средств и программного обеспечения АСИ.

Разработка основных подсистем АСИ включает техническое, информационное, организационное и экономическое обеспечение этих подсистем.

Техническое обеспечение — совокупность взаимодействующих и объединенных в целое устройств и технических показателей.

Информационное обеспечение — входная информация, оперативная информация о процессе испытаний, выходная информация.

Организационное обеспечение — кадры и производственные ресурсы требуемого качества; совокупность правил и предписаний, устанавливающих структуру организации АСИ и ее подразделений, их функции и взаимодействие персонала АСИ с техническими средствами между собой; моральные и административные стимулы поощрения персонала АСИ.

Экономическое обеспечение — финансирование работ по созданию АСИ, затраты на эксплуатацию АСИ, экономическая эффективность эксплуатации АСИ.

3.2.4. Техническое обеспечение АСИ

Техническое обеспечение АСИ представляет собой в первую очередь комплекс серийно выпускаемых технических средств, используемых в системе. К таким средствам относятся: устройства для испытаний, ЭВМ, АЦП и ЦАП, датчики, накопители информации, устройства ввода—вывода и документирования; устройства оперативного взаимодействия, коммутирующие устройства, интерфейсы.

При построении АСИ важное значение имеет *выбор управляющей ЭВМ*. Тенденция усложнения испытаний обуславливает рост числа устройств для испытаний и соответственно средств их автоматизации, что отрицательно сказывается на надежности системы и на эффективности управления. Правильный выбор ЭВМ позволяет, прежде всего, сократить количество средств сбора и обработки информации в системе. На центральной ЭВМ производится основная обработка информации, результаты которой могут выдаваться на дисплей пульта управления испытаниями. Обменом данных в системе обычно управляет микроконтроллер по специальным стандартным программам.

В зависимости от характера решаемых задач АСИ разрабатывают на базе ЭВМ малой, средней и высокой вычислительной мощности с одноуровневой (на базе одной мини- или микроЭВМ) или многоуровневой (иерархической) структурой. При этом ЭВМ могут быть соединены в одну систему, что дает преимущества по сравнению с вариантом отдельного их использования. Типовой проект АСИ разрабатывают в основном на известных машинах, системах, функциональных узлах и приборах.

Связь устройств программного управления с установками контроля и измерений осуществляется с помощью *интерфейсов* (ГОСТ 26.016-83) — согласующих устройств, предназначенных для передачи информации. В системах контроля и испытаний ЭС применяют как стандартные, так и специализированные интерфейсы.

Функционально законченные устройства, имеющие одинаковый интерфейс входа — выхода, называют модулями. Все модули можно разделить на управляющие, интерфейсные и обрабатывающие. При наличии типовых модулей разного назначения АСИ может быть составлена из них полностью или частично.

Техническое обеспечение АСИ включает также математическое и программное обеспечение. Эти виды обеспечения имеют особо важное значение, и при разработке АСИ на них приходится большая часть затрат.

Математическая модель процесса испытаний определяет только последовательность операций и порядок взаимодействия технических средств при решении таких задач. При разработке математического обеспечения АСИ используют опыт разработки математического обеспечения АСУ ТП, поскольку испытания можно рассматривать как часть ТП создания новой продукции.

Программное обеспечение АСИ представляет комплекс программ и инструкций к ним, необходимых для реализации всех функций АСИ и

записанных на соответствующих носителях (перфолентах, перфокартах, магнитных лентах или дисках). Его можно разделить на общее и специальное. *Общее программное обеспечение (ПО) АСИ* представляет совокупность программ, служащих для управления и организации вычислительного процесса, обработки результатов, стандартных операций с набором данных, рассчитанных на широкий круг пользователей и поэтому ориентированных на решение часто встречающихся задач. *Специальное программное обеспечение АСИ* представляет совокупность программ, предназначенных для реализации одной функции или группы функций конкретной АСИ.

Программное обеспечение рекомендуется разрабатывать *по модульному принципу*. Это означает, что алгоритм испытания разделяют на функционально завершенные этапы, для которых разрабатывают максимальное число стандартных подпрограмм, обеспечивающих выполнение алгоритма. Подпрограммы объединяют в библиотеки программ для использования их в аналогичных системах, что позволяет снизить стоимость и сократить сроки разработки программного обеспечения.

3.2.5. Информационное обеспечение АСИ

Информационное обеспечение АСИ включает информационное описание процессов испытаний, отдельных испытательных операций и процедур управления ими.

Каждый испытательный центр (или служба) должен иметь свою информационно-логическую модель, создание которой предполагает максимальную автоматизацию подготовительных и финишных операций, всех вычислений и формирования вторичных документов. *Информационная модель АСИ* отражает представление о процессах испытаний, факты выполнения этих процессов, состояние и динамические характеристики объектов управления и включает развернутую информационную схему управления, аналитические таблицы, схемы решения отдельных задач. Информация о качестве испытываемого изделия может быть получена путем сбора новых сведений и обработки уже имеющихся данных по программе исследователя. Любая информация характеризуется двумя свойствами — содержательностью C и помехоустойчивостью P , которые связаны соотношением $P = 1/C$. Следовательно, чем больше содержательность информации, тем меньше ее помехоустойчивость. Критерием ценности информации является эффект от ее использования. *Информация о качестве изделия* должна отражать: показатель качества; мероприятия по его обеспечению; оценку качества всего ТП и отдельных его операций; критерии качества; решения о корректировке ТП, конструкции изделия или показателей его качества. При этом информация должна быть своевременной, необходимой и удобной.

Информационная система предприятия должна включать оперативный сбор, обработку, анализ и распределение информации об испытываемом изделии, а также о состоянии системы испытаний.

3.2.6. Организационное обеспечение АСИ

Организационное обеспечение включает: обслуживающий АСИ персонал; описание функциональной, технической и организационной структуры системы; нормативно-технические документы, определяющие функциональные обязанности обслуживающего персонала.

Организационная система контроля и испытаний ЭС предусматривает широкое использование математических методов, автоматизированных средств контроля и ЭВМ. Эта система базируется на специальной службе предприятия — отделе технического контроля (ОТК) которым через свои цеховые посты осуществляет контроль пускаемой продукции на соответствие ее НТД. Организационная система управления качеством базируется на комплексной службе контроля качества. Эта служба, возглавляемая главным контролером, наделенным правами заместителя директора предприятия по качеству, состоит, как правило, из следующих подразделений: отдела надежности и управления качеством, отдела испытаний, отдела метрологии, ОТК.

РАЗДЕЛ 4. КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

За последнее время в области управления качеством продукции произошли радикальные перемены, которые можно сравнить с технологическим "взрывом" в области вычислительной техники.

Контроль качества возник приблизительно в 1895 г., когда Г. Форд разделил сложный цикл изготовления автомобиля на короткие простые операции. На данном этапе контроль качества заключался в отделении плохого от хорошего.

Статистический контроль возник в начале 20-х годов, когда доктор В. Шухарт применил статистику в процессе контроля и отбора проб. После введения Д. Эдвардом термина "обеспечение качества" инженеру по качеству стали отводить одну из главных ролей на предприятии. Понятие "комплексное управление качеством" введено американским специалистом А. Фейгенбаумом в 50-х годах.

Согласно А. Фейгенбауму, комплексное управление качеством - это «эффективная система, объединяющая деятельность различных подразделений организаций, ответственных за разработку параметров качества, поддержание достигнутого уровня качества и его повышение, для обеспечения производства и эксплуатации изделия на самом экономном уровне при полном удовлетворении требований потребителя». Таким образом, комплексное управление качеством требует участия всех подразделений, включая производственное, отделы сбыта, проектирования, технического контроля и отгрузки продукции.

Анализ методов управления качеством продукции в Японии позволяет выделить семь современных методов обеспечения качества.

1. Необходимо оценивать ущерб, который может причинить обществу некачественная продукция. При этом учитывается ущерб от готовой продукции (отказы, аварии, несоответствие требованиям заказчика) и ущерб в процессе производства некачественной продукции (непроизводительные затраты времени, сил, энергии и т.п.).

2. Необходимо постоянно повышать качество продукции и снижать её себестоимость, для того чтобы продукция предприятия (фирмы) была конкурентоспособной.

3. Уменьшение расхождений между показателями качества изделия и характеристиками, заданными заказчиком - основная цель программы повышения качества. С этой задачей напрямую связано постоянное совершенствование метрологической службы.

4. Ущерб, который несет заказчик из-за несоблюдения его требований, пропорционален квадрату величины отклонения показателей качества.

5. Качество и себестоимость готового изделия в основном определяется качеством разработки и технологии его изготовления. Поэтому при проектировании, планировании производства и методов контроля необходимо ориентироваться на требования, предъявляемые к качеству готовой продукции.

6. Следует уменьшать отклонения характеристик изделия от заданного

качества на этапе разработки и испытаний опытных образцов.

7. Необходимо выявлять зависимость эксплуатационных характеристик от других параметров изделия и технологического процесса и использовать установленную зависимость при планировании эксперимента на основе статистических расчетов.

Основной целью государственного управления качеством является повышение эффективности производства, повышение конкурентоспособности продукции и соответственно укрепление и развитие экономики. Данная концепция изложена в комплексной программе «Качество», которая станет составной частью программы развития промышленного комплекса Республики Беларусь до 2015 года и республиканской программой «Качество».

Поставленные цели достигаются реализацией семи основных направлений, включающих:

1. Формирование теоретических, методических, организационных и информационных основ обеспечения качества и разработку соответствующей документации.

2. Формирование механизма и инфраструктуры многоуровневой системы управления качеством.

3. Кадровое обеспечение качества, предусматривающее реализацию программы всеобщего непрерывного обучения руководителей и специалистов предприятий в области управления качеством.

4. Информационное обеспечение качества, включающее разработку на базе современных компьютерных средств и информационных технологий информационной системы обеспечения качеством.

5. Реализацию принципов всеобщего управления качеством - разрабатываются структура и программные средства системного подхода к непрерывному процессу улучшения всех направлений деятельности с целью удовлетворения ожиданий потребителя.

6. Инвестиционное обеспечение качества, для чего вырабатываются и реализуются подходы в инвестиционном обеспечении качества с целью оптимизации затрат и достижения максимального эффекта.

7. Нормативно - законодательное обеспечение качества - разработка и формирование комплекта нормативно-правовых документов, определяющих требования к выпускаемой продукции на всех стадиях жизненного цикла, а также права и обязанности структурных звеньев инфраструктуры обеспечения качества на всех этапах ее деятельности.

4.1 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Необходимость улучшения качества продукции обусловлена постоянно возрастающей сложностью техники, ростом потребностей населения, а также значительным экономическим эффектом от повышения качества продукции.

Повышение качества продукции может осуществляться по двум направлениям: путем совершенствования выпускаемой продукции без её принципиального изменения; путём создания новых видов продукции, основанных на использовании новых научно-технических идей и достижений. В большинстве случаев повышение качества продукции будет целесообразно только в том случае, если оно обеспечивает экономию общественного труда.

Качество продукции — это совокупность свойств продукции, обуславливающих её пригодность удовлетворять определённые потребности в соответствии с её назначением. Из этого определения следует, что, во-первых, не все свойства продукции входят в понятие "качество"; во-вторых, качество продукции определяется потребностью общества в данном виде продукции; в-третьих, удовлетворение потребности должно происходить в точном соответствии с назначением данного вида продукции.

Свойства продукции могут быть охарактеризованы качественно и количественно. Количественная характеристика свойств продукции, входящих в состав её качества, называется **показателем качества продукции**. Показатели качества продукции делятся на единичные и комплексные.

Единичным показателем качества называется показатель, характеризующий одно свойство изделия, например, массу, размеры изделия, срок его службы и т. д.

Комплексные показатели качества характеризуют сразу несколько свойств продукции и подразделяются на групповые, интегральные и обобщённые.

Групповые показатели качества характеризуют определённую группу свойств продукции.

Интегральный показатель качества отражает соотношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции и суммарных затрат на её создание и эксплуатацию или потребление.

Интегральный показатель определяется по формуле

$$\frac{П_{\Sigma}}{З_c + З_г} = J, \quad (4.1.1)$$

где $П_{\Sigma}$ - полезный годовой эффект от эксплуатации продукции, выраженный в натуральных единицах;

$З_c$ - суммарные капитальные затраты на создание продукции;

$З_г$ - суммарные эксплуатационные текущие затраты, относящиеся к одному году.

Обобщённый показатель качества относится к такой совокупности свойств продукции, по которой принято оценивать качество продукции,

например, производительность оборудования.

Кроме того, при оценке уровня качества продукции используются базовые и относительные показатели. За базовые показатели принимаются показатели качества продукции, принятые за основу при оценке её качества. Относительный показатель качества продукции определяется как отношение значения показателя качества оцениваемой продукции к соответствующему значению базового показателя

$$\frac{P}{P_0} = q, \quad (4.1.2)$$

где P - показатель качества продукции;

P_0 - базовый показатель качества.

Уровень качества продукции - относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей оцениваемой продукции с базовыми значениями.

Внутреннее функционирование и взаимодействие всех видов деятельности, оказывающих влияние на качество продукции или услуг, удобно видеть из так называемой петли качества, представленной на рисунке 4.1.

Особое значение имеют маркетинг (изучение рыночного спроса) и проектирование, в процессе которых формируются потребительские свойства и экономическая целесообразность достижения определенных параметров качества.

Качество в рамках маркетинга должно обеспечить не только требования и пожелания потребителя, но и систему обратной связи и контроля получаемой информации, что имеет особое значение при внесении возможных изменений в проект.

Качество при проектировании и разработке технических условий обеспечивает перевод на язык технических требований требования к материалам, продукции и технологическим процессам. Результатом такой работы является выпуск продукции, отвечающей требованиям потребителя, реализуемой по приемлемой цене и обеспечивающей предприятию возврат вложенных средств.



Рисунок 4.1 – Петля качества продукции.

Качество материально-технического снабжения начинается с определения требований, включаемых в контрактное обязательство. При этом система обратной связи с поставщиками позволяет избежать разногласий и обеспечить адекватное понимание требования к материалам, комплектующим деталям и узлам, которые, являясь частью выпускаемой продукции, оказывают непосредственное влияние на качество.

Качество в процессе производства определяется планированием (управлением производственным процессом) и возможностями технологического процесса. Во всех случаях должна устанавливаться взаимосвязь между контролем качества в процессе производства и документацией на производственный процесс и конечную продукцию. Процедуры испытания и технического контроля должны оформляться документами, включая описание конкретного оборудования, необходимого для проведения испытаний и проверок с указанием стандартов, регламентирующих качество выполнения работы.

Технологические процессы должны проверяться на способность производить продукцию в соответствии с установленными техническими условиями. При этом особое внимание уделяется операциям, связанным с

технологическими характеристиками и характеристиками продукции, существенно влияющими на качество.

Управление производством предусматривает управление качеством в течение всего производственного цикла. При этом можно выделить следующие действия:

- управление материалами. Это означает, что в процессе производства следует хранить, разделять, транспортировать и защищать материалы. Закупке материалов и комплектующих должна предшествовать проверка на соответствие техническим условиям и стандартам качества;
- управление производственным оборудованием и техническое обслуживание. Это касается, прежде всего, стационарных установок и приспособлений, которые должны проверяться на точность до их ввода в эксплуатацию. Стабильность технологического процесса обеспечивается программой профилактического технического обслуживания;
- управление изменениями технологических процессов предусматривает отражение в документации всех изменений в технологической оснастке, оборудовании, материалах и т.д. При этом качество продукции должно оцениваться после каждого изменения.

В управлении качеством особое значение имеет система подготовки персонала, которая должна распространяться и на такие области, как маркетинг, материально-техническое снабжение, разработка технологического процесса и др. Особое внимание следует уделять обучению методам сбора и обработки информации, а также вероятностно-статистическим методам, лежащим в основе оценки надежности и стабильности технологических процессов и отдельных операций.

Мировой опыт ведущих фирм показывает, что в управлении качеством продукции имеет большое значение стимулирование. Понимание персоналом преимуществ хорошей работы должно быть увязано с удовлетворением запросов потребителя, эксплуатационными расходами и экономическим положением предприятия. Осознание важности системного подхода к управлению качеством необходимо прививать не только персоналу, занятому непосредственно в производстве, немаловажно также это понимание и проектировщикам и специалистам по реализации продукции и материально-техническому снабжению.

При этом широкое распространение получил *менеджмент качества*, т.е. ориентация всех подразделений организации на качество с конечной целью удовлетворения ожиданий покупателей и получения максимально возможной прибыли. В настоящее время на всех передовых, конкурентоспособных предприятиях имеются эффективные системы качества. Обычно эти системы приспособлены к конкретным организационным структурам и к профилю данного предприятия. Однако, несмотря на все отличия и особенности предприятий, все системы качества направлены на выполнение основных целей, которые в упрощенном виде представлены на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Цели менеджмента качества.

Все представленные компоненты связаны между собой, причем для их реализации широко используются элементы бизнес-плана.

Одним из важнейших элементов системы качества являются вероятностно-статические методы. Эти методы могут быть распространены не только на определение технических требований к надёжности и долговечности, управлению технологическими процессами, но и на анализ рынка, оценку безопасности, анализ рисков и т.п.

Международный опыт по управлению качеством продукции на предприятиях обобщён международной организацией по стандартизации (ИСО). Во многих странах данные стандарты приняты в качестве национальных. В зарубежной практике стандарты ИСО серии 9000 находят всё большее применение при заключении контрактов между фирмами в качестве моделей для оценки системы обеспечения качества у поставщика. Соответствие требованиям такой системы рассматривается как определённая гарантия стабильности качества продукции.

Однако, несмотря на достигнутые успехи, многие рассматривают стандарты ИСО 9000 как необходимую, но недостаточную основу современных и будущих систем качества. Определенный выход был найден в стандарте QS-9000, который представляет собой существенно расширенные и целенаправленные требования ИСО 9000.

Важная роль за рубежом отводится идеологии тотального менеджмента качества **TQM (Total Quality Management)**. Одним из первых шагов на данном пути является разработка и внедрение системы качества и последующая сертификация ее на соответствие требованиям стандартов ИСО 9000. Основные цели и задачи TQM приведены на рисунке 4.3, при этом для достижения поставленных целей необходимо учитывать в комплексе все составляющие.

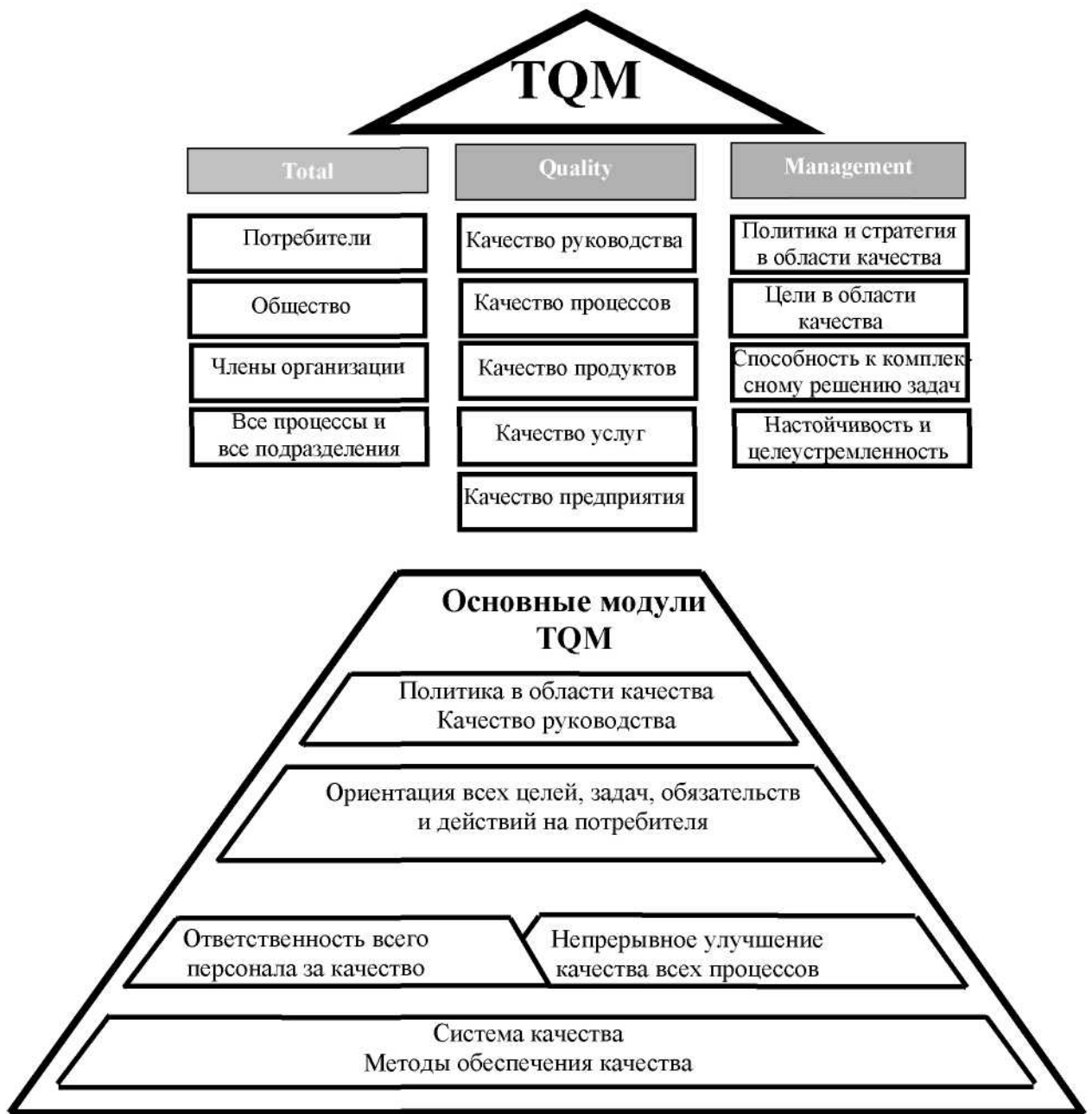


Рисунок 4.3 – Цели и задачи TQM



Рисунок 4.4 – Принципы организации TQM.

Основные принципы и концепции TQM базируются на изучении и обобщении обширного международного опыта и проведении теоретических исследований в области менеджмента качества. Основные направления такой работы условно представлены на рисунке 4.4.

Практическая реализация принципов TQM сводится в конечном итоге к следующему:

- методам (технологиям) обеспечения качества;
- количественным показателям для оценки качества;
- подготовке кадров;
- культуре предприятия.

Достичь высоких результатов в обеспечении качества продукции невозможно без использования так называемых *GALS-технологий*, которые дают возможность, изучив потребности рынка, разрабатывать одновременно практически весь комплекс документации на новую продукцию: от планирования производства и поставки комплектующих, разработки изделия, подготовки производства до организации сервиса и завершающей утилизации. Основой является сетевая интеграция систем автоматического проектирования и АСУ, объединение и коллективное использование баз данных. Такой подход в несколько раз ускоряет разработку и подготовку производства новых конкурентоспособных изделий, обеспечивает взаимодействие всех

заинтересованных сторон.

Обзор широко применяемых методов обеспечения качества представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Методы обеспечения качества

Общие методы обеспечения качества	Инструментальные средства TQM
<p>Маркетинг</p> <p>Бенчмаркинг</p> <p>Анализ проекта</p> <p>Оценка качества</p> <p>Оценка поставщиков</p> <p>Планирование испытаний</p> <p>Методы контроля и испытаний</p> <p>Управление контрольно-измерительными приборами</p>	<p>Контрольные листки</p> <p>Гистограммы</p> <p>Диаграммы разброса</p> <p>Диаграммы Парето</p> <p>Контрольные карты</p> <p>Диаграммы «Причина-следствие»</p> <p>Мозговой штурм</p>
	Базовые методы менеджмента
<p>Аудиты продукта</p> <p>Аудиты процессов</p> <p>Аудиты системы</p>	<p>Диаграммы средства</p> <p>Диаграммы зависимостей</p> <p>Системные (древовидные) диаграммы</p> <p>Матричные диаграммы</p> <p>Сетевые графы</p> <p>Диаграммы планирования оценки процессов</p> <p>Методы анализа матричных данных</p>

4.2 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Оценку уровня качества продукции проводят для следующих целей:

- а) аттестации продукции;
- б) выбора наилучшего варианта изготовления продукции;
- в) планирования повышения уровня качества продукции;
- г) анализа динамики уровня качества продукции;
- д) контроля качества продукции;
- е) обоснование мер стимулирования улучшения качества продукции.

Для оценки уровня качества промышленной продукции применяют *дифференциальный, комплексный или смешанный метод*.

К выбору метода оценки уровня качества промышленной продукции необходимо приступать после того, как установлены цель оценки, номенклатура показателей качества и базовый образец.

В качестве базового образца могут быть приняты аналоги (прототипы) продукции, соответствующие лучшим мировым стандартам. В случае замены продукции на новую в качестве базового образца могут быть приняты показатели качества заменяемой продукции для сравнения и оценки технического, технологического и экономического эффекта, получаемого от такой замены.

4.2.1 Дифференциальный метод оценки уровня качества продукции

Дифференциальный метод применяют в случае, когда необходимо провести анализ сопоставления уровня качества оцениваемой продукции и базового образца по отдельным показателям.

При таком сопоставлении определяют, достигнут ли уровень базового образца в целом, по каким показателям он достигнут, какие показатели наиболее сильно отличаются от базовых.

Для оценки уровня качества продукции дифференциальным методом вычисляют значения относительных показателей качества продукции q по формулам

$$\frac{P_i}{P_{i0}} = q_i \quad (4.2.1)$$

$$\frac{P_{i0}}{P_i} = q_i \quad (4.2.2)$$

где P_i - значение i -го показателя качества оцениваемой продукции;

P_{i0} - значение i -го базового показателя;

n - количество показателей качества продукции.

Из формул (4.2.1), (4.2.2) выбирают ту, при которой увеличению относительного показателя отвечает улучшение качества продукции. Например, значения относительных показателей для производительности, мощности, энерговооружённости продукции и т.п. вычисляют по формуле (4.2.1), а для

показателей материалоемкости продукции, трудоёмкости изготовления, содержания вредных примесей и т.п. - по формуле (4.2.2).

При наличии предельных значений показателей качества продукции относительные показатели качества продукции q вычисляют по формуле

$$\frac{P_i - P_{inp}}{P_{i0} - P_{inp}} = q_i, \quad (4.2.3)$$

где P_{inp} - предельное значение i -го показателя качества продукции.

В результате оценки уровня качества продукции дифференциальным методом принимают следующие решения:

- уровень качества оцениваемой продукции выше или равен уровню базового образца, если все значения относительных показателей больше или равны единице;
- уровень качества оцениваемой продукции ниже уровня базового образца, если все значения относительных показателей меньше единицы.

В случае, когда часть значений относительных показателей больше или равна единице, а часть - меньше единицы, следует применять комплексный или смешанный метод оценки уровня качества продукции.

Уровень качества оцениваемой продукции, для которой существенно важно значение каждого показателя, считается ниже базового, если хотя бы один из относительных показателей меньше единицы.

4.2.2 Комплексный метод оценки уровня качества продукции

Комплексный метод применяется в случаях, когда необходимо характеризовать уровень качества одним обобщенным показателем.

Обобщенный показатель предназначен для управления процессами выполнения принятых планов улучшения качества продукции. Он должен соответствовать общим целям управления качеством, которые могут быть заданы на определенный период времени в виде совокупности показателей качества перспективного образца, аналога и т.д.

Обобщенный показатель представляет собой функцию от единичных (групповых, комплексных) показателей качества продукции.

Обобщенный показатель может быть выражен:

- главным показателем, отражающим основное назначение продукции;
- интегральным показателем качества продукции;
- средним взвешенным показателем качества продукции.

При наличии необходимой информации определяют главный показатель и устанавливают функциональную зависимость его исходных показателей, отражающую физическую сущность процесса.

Интегральный показатель применяют, когда установлен суммарный полезный эффект от эксплуатации или потребления продукции и суммарные затраты на создание и эксплуатацию или потребление продукции.

При сроке службы продукции более одного года интегральный показатель $I(t)$ вычисляют по формуле:

$$\frac{\Pi_{\Sigma}}{3_c \cdot \varphi(t) + 3_o} = I(t) \frac{\text{эффект}}{\text{руб}}, \quad (4.2.4)$$

$$\frac{3_c \cdot \varphi(t) + 3_o}{\Pi_{\Sigma}} = I'(t) \frac{\text{руб}}{\text{эффект}},$$

где Π_{Σ} - суммарный полезный годовой эффект от эксплуатации или потребления продукции, выраженный в натуральных единицах: м, кг, шт. и т.д.;

3_c - суммарные капитальные (единовременные) затраты на создание продукции, руб.;

3_o - суммарные эксплуатационные (текущие) затраты, относящиеся к одному году, руб.;

$\varphi(t)$ - поправочный коэффициент, зависящий от срока службы изделия, t лет.

Коэффициент $\varphi(t)$ вычисляют по формуле:

$$\frac{E_n(1+E_n)^{t-1}}{(1+E_n)^t - 1} = \varphi(t), \quad (4.2.5)$$

где E_n - нормативный коэффициент экономической эффективности, равный 0,15.

Расчет интегрального показателя по формуле (4.2.2) справедлив при допущениях:

- ежегодный эффект от эксплуатации или потребления продукции из года в год остается одинаковым;
- ежегодные экономические затраты также одинаковые;
- срок службы составляет целое число лет.

Значения поправочного коэффициента $\varphi(t)$ приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значения поправочного

t	<P(t)	t	<P(t)	t	<P(t)	t	q>(t)
1	1	7	0,210	13	0,156	19	0,140
2	0,539	8	0,194	14	0,152	20	0,139
3	0,381	9	0,182	15	0,149	21	0,138
4	0,304	10	0,174	16	0,146	22	0,137
5	0,262	11	0,166	17	0,144	23	0,136
6	0,244	12	0,160	18	0,142	24	0,135

При сроке службы продукции до одного года интегральный показатель вычисляют по формуле

$$\frac{\Pi_{\Sigma}}{3_c + 3_o} = I_1 \frac{\text{эффект}}{\text{руб}}. \quad (4.2.6)$$

или в обратном соотношении.

Средние взвешенные показатели применяют при комплексном методе оценки уровня качества продукции в случаях, когда невозможно определить главный показатель и установить зависимость его от исходных показателей качества продукции.

Средний взвешенный арифметический показатель качества продукции вычисляют по формулам:

$$\sum_{i=1}^n m_i(Q) \cdot P_i = Q \quad (4.2.7)$$

$$\sum_{i=1}^n m_i(Q') \cdot q_i = Q' \quad (4.2.8)$$

Средний взвешенный геометрический показатель качества продукции вычисляют по формулам:

$$\prod_{i=1}^n (P_i)^{m_i(V)} = V \quad (4.2.9)$$

$$\prod_{i=1}^n (q_i)^{m_i(V')} = V' \quad (4.2.10)$$

В формулах (4.2.7) - (4.2.10):

P - значение i -го показателя качества оцениваемой продукции;

q_i - относительный i -й показатель, вычисляемый по формулам (4.2.1), (4.2.2);

$m_i(Q)$ - параметры весомости i -го показателя, входящего в обобщенный показатель (Q);

$m_i(V)$ - параметр весомости i -го показателя, входящего в обобщенный показатель (V);

$i=1,2,\dots,n$ - число показателей, составляющих средний взвешенный показатель.

Параметры весомости могут быть определены одним из следующих методов:

- методом стоимостных регрессионных зависимостей;
- методом предельных и номинальных значений;
- методом эквивалентных соотношений;
- экспертным методом.

Значения параметров (коэффициентов) весомости показателей качества определяются одновременно с утверждением планов повышения уровня качества продукции и могут пересматриваться только в случае необходимости корректировки последних.

4.2.3 Смешанный метод оценки уровня качества продукции

Смешанный метод оценки уровня качества продукции применяют в случаях:

- когда совокупность единичных показателей качества является достаточно обширной и анализ значений каждого показателя дифференцированным методом не позволяет получить обобщающих выводов;

- когда обобщенный показатель качества в комплексном методе недостаточно полно учитывает все существенные свойства продукции и не позволяет получить выводы относительно некоторых определенных групп свойств.

Смешанный метод основан на совместном применении единичных и комплексных (групповых) показателей.

При смешанном методе оценки уровня качества продукции необходимо выполнить следующие операции:

- часть единичных показателей объединить в группы и для каждой группы определить соответствующий комплексный (групповой) показатель.
- отдельные, как правило, важные показатели допускается не объединять в группы, а принять их при дальнейшем анализе как единичные;
- на основе полученной совокупности комплексных и единичных показателей оценить уровень качества продукции дифференциальным методом.

4.3 СУЩНОСТЬ И ЗАДАЧИ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Статистические методы управления качеством продукции основываются на теории вероятностей и математической статистике. Идея применения теории вероятностей и математической статистики для управления качеством продукции была впервые высказана М.В.Остроградским в 1846 г. Сущность предлагавшихся им методов заключалась в том, чтобы по результатам контроля некоторой выборки из партии продукции обоснованно судить о качестве продукции всей этой партии, не прибегая к сплошной проверке.

Трудность проведения сплошного контроля качества продукции в условиях массового или крупносерийного производства из-за больших экономических затрат все настоятельнее заставляет переходить на статистические методы управления качеством. Сплошной контроль в ряде случаев не может быть применён, так как в процессе контроля некоторые единицы продукции разрушаются или изменяют свои параметры. Кроме того, сплошной контроль качества продукции из-за монотонности повторяемых операций и вследствие утомляемости оператора может привести к приёму и дефектной продукции.

Статистические методы управления качеством продукции обладают в сравнении со сплошным контролем продукции таким важным преимуществом, как возможность обнаружения отклонения от технологического процесса не тогда, когда партия продукции изготовлена, а в процессе производства, т.е. когда можно своевременно вмешаться в процесс и скорректировать его.

Основные области применения статистических методов управления качеством продукции показаны на рисунке 4.5

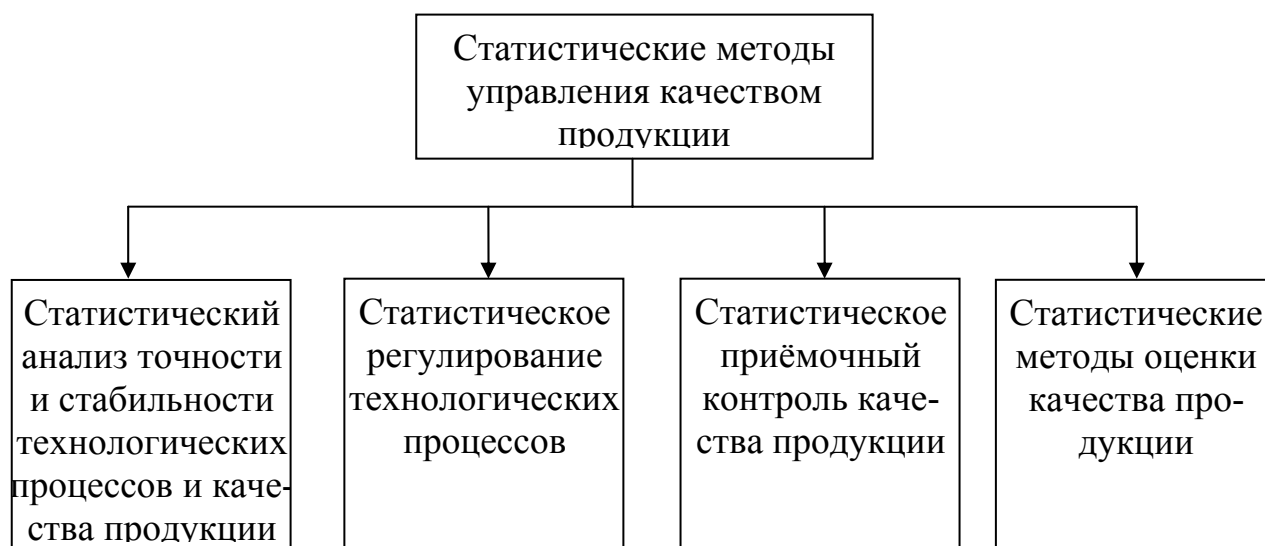


Рисунок 4.5 – Области применения статистических методов управления качеством продукции.

Статистический анализ точности и стабильности технологического процесса - это установление статистическими методами значений показателей точности и стабильности технологического процесса и определение закономерностей его протекания во времени.

Статистическое регулирование технологического процесса - это корректирование значений параметров технологического процесса по результатам выборочного контроля контролируемых параметров, осуществляемое для технологического обеспечения требуемого уровня качества продукции.

Статистический приёмочный контроль качества продукции - это контроль, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям и принятия решения.

Статистический метод оценки качества продукции - это метод, при котором значения показателей качества продукции определяют с использованием правил математической статистики.

Применение статистических методов управления качеством продукции осуществляется при создании и эксплуатации или потреблении продукции в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества на основе методов математической статистики.

Применение статистических методов управления качеством позволяет решить следующие задачи:

- удовлетворять потребности (существующие и ожидаемые) потребителя;
- совершенствовать продукцию на основе анализа и прогнозирования потребительского спроса;
- обеспечить конкурентоспособность как по себестоимости, так и по потребительским свойствам;
- постоянно совершенствовать технологические процессы и методы управления качеством;
- обеспечить экономичность производства и услуг.

4.3.1 Основные статистические методы управления качеством продукции

К наиболее простым и доступным методам статистического анализа любой сферы деятельности относятся:

- схема Исикава;
- диаграмма Парето;
- гистограмма;
- расслоение;
- контрольный листок;
- контрольная (управляющая) карта;
- диаграмма разброса.

Применение этих методов позволяет:

- наглядно представить информацию в удобном для анализа виде;

- корректно выявить причины несоответствий (отделить причины от следствия);
- наметить реальные пути устранения причин несоответствий;
- реализовать проведение необходимых корректирующих воздействий;
- снизить издержки трудовых, материальных, энергетических ресурсов, снизить себестоимость, увеличить прибыль.

4.3.1.1 Схема Исикава

С помощью схемы Исикава (причинно-следственная диаграмма) можно решать широкий спектр конструкторских, технологических, организационных, экономических, социальных и других проблем.

Схема Исикава строится следующим образом:

- изучаемая проблема условно изображается в виде прямой горизонтальной стрелки;
- факторы, прямо или косвенно влияющие на проблему, изображают наклонными стрелками.

Порядок составления схемы Исикава следующий:

- выбор проблемы для решения "узкого места" - прямая горизонтальная линия;
- выявление наиболее существенных факторов, влияющих на проблему, - наклонные большие стрелки;
- раскрытие существенных факторов - выявление причин, влияющих на эти факторы, - наклонные маленькие стрелки;
- анализ и уточнение схемы: ранжирование факторов по их значимости; установление тех причин, которые в данный период времени поддаются корректировке;
- установление плана дальнейших действий - разработка мероприятий.

На рисунке 4.6 в качестве примера приведена причинно-следственная диаграмма при анализе брака.

4.3.1.2 Диаграмма Парето

Диаграмма Парето дает возможность объективно представить фактическое положение дел в понятной и наглядной форме и позволяет получить информацию по:

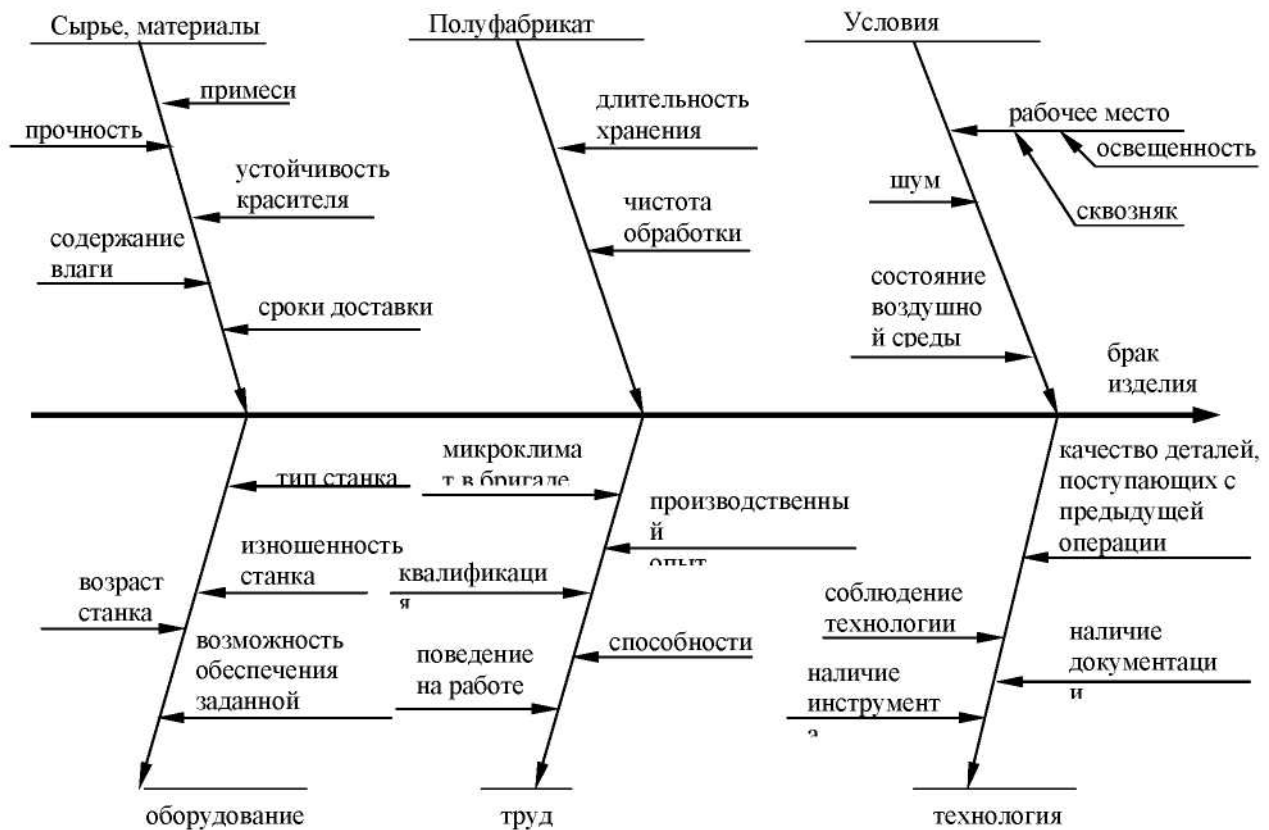


Рисунок 4.6 – Причинно-следственная диаграмма при анализе брака (диаграмма Исикава).

- видам причин брака;
- видам брака;
- затратам времени, материальных средств на исправление брака;
- дефектам комплектующих материалов;
- рекламациям, поступающим от потребителя;
- причинам простоев;
- причинам несоблюдения технологической дисциплины;
- затратам на обеспечение качества в процессе производства и т.п.

Рекомендуется составлять несколько диаграмм Парето, пользуясь различными классификациями, что позволяет рассмотреть проблему с разных точек зрения и выявить наиболее существенные факторы.

На рисунках 4.7 и 4.8 приведены примеры построения диаграмм Парето по видам причин брака и по видам брака.

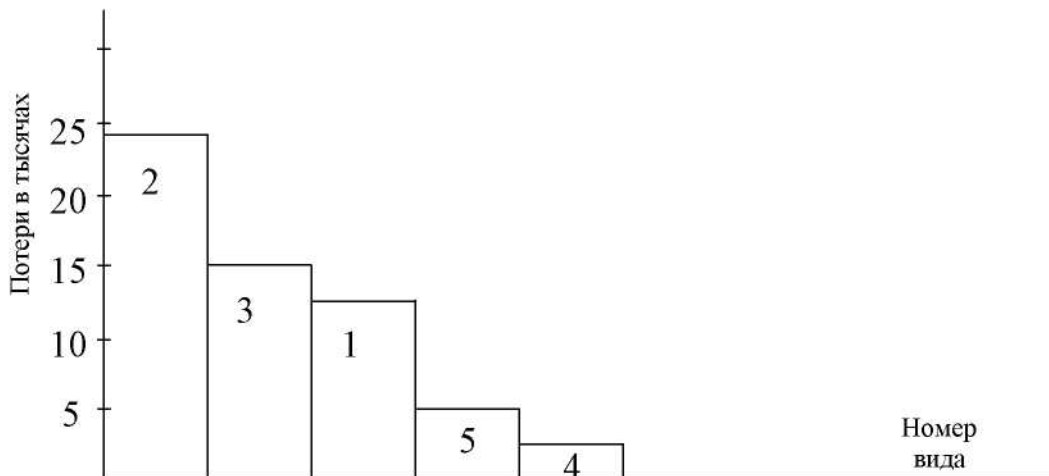


Рисунок 4.7 – Диаграмма Парето потерь по видам брака. Причины потерь: 1 - брак по размерам (11 тысяч рублей); 2 - брак материалов (24 тысячи рублей); 3 - брак гальванического покрытия (15 тысяч рублей); 4 - брак заклепки (1 тысяча рублей); 5 - прочие виды брака (5 тысяч рублей).

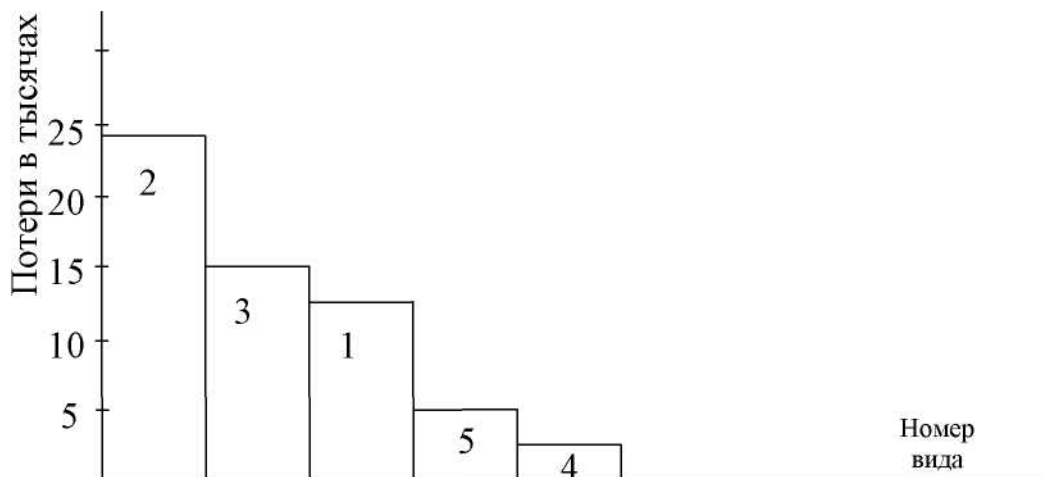


Рисунок 4.8 – Диаграмма Парето потерь по видам брака. Причины потерь: 1 - брак по размерам (11 тысяч рублей); 2 - брак материалов (24 тысячи рублей); 3 - брак гальванического покрытия (15 тысяч рублей); 4 - брак заклепки (1 тысяча рублей); 5 - прочие виды брака (5 тысяч рублей).

Из построенных диаграмм нетрудно определить, что наибольшие потери (24 тысячи рублей) составляет брак материалов. В этом случае целесообразно поставить задачу снижения брака материалов (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Виды брака по материалу

Виды брака	Число случаев брака	Процентное соотношение, %	Коммулятивный процент, %
1 Надрезы и сколы	32	66,7	66,7
2 Трещины	6	12,5	79,2
3 Раковины	5	10,4	89,6
4 Прочие виды брака	5	10,4	100,0

На основе таблицы 4.3 строится диаграмма Парето (рисунок 4.9).

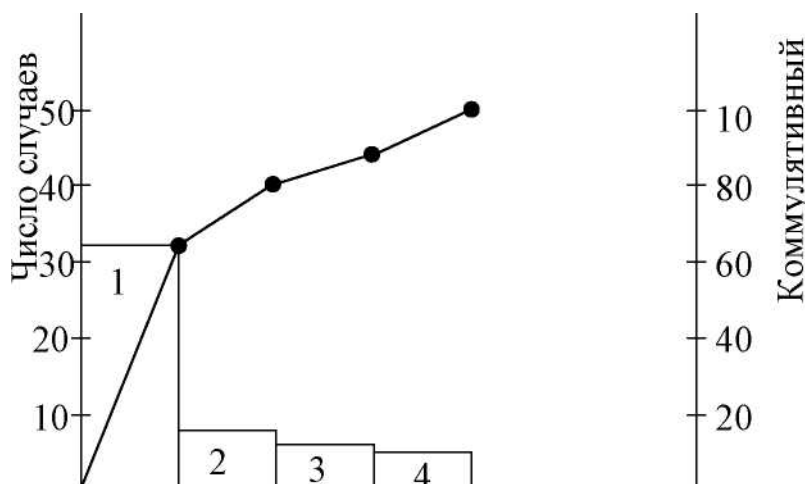


Рисунок 4.9 – Диаграмма Парето по видам брака.

Основные причины потерь по браку материалов (надрезы и сколы) составляют:

$$\frac{24000 \times 66,7}{100} = 24000 \times 0,667 = 18,008 \text{ тысяч рублей}$$

Аналогично подсчитываются потери по другим видам брака из-за:

- трещин - 3 тысячи рублей;
- раковин - 2,496 тысяч рублей;
- прочих видов - 2,469 тысяч рублей.

Анализ показывает, что необходимо принять меры для уменьшения таких дефектов материалов, как надрезы и сколы.

4.3.1.3 Диаграмма разброса (корреляция)

Диаграмма разброса применяется для выявления зависимости одних показателей (характеристик) от других. Если исследуется зависимость между двумя величинами, то речь идет о парной корреляции. Когда анализируется зависимость между несколькими величинами, то имеет место множественная корреляция.

Для выявления зависимости между двумя показателями, например А и В, необходимо взять выборку n и для каждой единицы продукции оценить с требуемой точностью параметры А и В.

Если по оси абсцисс отложить значение параметра B для первой детали (B_1), а по оси ординат - значение параметра A для этой же детали (A_1), то на графике получим одну точку с координатами B_1, A_1 . Прделав аналогичную процедуру для всех n значений, получим на графике n точек (рисунок 4.10).

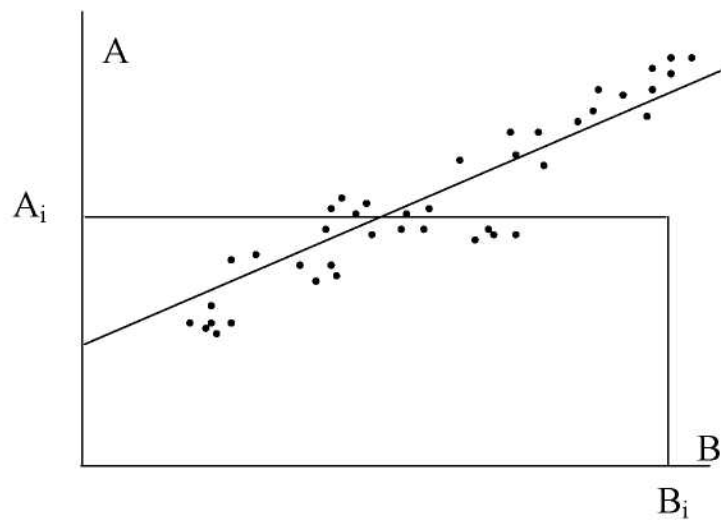


Рисунок 4.10 – График корреляционной зависимости между параметрами A и B .

Точки, нанесенные на график в прямоугольной системе координат, образуют так называемое "поле корреляции". Если зависимость имеет место, то поле корреляции вытянуто и направление "вытянутости" не совпадает с направлением осей координат. Если величины независимы, то поле корреляции параллельно одной из осей координат или имеет форму круга (рисунок 4.11).

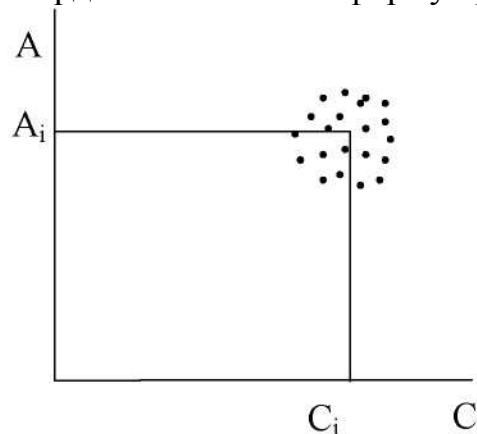


Рисунок 4.11 – График корреляционной зависимости между параметрами A и C .

Графический анализ позволяет установить наличие зависимости и приблизительно оценить степень этой зависимости. Численно степень зависимости между параметрами A и B можно оценить величиной коэффициента корреляции r по формуле:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (A_i - \bar{A}) \cdot (B_i - \bar{B})}{S_A \cdot S_B}, \quad (4.3.1)$$

где A_i и B_i - значения параметров A и B для i -той детали;
 \bar{A} , \bar{B} - среднее арифметическое значение величин A и B ;
 S_A , S_B - стандартные отклонения величин A и B ;
 n - число изделий в выборке (объем выборки).

Рекомендуемое значение n для выполнения корреляционного анализа не менее 30.

Если $r = \pm 1$, то это свидетельствует о наличии функциональной зависимости между параметрами, если $r = 0$, то величины независимы. Чем ближе значение коэффициента корреляции к 1, тем теснее зависимость между параметрами.

С помощью корреляции можно грамотно решать многие вопросы, например, установить зависимость точности обработки изделия от параметров станка, технологического приспособления; определить зависимость микроструктуры металла от технологических режимов, параметров электропечи и т.п.

4.3.1.4 Гистограмма

Гистограмма - это метод представления данных, сгруппированных по частоте попадания в определенный (заранее установленный) интервал.

Для построения гистограммы обрабатывают полученные результаты контроля, например диаметра колец (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Результаты контроля

Диаметр колец, мм (n = 100)									
3,56	3,46	3,48	3,50	3,42	3,43	3,52	3,49	3,44	3,50
3,48	3,56	3,50	3,52	3,47	3,48	3,46	3,50	3,56	3,38
3,41	3,37	3,47	3,49	3,45	3,44	3,50	3,49	3,46	3,46
4,55	3,52	3,44	3,50	3,45	3,44	3,48	3,52	3,46	3,46
3,48	3,32	3,40	3,52	3,34	3,46	3,43	3,30	3,46	3,52
3,59	3,63	3,59	3,47	3,38	3,52	3,45	3,48	3,31	3,46
3,40	3,54	3,46	3,51	3,48	3,50	3,68	3,60	3,46	3,52
3,48	3,50	3,56	3,50	3,52	3,46	3,48	3,46	3,52	3,56
3,52	3,48	3,46	3,45	3,46	3,54	3,54	3,48	3,49	3,41
3,41	3,45	3,34	3,44	3,47	3,47	3,41	3,48	3,54	3,47

Анализ этих данных позволяет установить наименьшее и наибольшее значение измеряемого параметра:

$$X_{min} = 3.30 \text{ мм}, X_{max} = 3.68 \text{ мм}.$$

Определяем размах R результатов наблюдений по формуле:

$$R = X_{max} - X_{min},$$

$$R = 0,38 \text{ мм}.$$

Разбивают диапазон распределения диаметра колец на равные интервалы.

Рекомендуется брать число интервалов e , в пределах 8-10 при числе наблюдений 100-150. Для числа наблюдений 200-300 и более - оптимальное число интервалов 10-20. Для получения шага разбиения ΔX размах R делится на

$$\Delta X = \frac{R}{e}, \quad \Delta X = \frac{0,38}{9} = 0,0422.$$

число интервалов:

Значение ΔX для удобства построения принимается 0,05 мм.

Подсчитывают частоту попадания экспериментальных значений по интервалам, расположив данные в виде таблицы 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты обработки экспериментальных данных

Номер Интервала	Середина интервала	Граница интервала	Частоты в интервале	Частость
1	3,30	3,275 3,325	3	0,03
2	3,35	3,325 3,375	3	0,03
3	3,40	3,375 3,425	9	0,09
4	3,45	3,425 3,475	32	0,32
5	3,50	3,475 3,525	38	0,38
6	3,55	3,525 3,575	10	0,10
7	3,60	3,575 3,625	3	0,03
8	3,65	3,625 3,675	1	0,01
9	3,70	3,675 3,725	1	0,01

*Частость - отношение частоты попадания в интервале к общему числу наблюдений

По данным таблицы 4.5 строится гистограмма. Гистограмма распределения приведена на рисунке 4.12.

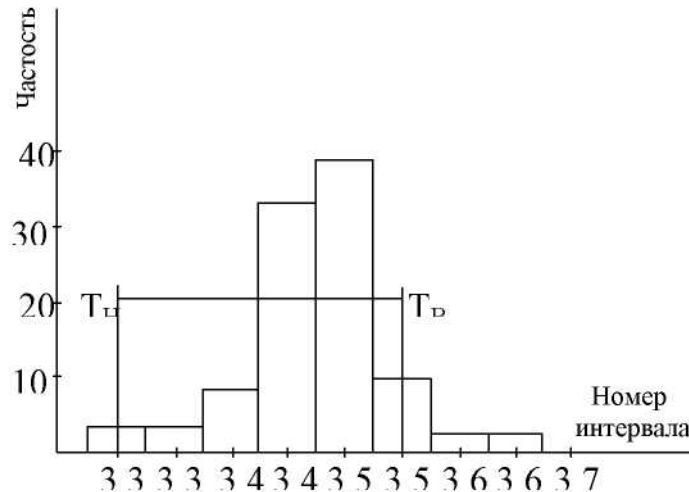


Рисунок 4.12 – Гистограмма распределения T_H - нижний предел поля допуска; T_B - верхний предел поля допуска.

Результаты измерений, приближающиеся к центру или среднему значению распределения, повторяются с большей частотой, а результаты измерений, приближающиеся к крайним точкам, сравнительно редки. Это служит признаком того, что процесс является налаженным.

Гистограммы применяются для анализа эффективности деятельности отдельных исполнителей, при составлении отчетов по результатам технического контроля, при периодической плановой проверке точности оборудования и др.

4.3.1.5 Расслоение

При рассмотрении диаграммы Парето уже выполнялась процедура расслоения. На рисунке 4.8 представлена диаграмма Парето потерь по видам брака, из которой видно, что брак материалов - 24 тысячи рублей (42,85% общей суммы потерь). Затем был выполнен анализ брака материалов (см. рисунок 4.9). Следовательно, расслоение применяется для выявления действия отдельных причин на какую-либо величину или явление. В основе метода лежит понятие расслоенной выборки. Расслоенная выборка - выборка, разбитая на несколько выборок меньших объемов, по нескольким отличительным признакам.

Эффективность применения метода может быть рассмотрена на следующем примере.

Станочник обслуживает три шестишпиндельных токарных станка. При приемочном контроле ОТК бракует по параметру В последовательно несколько партий продукции. При проверке установлено, что в этих партиях засоренность дефектными изделиями варьировала от 4 до 6%. По технологической документации допускается дефектность 1,5%.

Для того чтобы разобраться в причинах брака, может быть проведен следующий анализ.

Отбираются выборки изделий для каждого станка, т.е. выполняется расслоение по станкам. По результатам проверки выборок строятся гистограммы (рисунок 4.13).

Из анализа гистограмм ясно, что причиной повышенной дефектности изделий является станок 1.

Учитывая, что шестишпиндельный токарный станок практически ведет себя как шестистаночный агрегат, следует выполнить расслоение по шпинделям.

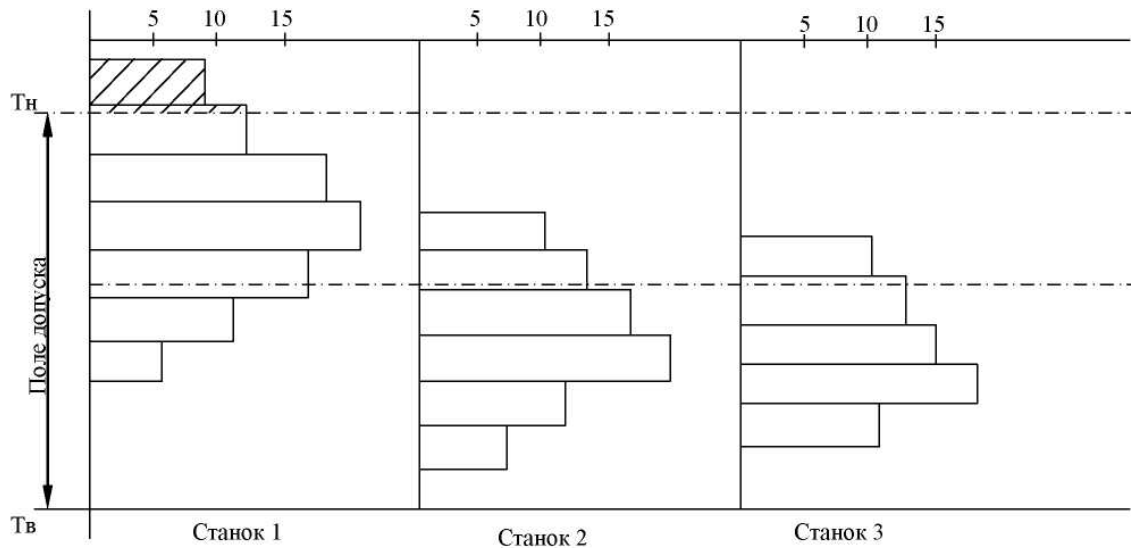


Рисунок 4.13 – Гистограмма (расслоение) по станкам.

По результатам проверки мгновенных выборок для каждого шпинделя строятся кривые, характеризующие разброс (расслоение) параметра В (рисунок 4.14).

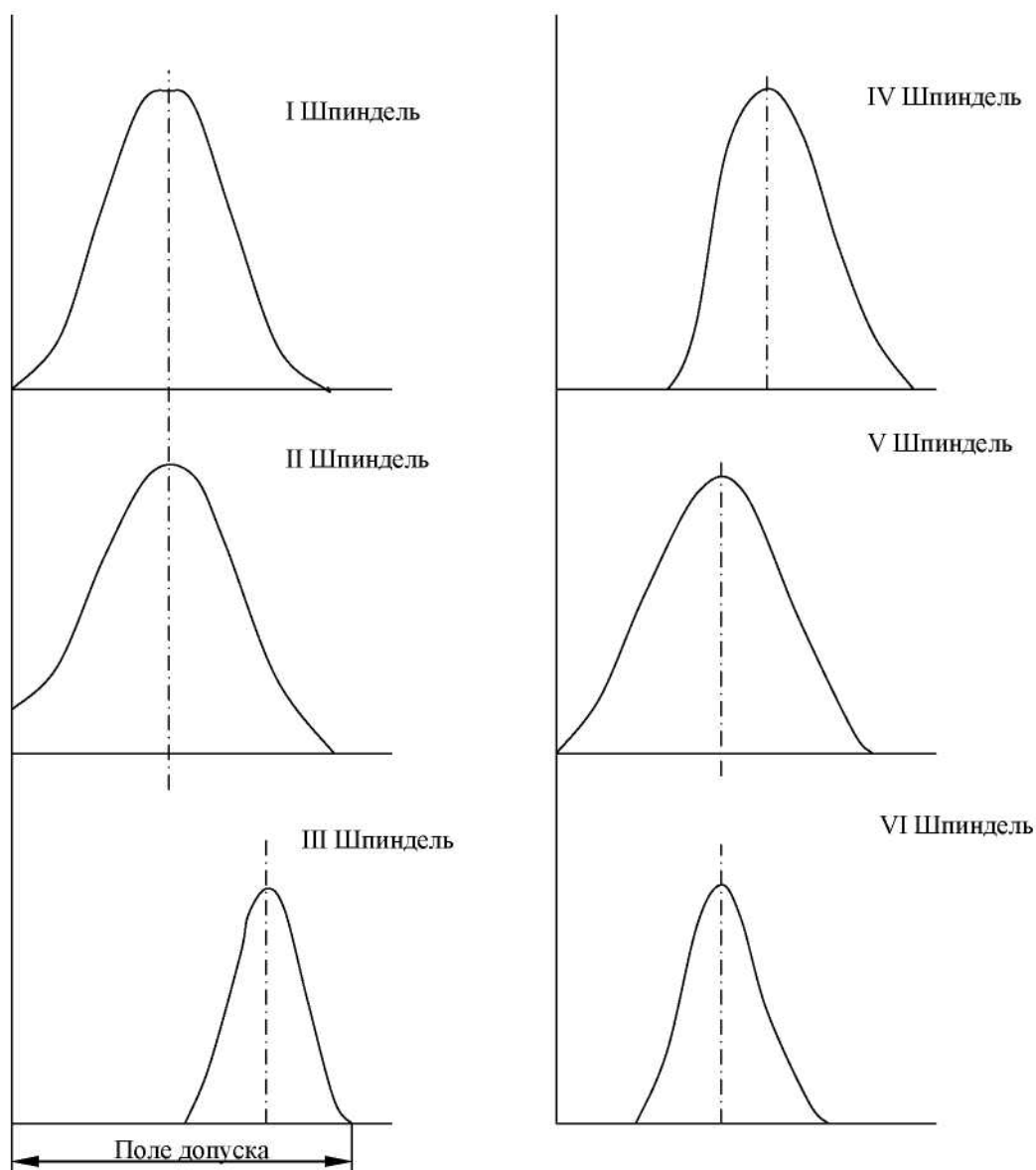


Рисунок 4.14 – Разброс по параметру В.

Для шпинделей I, III, IV, V реальный разброс несколько меньше поля допуска, а для шпинделей II и VI реальный разброс равен полю допуска или несколько превышает его. Как следует из рисунка 4.14, причина брака заключается, прежде всего, в плохой настройке шпинделей на середину поля допуска. В целях устранения причин брака необходимо провести работу по отладке технологического оборудования.

4.3.1.6 Контрольный листок

Контрольные листки используют при проведении текущего контроля заготовок, деталей, готовой продукции, сырья и т.д.

С помощью контрольных листков можно установить долю дефектности изделий за каждый день, среднюю долю дефектности за месяц, число дефектов на единицу продукции и т.п.

Контрольные листки можно использовать при построении гистограмм.

Пример заполнения контрольного листка, фиксирующего долю дефектности, приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Контрольный листок

Дата (январь 1993 г.)	Число проверенных приборов, шт.	Номер выборки	Число дефектных приборов, х, шт (nP)	Доля дефектных приборов, P, %, P= $\frac{x}{n} \cdot 100$
4	400	1	14	3,5
5	400	2	13	3,2
6	400	3	10	2,5
7	400	4	12	3,0
8	400	5	5	1,2
11	400	6	7	1,7
12	400	7	24	6,0
13	400	8	12	3,0
14	400	9	8	2,0
15	400	10	16	4,0
18	400	11	13	3,2
19	400	12	43	10,7
20	400	13	12	3,0
21	400	14	11	2,7
22	400	15	16	4,0
25	400	16	18	4,5
26	400	17	14	3,5
27	400	18	10	2,5
28	400	19	15	3,7
29	400	20	7	1,7
	$\sum_n = 8000$	k=20	$\sum x = 280 = \sum$	$P = \frac{\sum x}{n} \cdot 100;$ $P = \frac{280 \cdot 100}{8000} = 3.5\%$

С помощью таблицы 4.6 устанавливается доля дефектности на каждый день и, кроме того, предусматривается расчет средней доли дефектности за месяц, но при этом не фиксируется, какое число дефектов имеет место в неисправных приборах.

Такой контрольный лист позволяет осуществлять сбор данных за большой период времени и использовать эти данные в контрольных управляющих картах.

4.3.1.7 Контрольные карты

Контрольные карты графически отражают динамику процессов, т.е. изменение показателей во времени. Наиболее целесообразно применение в производственной практике следующих видов карт:

- по качественным (альтернативным) признакам:
 - контрольная карта доли дефектных изделий P;
 - контрольная карта числа дефектных изделий nP;
 - контрольная карта суммарного числа дефектов C;
 - контрольная карта числа дефектов на единицу продукции U;
- по количественным признакам:
 - контрольная карта для средних значений и размаха X-R;
 - контрольная карта для медианы и размаха X-R;
 - контрольная карта для средних значений и среднего квадратического отклонения X-S.

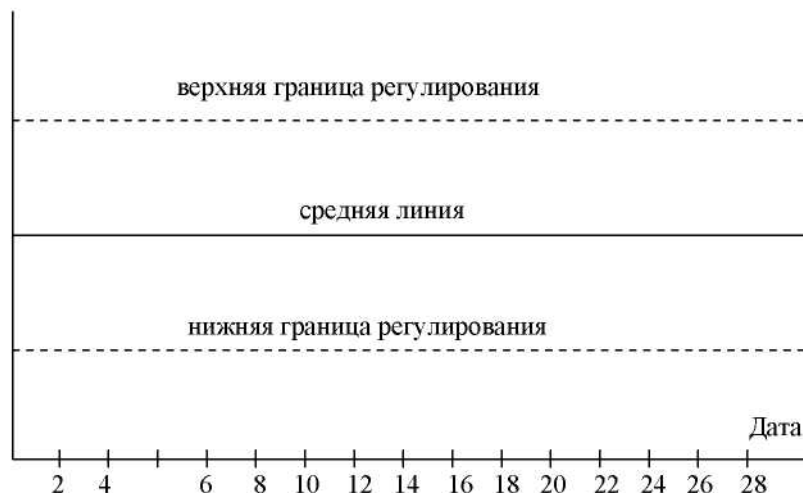


Рисунок 4.15 – Границы регулирования.

На контрольной карте отмечают границы регулирования, ограничивающие область допустимых значений. Границы регулирования на контрольных картах строятся от средней линии и называются верхней границей регулирования и нижней границей регулирования (рисунок 4.15).

Контрольная карта доли дефектных изделий (карта P) применяется для контроля, анализа и регулирования технологического процесса путем проверки изделий и разделения их на годные и негодные. Брак оценивается в процентах, при этом не учитывается число дефектов в каждом изделии. Преимущество этого метода состоит в том, что одновременно можно контролировать несколько параметров, может изменяться также число проверяемых изделий.

Контрольная карта числа дефектных изделий (карта P) применяется при постоянном объеме контролируемых изделий и строится аналогично.

Контрольная карта суммарного числа дефектов (карта C) используется, когда контролируется число дефектов, обнаруженных при проверке постоянного объема изделий. Например, если контролируется прибор, он определяется суммарное число дефектов в выборке или партии.

Контрольная карта числа дефектов на единицу продукции (карта U) применяется, как и карта C, когда контролируется число дефектов, однако карту U можно применять, когда число проверяемых изделий n переменное.

Контрольная карта X - R применяется для контроля количественных

показателей качества, таких как длина, масса, диаметр, предел прочности и т.д. Эта карта применяется для одного наиболее ответственного показателя качества.

4.3.2 Способы представления продукции на контроль

Продукция может быть представлена на контроль одним из следующих трех способов.

Первый способ представления продукции на контроль, условно называемый "*ряд*", характеризуется следующими особенностями:

- единицы продукции, поступающие на контроль, упорядочены; они легко могут быть пронумерованы сплошной нумерацией; можно легко достать и отыскать единицу продукции, отмеченную любым номером;
- единицы продукции поступают на контроль в виде некоторой ограниченной совокупности, сформированной независимо от процесса производства.

Второй способ представления продукции на контроль, условно называемый "*россыпь*", характеризуется следующими особенностями:

- единицы продукции, поступающие на контроль, неупорядочены, их трудно нумеровать и практически невозможно отыскать и достать какую-то определенную единицу продукции;
- количество единиц продукции, поступающих на контроль, велико;
- единицы продукции поступают на контроль в виде некоторой ограниченной совокупности, сформированной независимо от процесса производства.

Третий способ представления продукции на контроль, условно называемый "*поток*", характеризуется следующими особенностями:

- единицы продукции поступают на контроль непрерывным потоком одновременно с выпуском продукции;
- количество единиц продукции, поступающих на контроль, велико;
- единицы продукции, поступающие на контроль, упорядочены, можно легко отыскать и достать каждую вторую, пятую или десятую и т. д. единицы продукции.

4.3.3 Методы отбора единиц продукции в выборку

В зависимости от способа представления продукции на контроль для отбора единиц продукции в выборку применяют методы:

- случайного отбора;
- наибольшей объективности;
- систематического отбора.

Метод случайного отбора применяют для тех случаев, когда продукция однородна и представлена на контроль в виде "ряда". Применяют два варианта (А и Б) метода случайного отбора единиц продукции в выборку:

А - для отбора единиц продукции в выборку применяют таблицы случайных чисел.

Б - для отбора единиц продукции в выборку применяют карточки.

Метод наибольшей объективности при отборе единиц продукции в выборку применяют в тех случаях, когда продукция представлена на контроль в виде "россыпи". Кроме того, данный метод можно использовать в тех случаях, когда применение метода случайного отбора технически затруднено или экономически невыгодно.

При применении данного метода необходимо стремиться включать в выборку единицы продукции из разных частей контролируемой партии, при этом единицы продукции следует отбирать независимо от субъективных предположений контролера относительно качества отбираемой единицы продукции.

Метод систематического отбора единиц продукции в выборку предусматривает отбор продукции через определенный интервал (или количества единиц продукции). Начало отсчета определяется случайным образом, например, с помощью таблиц случайных чисел.

Данный метод применяется в основном в тех случаях, когда продукция представлена на контроль в виде "потока".

4.3.4 Классификация выборок

При использовании выборочного метода испытаний можно судить о характеристиках генеральной совокупности по характеристикам выборки, взятой из этой совокупности определенным образом. Основным требованием к выборке является то, что изделия, входящие в выборку, должны в полной мере отражать характер и структуру генеральной совокупности, т.е. выборка должна быть **представительной** или **репрезентативной**.

Выборки можно классифицировать:

- по способу образования: **повторные** и **бесповторные**;
- по преднамеренности отбора: **преднамеренные** и **случайные**;
- по отношению ко времени образования: **единовременные** и **текущие**.

Повторная выборка образуется путем извлечения изделий из генеральной совокупности с последующим их возвращением после определения параметров качества. Такое извлечение и возвращение изделий может быть многократным.

При **бесповторной** выборке извлеченные изделия не могут быть возвращены в генеральную совокупность. Данные выборки используют в тех случаях, когда в результате контроля изделие вырабатывает свой ресурс, что гарантирует невозможность попадания одного изделия в различные выборки.

Если изделие отбирается в выборку по заранее оговоренным признакам или характеристикам, то такую выборку называют **преднамеренной**. **Случайная** выборка образуется при отборе изделий из партии, если для любого изделия обеспечивается равная вероятность быть включенным в выборку.

Единовременная выборка образуется из партии изделий после их изготовления независимо от того, в какой момент времени изготовлено каждое изделие.

Текущая выборка состоит из изделий, последовательно изготовленных за

определенный промежуток времени.

Выборка, при взятии которой контролируемая совокупность рассматривается как единое целое, называется *простой*. Простые выборки следует применять в тех случаях, когда продукцию можно считать однородной по контролируемому параметру и нет экономических или технических ограничений для осуществления отбора изделий.

В *расслоенную выборку* единицы продукции отбираются в заданных объемах из разных частей контролируемой совокупности. Рассмотренные выборки следует применять в тех случаях, когда контролируемую совокупность нельзя считать однородной, но можно выделить однородные слои (части), либо тогда, когда существуют экономические или технические ограничения для отбора изделий. При разделении контролируемой совокупности на части (слои) в первую очередь следует руководствоваться соображениями обеспечения представительности выборки и только после этого необходимо принимать во внимание ограничения экономического или технического характера.

4.4 СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Задача статистического регулирования технологического процесса состоит в том, чтобы на основании результатов периодического контроля выборок малого объёма принимать решение "процесс налажен" или "процесс разлажен". Поскольку данные процессы происходят в случайные моменты времени, то данные события подчиняются определённым статистическим закономерностям.

Наиболее часто применяемым при решении задач статистического контроля качества РЭСИ распределением случайной величины X является нормальное распределение, которое характеризуется двумя параметрами: математическим ожиданием m и дисперсией σ^2 . При отклонении m от заданного значения m_0 или увеличении σ увеличивается доля дефектной продукции q , что свидетельствует о разладке технологического процесса (ТП).

От величины объёма выборки зависит степень соответствия выборочных статистических характеристикам генеральной совокупности. В зависимости от объёма различают:

- метод малых выборок;
- метод средних выборок;
- метод больших выборок.

Применение метода больших выборок (100-200) не всегда целесообразно, так как приводит к росту трудоёмкости и снижению оперативности контроля.

Метод средних выборок применяется для высокопроизводительного отлаженного производства при выпуске более 50 изделий/час. При этом количество изделий в выборке берётся от 5 до 10% от программы выпуска при массовом производстве и от 15 до 20% для серийного производства.

При непрерывном производственном процессе выборки необходимо извлекать через равные промежутки времени. Для сокращения времени контроля необходимо совершенствовать методику контроля, внедрять процессы автоматизации.

Поскольку разладка технологического процесса происходит в случайные периоды времени и эти события подчиняются определённым статистическим закономерностям, то такая задача решается методами математической статистики. Обычно при решении такой задачи выдвигаются две гипотезы:

- нулевая гипотеза H_0 - технологический процесс налажен;
- альтернативная гипотеза H_1 - технологический процесс разлажен.

На основании результатов контроля единиц продукции из выборки $x_1..x_n$ можно будет с помощью определённых статистических критериев принять одну из двух гипотез.

Таким образом, при статистическом регулировании проверяют гипотезы:

- $H : m=m_0$ - технологический процесс налажен;
- $H : m=m_1$ - технологический процесс разлажен, если разладка связана с изменением математического ожидания. Если же разладка связана с изменением дисперсии, то в этом случае проверяют гипотезы:

- $H : \sigma=\sigma_0$ технологический процесс налажен;

- $H: \sigma = \sigma_1$ технологический процесс разлажен.

При статистическом регулировании в качестве средних значений обычно используют выборочное среднее арифметическое \bar{X} или выборочную медиану \tilde{X} , а в качестве меры рассеяния - выборочное среднее квадратическое отклонение S или выборочную дисперсию S^2 или размах R .

При выборе между средним арифметическим и медианой, а также между средним квадратическим отклонением и размахом следует учитывать следующие соображения. Среднее арифметическое является более эффективной статистикой, чем медиана, что позволяет при равных исходных условиях использовать объём выборки примерно в полтора раза меньший. Точно так же среднее квадратическое отклонение является более эффективной статистикой, чем размах, что позволяет использовать существенно меньший объём выборки. Однако вычисление медианы и размаха проще, чем среднего арифметического и среднего квадратического отклонения, поэтому первым двум статистикам часто отдают предпочтение.

В случае, когда контролируемым показателем качества является дискретная случайная величина, подчиняющаяся биномиальному или пуассоновскому закону распределения, разладка процесса характеризуется увеличением доли дефектной продукции от значения p_0 до значения p_1 . В этом случае проверяют гипотезы:

- $H_0: p = p_0$ - технологический процесс налажен;
- $H_0: p = p_1$ - технологический процесс разлажен.

При отклонении m от заданного значения m_0 , а также при увеличении а увеличивается доля дефектной продукции q , что свидетельствует о разладке технологического процесса. На стадии предварительного анализа состояния техпроцесса необходимо оценить параметры m и a , для чего следует отобрать на контроль определённое количество единиц продукции (чем больше единиц, тем точнее прогноз). Продукцию на контроль следует отбирать при нормальном ходе производства, т.е. оценить m_0 и σ_0 при налаженном состоянии технологического процесса и соответственно определить вероятную долю дефектной продукции q_0 при налаженном состоянии технологического процесса.

Рассмотрим степень влияния m и σ^2 для нормального закона распределения.

На рисунке 4.16 показана кривая плотности нормального распределения, расположенная в пределах поля допуска, ограниченного нижним предельным значением T_n и верхним предельным значением T_v .

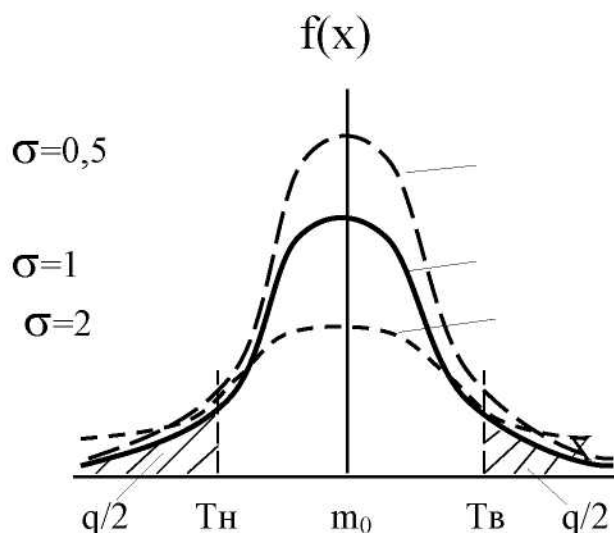


Рисунок 4.16 – Кривая плотности нормального распределения.

Площадь под кривой между двумя предельными значениями T_H и T_B и представляет собой ту долю всей совокупности, принятой за единицу, для которой значения X лежат в пределах поля допуска, т.е. долю годной продукции p . Эта доля определяется как вероятность того, что случайная величина X примет значение в пределах T_H - T_B :

$$P = P(T_H < x < T_B) = \Phi\left(\frac{T_B - m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{T_H - m}{\sigma}\right), \quad (4.4.1)$$

где $\Phi(x)$ - функция нормального распределения.

Доля дефектной продукции при этом примет значение $q=1-p$.

Из (4.4.1) следует, что доля годной продукции p зависит от допуска и значений m и σ . Это видно из рисунка 4.16, если сравнить площади под нормальными кривыми в пределах поля допуска при различных значениях σ . С другой стороны, чем больше будет отклоняться m от значения m_0 (при $\sigma=const$), тем меньшей будет доля годной продукции p и тем большей будет доля дефектной продукции q , что подтверждает графическая зависимость, приведённая на рисунке 4.17.

$f(x)$

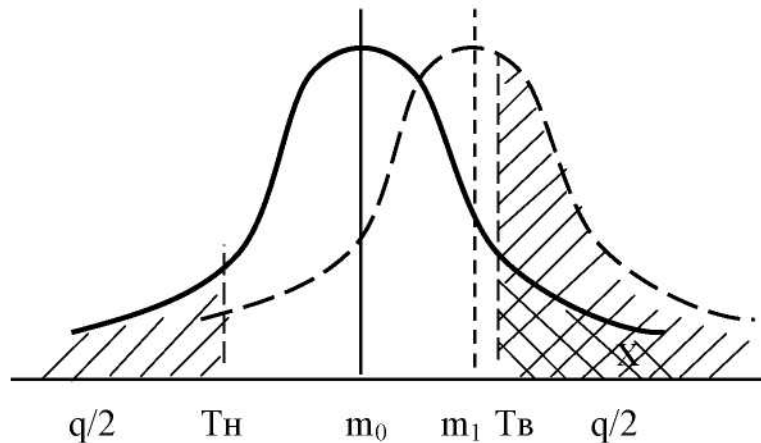


Рисунок 4.17 – Кривая плотности нормального распределения.

Отсюда следует, что при заданном допуске для уменьшения доли дефектной продукции q необходимо добиваться, чтобы значения m не отклонялись от значения m_0 , которое обычно принимают равным середине поля допуска, и чтобы значение σ не увеличивалось. Этого обычно добиваются путём своевременной подналадки технологического оборудования.

При использовании формулы (4.4.1) в неё следует подставлять соответствующие значения m_0 , m_1 или σ_0 , σ_1 , т.е. если мы хотим определить долю годной продукции при налаженном процессе, то в ту же формулу следует подставить значения m_0 , σ_0 ; если же мы определяем долю годной продукции при разлаженном процессе, то в ту же формулу следует подставить значения m_1 и σ_1 .

Пример 1

Предположим, что задано поле допуска, ограниченное предельными значениями $T_n=17,8$ мкм и $T_b=22,2$ мкм. В результате предварительного анализа установлено, что среднее значение совпадает с серединой поля допуска, т.е. $m_0=20$ мкм и $\sigma_0=1$ мкм. Определить для этих условий вероятную долю дефектной продукции.

Решение:

Доля годной продукции составит:

$$p = (P(T_n < x < T_b)) = \Phi\left(\frac{22,2 - 20}{1}\right) - \Phi\left(\frac{17,8 - 20}{1}\right) = \Phi(2,2) - \Phi(-2,2) = \\ = \Phi(2,2) - [1 - \Phi(2,2)] = 2 \cdot \Phi(2,2) - 1 = 2 \cdot 0,986 - 1 = 0,972$$

Доля дефектной продукции:

$$q = 1 - p = 1 - 0,9722 = 0,0278 \text{ или в процентах } 2,78\%.$$

Пример 2

Определить, как изменится доля дефектной продукции q при условии, что после ремонта (подналадки) оборудования значение σ уменьшилось до 0,8 мкм.

Решение:

$$q = 1 - p = 1 - \Phi\left(\frac{22,2 - 20}{0,8}\right) + \Phi\left(\frac{17,8 - 20}{0,8}\right) = 1 - \Phi(2,75) + \Phi(-2,75) = \\ = 1 - \Phi(2,75) + 1 - \Phi(2,75) = 2 - 2 \cdot 0,997 = 2 - 1,997 = 0,006$$

или 0,6%.

Таким образом, доля дефектной продукции уменьшилась с 2,78% до 0,6%, т.е. процент брака снизился в 4,5 раза.

Пример 3

Определить вероятную долю дефектной продукции q при условии, что m может измениться от $m_I = 19,8$ мкм до значения $m_I = 20,15$ мкм.

Решение:

Определим долю дефектной продукции при увеличении m от значения $m_0 = 20$ мкм до $m_I = 20,15$ мкм.

$$p_1 = \Phi\left(\frac{22,2 - 20,15}{1}\right) - \Phi\left(\frac{17,8 - 20,15}{1}\right) = \Phi(2,05) - \Phi(-2,35) = \\ = \Phi(2,05) - [1 - \Phi(2,35)] = 0,9798 - 1 + 0,9906 = 0,9704 \\ q_1 = 1 - 0,9704 = 0,0296 \text{ или } 2,96\% .$$

Определим долю дефектной продукции при уменьшении m от значения $m_0 = 20$ мкм до значения $m_I = 19,8$ мкм.

$$p_2 = \Phi\left(\frac{22,2 - 19,8}{1}\right) - \Phi\left(\frac{17,8 - 19,8}{1}\right) = \Phi(2,4) - \Phi(-2) \\ = \Phi(2,4) - [1 - \Phi(2)] = 0,99918 - 1 + 0,9772 + 0,9690 \\ q_2 = 1 - 0,9690 = 0,0310 \text{ или } 3,1\% .$$

Следовательно, при отклонении m в ту или иную стороны мы будем иметь около 3% дефектной продукции.

Не менее важной характеристикой технологического процесса является его стабильность, заключающаяся в его способности сохранять значения m и a неизменными в течение определённого интервала времени без внешнего вмешательства. Таким образом, чем более стабильным будет технологический процесс, тем более редко будет происходить его разладка, которая приводит к приостановке процесса производства продукции для подналадки оборудования.

4.4.1 Виды контрольных карт, применяемых для статистического регулирования технологических процессов

В настоящее время существует большое разнообразие статистических методов регулирования технологических процессов. По своим свойствам и эффективности эти методы существенно различаются. Поэтому задача специалиста состоит в том, чтобы владея этими методами, выбрать наиболее подходящий из них для реальных условий производства.

Статистическое регулирование технологических процессов удобно осуществлять с помощью контрольных карт (КК), на которых откладывают значения определенной статистики, полученной по результатам выборочного контроля.

Таковыми статистиками являются:

- среднее арифметическое \bar{X} ;
- медиана \tilde{X} ;
- среднее квадратическое отклонение σ ;
- размах R ;
- доля дефектных единиц продукции q ;
- число дефектов C .

На контрольной карте отмечают границы регулирования, ограничивающие область допустимых отклонений статистики. КК является наглядным графическим средством, отражающим состояние технологического процесса. Выход контрольной точки за границу регулирования служит сигналом о разладке технологического процесса. Кроме того, КК позволяет не только обнаружить разладку ТП, но и помогает выявлять причины возникновения разладки.

Существуют следующие виды КК:

- средних арифметических;
- медиан;
- средних квадратических отклонений;
- размахов;
- числа дефектов;
- кумулятивных сумм.

По схеме построения все перечисленные карты можно разделить на три группы:

- простые контрольные карты;
- контрольные карты с предупреждающими границами;
- КК кумулятивных сумм.

Наиболее информативными с точки зрения оценки разлаженности процесса являются последние карты, т.к. они учитывают не только результаты контроля текущей выборки, но и результаты контроля предыдущих выборок, т.е. по чувствительности к разладке ТП они превосходят простые карты в 2-3 раза.

Чувствительность контрольной карты к разладке определяется **средней длиной серии** (СДС) выборок проходящего процесса. СДС выборок определяется как среднее число выборок, предшествующих наладке ТП при неизменном распределении вероятностей контролируемого параметра.

При налаженном процессе сигнал о разладке ТП является ложным, поэтому предпочтительным является максимально возможное значение СДС выборок L_0 . Чем больше значение L_0 , тем реже появляется сигнал о разладке при налаженном процессе.

При разлаженном процессе, наоборот, предпочтительным является возможно меньшее значение СДС выборок L_1 . Чем меньше значение L_1 при разлаженном процессе, тем быстрее будет обнаружена разладка процесса.

Таким образом, СДС определяет эффективность плана контроля и соответственно схемы контрольной карты. Наиболее эффективным планом контроля будет тот, который обеспечит максимальное значение СДС выборок налаженного процесса L_0 и наименьшее значение СДС выборок разлаженного

процесса L_1 .

Внедрению статистических методов регулирования должен предшествовать анализ состояния ТП. При этом решаются следующие задачи:

- определяется положение эмпирической функции распределения относительно поля допуска на контролируемый показатель качества;
- определяется вероятная доля брака на исследуемой операции;
- вычисляются показатели точности и стабильности ТП;
- проверяется согласие опытного распределения с теоретическим;
- устанавливается, каким фактором определяется разладка технологического процесса (отклонением m , σ , либо их совместным действием).

Для внедрения перечисленных статистических методов регулирования ТП необходимо решить следующие задачи:

- при каком значении выбранной характеристики ТП считается налаженным и при каком значении этой характеристики процесс считается разлаженным;
- как расположить границы регулирования на контрольной карте;
- каков объём выборки;
- каков период отбора выборки.

Значение характеристики, при которой ТП считается налаженным, должно быть оптимальным в смысле получения наилучшего показателя качества продукции. Обычно в качестве такого значения используется номинальное значение показателя качества при допустимом двухстороннем (нижнем и верхнем) его отклонении. Этому значению на контрольной карте соответствует исходная линия (нулевая или средняя). Значение статистической характеристики, при котором ТП признаётся разлаженным, определяется исходя из влияния этого значения на дефектной продукции. Эта доля дефектной продукции не должна превышать значение допустимого уровня дефектности, которое устанавливается из экономических соображений. Под допустимым уровнем дефектности понимается максимальный уровень дефектности, установленный НТД.

Период отбора выборок может устанавливаться опытным путём на основании распределения времени разладки процесса, которое определяется обработкой результатов наблюдений за разладкой процесса в предшествующем периоде. Период отбора выборок можно также определить на основе экономических показателей.

4.4.2 Статистическое регулирование технологических процессов с помощью простых контрольных карт

По результатам контроля единиц продукции в выборке принимается одна из двух гипотез:

- нулевая H_0 - процесс налажен;
- альтернативная H_1 - процесс разлажен.

Для решения подобных задач математическая статистика располагает теорией проверки статистических гипотез. Применительно к задаче статрегулирования возможно совершение ошибки первого рода, когда

налаженный технологический процесс будет принят за разлаженный и он будет необоснованно остановлен для корректировки и ошибки второго рода, когда разлаженный процесс будет принят за налаженный, что приведёт к выпуску бракованной продукции.

Вероятность совершить ошибку первого рода принято обозначать через α , а вероятность совершить ошибку второго рода через β . Для задачи статистического регулирования α называется риском излишней наладки, а β - риском незамеченной разладки.

Критическими точками (границами) называют точки, отделяющие критическую область от интервала - области принятия гипотезы. Различают одностороннюю (право или левостороннюю) и двухстороннюю критические области, рисунок 4.18. Для правосторонней области выполняется неравенство $k > k_{кр}$, для левосторонней - $k < k_{кр}$ и для двухсторонней $k < k_{1кр}$, $k > k_{2кр}$, где $k_{2кр} > k_{1кр}$. В данном случае k - статистика критерия, $k_{кр}$ - положительное или отрицательное число.

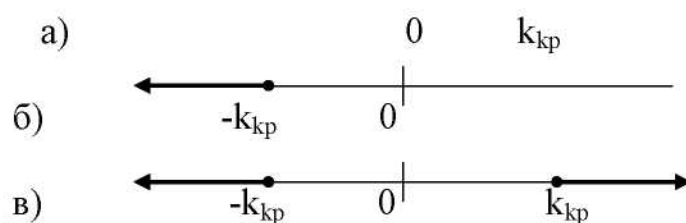


Рисунок 4.18 – Критические области: а - правосторонняя; б - левосторонняя; в - двухсторонняя

Для нахождения соответствующей критической точки необходимо задаться достаточно малой вероятностью - уровнем значимости α и найти критическую точку $k_{кр}$ исходя из требования, чтобы при условии справедливости нулевой гипотезы вероятность того, что критерий k примет значение большее $k_{кр}$, была бы равна принятому значению значимости

$$P(k > k_{кр}) = \alpha \quad (4.4.2)$$

Для каждого критерия имеются соответствующие таблицы, по которым и находят критическую точку, удовлетворяющую требованию (4.4.2). Когда критическая точка уже найдена, вычисляют по данным выборки частное значение критерия $k_{ч}$, и если окажется, что $k_{ч} > k_{кр}$ (для правосторонней критической области), то нулевую гипотезу отвергают; если же $k_{ч} < k_{кр}$, то оснований отвергать нулевую гипотезу нет.

Таким образом, если принять значение $k_{кр}$ за ординату прямой, параллельной оси абсцисс, которую называют границей регулирования, а ось абсцисс принять за исходную линию, соответствующую значению характеристики при налаженном процессе, то получим схему простой

контрольной карты, рисунок 4.19



Рисунок 4.19 – Вид простой контрольной карты.

Область за границами регулирования является критической областью, где отвергается нулевая гипотеза H_0 и принимается альтернативная H_1 .

Единственный способ одновременного уменьшения ошибок первого и второго рода состоит в увеличении объёма выборки. Если же объём выборки задан, то значения α и β следует выбирать, учитывая "тяжесть" последствий ошибок для каждой конкретной задачи. Например, если риск незамеченной разладки β повлечёт большие потери из-за увеличения доли дефектной продукции, а риск излишней наладки повлечёт существенно меньшие потери от необоснованной остановки процесса, то значение β следует выбрать возможно меньшим, невзирая на увеличение значения α .

4.4.2.1 Построение простой контрольной карты средних арифметических значений и медиан

Контрольные карты средних арифметических значений и медиан позволяют обнаруживать разладку процесса в том случае, когда генеральное среднее m контролируемого показателя качества x изменяется от значения m_0 при налаженном состоянии технологического процесса до значения m_1 при разлаженном состоянии процесса.

В качестве значения m_0 обычно используют номинальное значение контролируемого показателя качества x или же значение, соответствующее середине поля допуска. Значения m_1 и m_{-1} - это предельно допустимые значения, которым соответствует предельно допустимый уровень дефектности.

Таким образом, по выборочному среднему арифметическому при заданном уровне значимости необходимо проверить гипотезу: $H_0 : m = m_0$ о равенстве математического ожидания m заданному значению m_0 при конкурирующей гипотезе: $H_1 : m = m_1$ или m_{-1} .

В качестве статистического критерия проверки нулевой гипотезы о математическом ожидании нормально распределённой случайной величины при известной дисперсии используется случайная величина

$$U = \frac{(\bar{x} - m_0) \cdot \sqrt{n}}{\sigma} \quad (4.4.3)$$

Если случайная величина x распределена нормально при справедливости

нулевой гипотезы, математическое ожидание этой случайной величины $M(U)=0$, а $\sigma(U)=1$. Следовательно, для нахождения критической точки можно использовать таблицу функции нормированного нормального распределения $\Phi(x)$.

Для двухсторонней критической области критическая точка $U_{кр}$ находится по таблице функции нормального распределения из условия

$$\Phi(U_{кр}) = \frac{1-\alpha}{2}. \quad (4.4.4)$$

Тогда условием принятия нулевой гипотезы будет выполнение неравенства:

$$|U| < U_{кр} \quad \text{или} \\ -U_{кр} < \frac{(\bar{x} - m_0) \cdot \sqrt{n}}{\sigma} < U_{кр}$$

откуда

$$m_0 - \frac{U_{кр}}{\sqrt{n}} \sigma < \bar{x} < m_0 + \frac{U_{кр}}{\sqrt{n}} \sigma. \quad (4.4.5)$$

Таким образом, процесс будет признаваться налаженным до тех пор, пока выборочное среднее арифметическое \bar{X} не превысит значений границ регулирования, т.е.

$$a_+ = m_0 + \frac{U_{кр}}{\sqrt{n}} \sigma - \text{для ВГР}; \\ a_- = m_0 - \frac{U_{кр}}{\sqrt{n}} \sigma - \text{для НГР}. \quad (4.4.6)$$

Если контролируемый показатель качества X только увеличивается либо только уменьшается, то строится контрольная карта с одной границей регулирования a_+ или a_- соответственно, определяемыми из условий:

$$\Phi(U_{кр}) = 1-\alpha \quad \text{и} \quad \Phi(U_{кр}) = \alpha \quad \text{соответственно.}$$

Планы контроля для статистического регулирования ТП иногда строят в зависимости от средних длин серий выборок для налаженного и разлаженного состояний процесса, которые для простых контрольных карт соответственно равны (при односторонней критической области)

$$L_0 = 1/\alpha \quad \text{и} \quad L_1 = 1/(1-\beta). \quad (4.4.7)$$

В качестве примера приведена таблица 4.7, содержащая планы контроля для статистического регулирования методом средних арифметических значений.

Таблица 4.7 – Планы контроля статистического регулирования методом средних арифметических значений

L_0 При $L_1=1,25$	n	U	n	U	n	U	n	U	n	U
		$n^{1/2}$		$n^{1/2}$		$n^{1/2}$		$n^{1/2}$		$n^{1/2}$
	При δ									
0,6		0,8		1,0		1,5		2,0		
2000	-	-	27	0,636	17	0,795	8	1,193	4	1,591
740	-	-	23	0,623	15	0,779	7	1,169	4	1,559
200	33	0,451	18	0,601	12	0,751	5	1,127	3	1,504
100	28	0,439	16	0,584	10	0,732	4	1,099	3	1,465
40	22	0,418	12	0,558	9	0,697	4	1,046	2	1,395
20	17	0,395	10	0,545	6	0,659	3	0,989	2	1,319

Для получения плана контроля кроме значений L_0 и L_1 мы должны еще иметь значение δ , которое определяется из условия $\delta = \frac{m_1 - m_0}{\sigma}$ и характеризует уровень разладки процесса.

Итак, исходными величинами для выбора плана контроля при статистическом регулировании методом средних арифметических значений являются:

$$L_0, L_1 \text{ (или } \alpha, \beta); m_0, m_1 \text{ или } m_{-1}, \sigma.$$

При этих значениях, используя специальные таблицы (например таблицу 4.7), находят объем выборки n и коэффициент $\frac{U}{\sqrt{n}}$, который необходим для вычислений границы регулирования. Значение σ , если оно неизвестно, может быть оценено по выборке большого объема в ходе предварительного анализа ТП.

Если использовать метод медиан, то границы регулирования и объемы выборок рассчитываются аналогично с заменой $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ на $\sqrt{\frac{\pi}{2n}}$. С учетом этого границы регулирования определяются:

$$\begin{aligned} a_{M+} &= m_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}} \sigma \\ a_{M-} &= m_0 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}} \sigma \end{aligned} \quad (4.4.8)$$

Таблицы для определения n и $\sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{U}{\sqrt{n}}$ строят аналогично таблицам плана контроля методом средних арифметических значений.

Таким образом, статистическое регулирование ТП методом средних арифметических и медиан заключается в следующем:

- периодически отбираются выборки заданного объема n ;
- измеряются показатели качества единиц продукции из этой выборки;
- по результатам этих измерений определяют выборочное среднее \bar{X} или выборочную медиану \tilde{X} ;

- значения \bar{X} или \tilde{X} отмечают на соответствующих контрольных картах;
- ТП признается налаженным, если отмеченные точки не выходят за границы регулирования a_+ или a_- ;
- ТП признается разлаженным, как только первая из точек достигнет границы регулирования или превысит ее.

Пример 4.

ТП изготовления подложек ГИС является налаженным, если средняя толщина подложки $m_0=2,5\text{мм}$ и разлаженным, если $m_1=2,52\text{мм}$. Предварительным анализом предыдущего процесса установлено, что $\sigma=0,02\text{мм}$. Задано также $L_0=20$, $L_1=1,25$. Необходимо осуществить статистическое регулирование с помощью контрольных карт средних арифметических значений.

Решение:

1. Определим степень разладки ТП:

$$\delta = \frac{m_1 - m_0}{\sigma} = \frac{2,52 - 2,5}{0,02} = 1$$

2. Для значений $\delta=1$, $L_0=20$, $L_1=1,25$ по таблице 4.7 определяем

$$n=6 \text{ и } \frac{U}{\sqrt{n}} = 0,659$$

3. Так как разладка процесса определяется лишь одним увеличением m , то можно определить лишь одну границу регулирования:

$$a_+ = m_0 + \frac{U}{\sqrt{n}} \cdot \sigma = 2,5 + 0,659 \cdot 0,02 = 2,51$$

Наладку ТП контролируют периодически путем изъятия выборок из 6 подложек и вычисления среднего арифметического значения \bar{X}_i . Данные значения наносят на контрольную карту. Как следует из графика, приведенного на рисунке 4.20, после 6-й выборки процесс будет признан разлаженным.

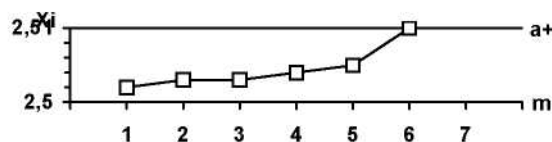


Рисунок 4.20 – Контрольная карта средних арифметических значений.

4.4.2.2 Построение простой контрольной карты средних квадратических отклонений

По выборочному среднему квадратическому отклонению S при заданном уровне значимости α требуется проверить гипотезу $H_0: \sigma = \sigma_0$ о равенстве генерального среднего квадратического отклонения σ заданному значению σ_0 при альтернативной гипотезе: $H_1: \sigma = \sigma_1$.

В качестве статистического критерия используются случайные величины

$$\frac{n}{\sigma_0^2} \sum_{1 \leq i \leq n} (X_i - E(X))^2, \quad (4.4.9)$$

если математическое ожидание контролируемого показателя качества X известно и

$$(n-1) \cdot S^2 / \sigma_0^2, \quad (4.4.10)$$

если математическое ожидание контролируемого показателя качества X неизвестно. Эти случайные величины подчиняются распределению χ^2 с n и $(n-1)$ степенями свободы соответственно. Критическую точку $\chi^2_{кр}$ находят по таблице распределения χ^2 . Тогда условием принятия нулевой гипотезы будет выполнение неравенства $\chi^2 < \chi^2_{кр}$.

Если математическое ожидание X известно, то границу регулирования σ_B , что является контрольным параметром, можно определить при заданных рисках $\alpha = 1/L_0$ и $\beta = 1 - 1/L_1$ из соотношений:

$$\begin{aligned} \chi^2_{1-\alpha, n} &= \frac{n(\sigma_B)^2}{\sigma_0^2}, \\ \chi^2_{\beta, n} &= \frac{n(\sigma_1)^2}{\sigma_0^2}, \end{aligned} \quad (4.4.11)$$

где $\chi^2_{1-\alpha, n}$ и $\chi^2_{\beta, n}$ - соответственно квантили порядка $1-\alpha$ и β распределения χ^2 с n степенями свободы. Из этого уравнения находим соотношение

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha, n}}{\chi^2_{\beta, n}}} \quad (4.4.12)$$

Таким образом, зная α , β и n , можно определить отношение σ_1/σ_0 . Границу регулирования σ_B вычисляют по формуле

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha, n}}{n}} = Z_B \cdot \sigma_0. \quad (4.4.13)$$

При неизвестном математическом ожидании m_0 границу регулирования находят по этой же формуле с заменой Z_B на Z'_B , где

$$Z'_B = \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha, n-1}}{n-1}}. \quad (4.4.14)$$

В таблице 4.8 приведены планы контроля, построенные при заданных значениях L_0 и L_1 .

По таблице 4.8 определяют коэффициент Z_B , необходимый для вычисления границы регулирования и объём выборки n при неизвестном среднем значении контролируемого показателя качества m_0 . При известном значении m_0 используются значения Z_B , приведённые в скобках.

Таблица 4.8 – Планы контроля статистического регулирования методом средних квадратических отклонений

СДС	σ_1/σ_0	n	Z_α	СДС	σ_1/σ_0	n	Z_α
	13,32	(3)4	2,066		4,67	(2)3	1,518
	8,51	(4)5	1,930		3,27	(3)4	1,443
$L_0=200$	6,30	(5)6	1,828	$L_0=10$	2,70	(4)5	1,395
	6,22	(6)7	1,756		2,39	(5)6	1,359
$L_1=1,005$	4,56	(7)8	1,703	$L_1=1,11$	2,19	(6)7	1,329
	4,05	(8)9	1,658		2,08	(7)8	1,309
	3,70	(9)10	1,619		1,96	(8)9	1,294
	3,43	(10)11	1,287		1,88	(9)10	1,278

Исходными данными для выбора плана контроля являются значения L_0 , L_1 (или α и β) и отношение σ_1/σ_0

Пример 5.

Выбрать план контроля, если известно, что его разладка вызвана увеличением рассеивания значений контролируемого показателя качества, т.е. процесс является налаженным, если $\sigma_0=0,02$, и разлаженным, если $\sigma_1=0,04$. Задано $L_0=10$ и $L_1=1,11$.

Решение:

1. Определяем отношение средних квадратических отклонений для налаженного и разлаженного ТП:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \frac{0,04}{0,02} = 2$$

2. Для $L_0=10$, $L_1=1,11$ и для $\frac{\sigma_1}{\sigma_0}=1,96$ (ближайшее к 2) по таблице 4.8

находим:

$$\left. \begin{array}{l} n = 8 - \text{при известном } m \\ n = 9 - \text{при известном } m \end{array} \right\} , Z_B = 1,294$$

3. Определяем границу регулирования при известном математическом ожидании:

$$\sigma_\alpha = Z_B \cdot \sigma_0 = 1,294 \cdot 0,02 = 0,026 \text{ мм.}$$

4.4.2.3 Построение простой контрольной карты числа дефектных единиц продукции

Контрольные карты числа дефектных единиц продукции применяются при статистическом регулировании ТП методом учёта дефектов. При этом о разладке ТП судят по числу дефектных единиц продукции, для которых устанавливается предельно допустимое значение, определяющее положение границы регулирования. КК для метода учёта дефектов имеют одну границу регулирования, которая ограничивает увеличение уровня дефектности.

Принцип построения КК числа дефектных единиц заключается в

следующем:

- устанавливаются значения уровней дефектности для налаженного и разлаженного состояний, т.е. q_0 и q_1 ;
- для заданных значений L_0 и L_1 и объёма выборки n определяется браковочное число d , которое является критерием для принятия решения о разладке процесса.

Значение q_0 устанавливается на стадии предварительного анализа состояния ТП. Значением q_1 можно задаваться исходя из экономических соображений, учитывая, что увеличение q_1 связано с ущербом для производства. Кроме того, чем меньше разница между q_0 и q_1 , тем больший объём выборки потребуется для обнаружения разладки процесса. При этом $L_0=1/\alpha$, $L_1=1/1-\beta$. Здесь риски α и β определяются по формулам

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 - P_{0,n,d} \\ \beta &= P_{1,n,d} \end{aligned} \quad (4.4.15)$$

где $P_{0,n,d}$ и $P_{1,n,d}$ - вероятности появления в выборке объёмом n числа дефектных единиц меньше числа d соответственно при налаженном и разлаженном ТП.

Вероятность $P_{1,n,d}$ представляет собой вероятность принятия партии в зависимости от доли дефектных изделий q в партии.

В таблице 4.9 приведены характеристики планов контроля для статистического регулирования ТП методом учёта числа дефектных единиц продукции.

План контроля, используя табличные значения, можно выбрать двумя способами:

- для заданных значений q_0 и q_1 подбирают приемлемые значения L_0 и L_1 (или α или β) и затем соответственно этим значениям находят объём выборки n и браковочное число d ;
- задаются значением n и для заданных значений q_0 и q_1 определяют L_0 и L_1 и браковочное число d .

Таблица 4.9 – Характеристики планов контроля методом учёта числа дефектных единиц продукции

n	d	Значения L_0 и L_1 при $q_0=0,03$ и q_1				
		0,06	0,08	0,10	0,12	0,15
25	5	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
		52,63	18,87	9,17	5,13	3,09
	4	141,0	141,0	141,0	141,0	141,0
		15,15	6,99	4,13	2,83	1,93
30	5	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
		27,78	10,42	5,40	3,40	2,14
	4	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0
		9,17	4,52	2,83	2,06	1,52

40	6	500,0 27,78	500,0 9,52	500,0 4,65	500,0 2,86	500,0 1,80
	5	125,0 10,42	125,0 4,57	125,0 2,69	125,0 1,91	125,0 1,40
50	7	1000,0 29,41	1000,0 9,01	1000,0 4,03	1000,0 2,54	1000,0 1,62
	8	250,0 11,90	250,0 4,65	250,0 2,60	250,0 1,80	250,0 1,32
60	8	1000,0 32,26	1000,0 8,85	1000,0 3,91	1000,0 2,32	1000,0 1,48
	7	333,3 13,7	333,3 4,78	333,3 2,54	333,3 1,72	333,3 1,26
	6	100,0 6,41	100,0 2,86	100,0 1,80	100,0 1,38	100,0 1,13
70	8	1000,0 15,62	1000,0 4,93	1000,0 2,49	1000,0 1,66	1000,0 1,21
	7	250,0 7,52	250,0 3,03	250,0 1,85	250,0 1,36	250,0 1,11
	6	50,0 4,05	50,0 2,05	50,0 1,43	50,0 1,18	50,0 1,05
80	9	1000,0 17,86	1000,0 5,08	1000,0 2,46	1000,0 1,61	1000,0 1,18
	8	333,3 8,85	333,3 3,19	333,3 1,83	333,3 1,35	333,3 1,10
	7	83,3 4,78	83,3 2,18	83,3 1,45	83,3 1,18	83,3 1,05
100	9	250,0 6,53	250,0 2,46	250,0 1,50	250,0 1,18	250,0 1,04
	8	83,3 3,91	83,3 1,83	83,3 1,28	83,3 1,10	83,3 1,02

L_0 - верхнее значение в клетке таблицы;

L_1 - нижнее значение в клетке таблицы.

4.4.2.4 Виды контрольных карт

При статистическом регулировании ТП методом учёта дефектных единиц продукции применяются следующие две разновидности контрольных карт:

- КК доли дефектности (q -карта);
- КК числа дефектных единиц продукции (nq -карта).

КК доли дефектности применяется как для выборок одинакового объёма, так и для выборок различного объёма.

Доля дефектности q есть отношение числа дефектных единиц продукции,

обнаруженных в выборке, к объёму этой выборки. Полученное таким образом значение q наносится на КК. Граница регулирования определяется как отношение d/n .

Если объём выборки значительно колеблется, то границу регулирования следует вычислять заново для каждой выборки.

Если используется постоянный объём выборки, то можно применять КК числа дефектных единиц продукции (nq -карту), при этом границы регулирования определяется величиной d . На контрольной карте отмечается число дефектных единиц продукции, обнаруженных в последовательных выборках.

Пример 6.

При предварительном анализе установлены значения уровней дефектности при налаженном процессе $q_0=0,03$ и при разлаженном $q_1=0,10$. Объём выборки $=50$ ед. Для заданных q_0 и q_1 и n , по таблице определяем:

1 вариант: $L_0=1000,0$; $L_1=4,03$; $d=7$

2 вариант: $L_0=250$; $L_1=2,6$; $d=8$.

При выборе соответствующего варианта следует исходить из соотношения затрат от пропуска дефектных единиц продукции к затратам, связанным с наладкой оборудования. Если затраты, связанные с наладкой оборудования, превышают затраты, связанные с пропуском дефектных единиц, то предпочтителен 1-й вариант, т.к. сигналы о разладке оборудования будут появляться довольно редко, в среднем через 1000 выборок (т.к. $L_0=1000$), а разладка будет обнаруживаться в среднем через четыре выборки ($L_1=4,03$). Если же затраты, связанные с пропуском дефектной единицы велики, то более предпочтительным является 2-й вариант, при котором разладка процесса будет обнаруживаться быстрее, т.к. L_1 но ложные сигналы о разладке будут появляться в четыре раза чаще, т.к. $L_0=250$.

Граница регулирования определяется для q -карты как $\frac{d}{n} \cdot 100\% = \frac{8}{50} \cdot 100\% = 16\%$, т.е. процесс будет признан разлаженным после 13-й выборки, рисунок 4.21.

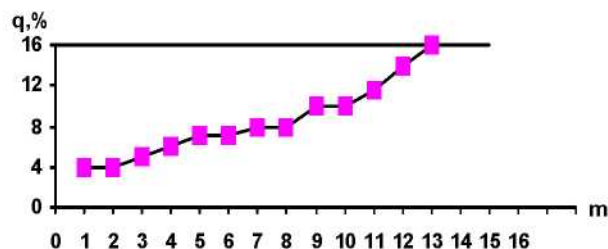


Рисунок 4.21 – Границы регулирования для q -карты.

Пример 7.

Рассмотрим процесс изготовления шайбы методом штамповки. В результате предварительного анализа установлены значения $q_0=0,03$, $q_1=0,08$. При выборе L_0 , L_1 величину L_0 выбираем максимальной, т.к. стоимость шайбы мала по сравнению с наладкой автомата для её изготовления. Применим

контрольную карту числа дефектных единиц продукции (nq -карту).

Наибольшее значение L_0 из таблицы 4.9 составляет 1000. Это означает, что ложные сигналы о разладке будут появляться в среднем через 1000 выборок, при этом значение $L_0=1000$ для $q_0=0,03$ и $q_1=0,08$ встречается для объёмов выборок $n=25, 50, 60, 70, 80$ ед. При этом L_1 соответственно принимает значения 18,87; 9,01; 8,85; 4,93; 5,08. Поскольку контроль шайб по альтернативному признаку несложен, то можно принять значение $L_1=4,93$ при $n=70$ и $d=8$.

Таким образом, для статистического регулирования процесса штамповки шайб при $q_0=0,03$ и $q_1=0,08$ имеем план контроля: $L_0=1000$; $L_1=4,93$; $n=70$; $d=8$.

Графическая интерпретация представлена на рисунке 4.22.

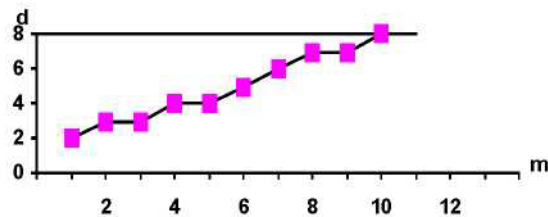


Рисунок 4.22 – Границы регулирования для nq -карты.

На 10-й выборке обнаруживается 8 дефектных единиц продукции, поэтому процесс признаётся разлаженным.

4.5 СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИЁМОЧНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

В отличие от статистических методов регулирования технологических процессов, где по результатам контроля выборки принимается решение о состоянии технологического процесса, при статистическом приёмочном контроле по результатам контроля выборки принимается решение принять или отклонять партию продукции.

В данном случае под риском поставщика понимается вероятность забракования партии продукции, обладающей приемочным уровнем дефектности. Под риском потребителя понимается вероятность приемки партии продукции, обладающей браковочным уровнем дефектности.

Основной задачей статистических методов приемочного контроля является обеспечение с большой достоверностью оценки качества продукции, предъявляемой на контроль, и однозначности взаимного признания результатов оценки качества продукции между поставщиком и потребителем, осуществляемой по одним и тем же планам выборочного контроля.

Статистические методы приемочного контроля могут осуществляться по **количественному, качественному и альтернативному признакам.**

Под статистическим контролем по количественному признаку понимается контроль качества продукции, в ходе которого определяют значения контролируемого параметра, а последующее решение о контролируемой совокупности или процессе принимают в зависимости от сравнения их с контрольным нормативом. Характерная особенность контроля качества по количественному признаку состоит в том, что он требует меньшего объема выборки по сравнению с другими видами контроля при одних и тех же рисках принятия ошибочных решений и при этом дает больше информации о качестве продукции. Поэтому при высокой стоимости контроля или испытаний единиц продукции целесообразно выбирать именно контроль по количественному признаку.

Под статистическим приемочным контролем по **качественному** признаку понимают контроль качества продукции, в ходе которого каждую проверенную единицу продукции относят к определенной группе, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от соотношения количества её единиц, оказавшихся в разных группах. Основным преимуществом является то, что данный метод позволяет не только разделить единицы продукции на годные и дефектные, но и разнести их по категориям, сортам, классам, группам качества и др.

Под статистическим приемочным контролем по **альтернативному** признаку понимается контроль качества продукции по качественному признаку, в ходе которого каждую проверенную единицу продукции относят к категории годных или дефектных, а последующее решение о контролируемой совокупности или процессе принимают в зависимости от результатов сравнения обнаруженных в выборке дефектных единиц продукции или числа дефектов, приходящихся на определённое число единиц продукции, с

контролируемым нормативом.

Под **приёмочным числом** понимается контрольный норматив, равный максимальному числу дефектных единиц продукции в выборке или числу дефектов, приходящихся на 100 единиц продукции, являющихся критерием для приемки партии продукции.

Под **браковочным числом** понимается контрольный норматив, равный максимальному числу дефектных единиц в выборке или числу дефектов, приходящихся на 100 единиц продукции, являющихся критерием для забракования партии продукции.

Данный вид контроля нашёл широкое применение в промышленности по следующим причинам:

- во-первых, метод контроля прост и не требует высококвалифицированных специалистов, большого времени, сложных измерительных приборов и устройств, больших материальных затрат;
- во-вторых, метод не требует большого количества записей и вычислений для определения судьбы контролируемой партии продукции по результатам контроля выборки;
- в-третьих, этот метод контроля сразу позволяет разделить единицы продукции в выборке на годные и дефектные.

Под годной продукцией понимается продукция, удовлетворяющая всем установленным требованиям. Под дефектной единицей продукции (дефектным изделием) понимается единица продукции, имеющая хотя бы один дефект. **Дефект** — это каждое несоответствие продукции установленным требованиям.

В зависимости от значимости принята следующая классификация дефектов: **малозначительные, значительные и критические**.

Малозначительный дефект - дефект, который существенно не влияет на использование продукции по назначению и её долговечность. **Значительный** дефект - дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и (или) на её долговечность, но не является критическим. **Критический** дефект - дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо.

4.5.1 Понятие уровня дефектности

Любая партия изделий, поступающая на контроль, может содержать некоторую долю дефектных единиц продукции. Эта доля дефектных единиц характеризуется уровнем дефектности. Под **уровнем дефектности** понимается доля дефектных единиц продукции на 100 единиц продукции.

При выборочном контроле невозможно установить фактический уровень дефектности в контролируемой партии продукции, а можно получить лишь его оценку. Точность этой оценки зависит от того, насколько будет обоснован план контроля. В качестве такой оценки при контроле по количественному признаку используется предельное значение контролируемого параметра в выборке, а при контроле по альтернативному признаку - число дефектных единиц продукции или число дефектов на 100 единиц продукции в выборке, которое

затем сравнивается с контрольными нормативами.

При определении доли дефектных единиц продукции не учитывается количество дефектов в единице продукции, т.е.

$$\frac{\text{число дефект. единиц}}{\text{число проверенных единиц}} \times 100\%$$

При определении числа дефектов на 100 единиц продукции, единица продукции содержащая, допустим, три дефекта, должна оцениваться так же, как и три единицы продукции, имеющие по одному дефекту, т.е.

$$\frac{\text{число дефектов}}{\text{число проверенных единиц}} \times 100\%$$

Пример 8.

Партия состоит из 500 единиц продукции. По результатам контроля установлено, что:

- 480 ед. годных изделий;
- 15 ед. содержат по 1 дефекту;
- 4 ед. содержат по 2 дефекта;
- 1 ед. содержит 3 дефекта.

Тогда:

а) доля дефектных единиц продукции составляет - $\frac{20}{500} \times 100\% = 4\%$

б) число дефектов на 100 единиц продукции - $\frac{26}{500} \times 100\% = 5,2\%$, т.е. в партии из 500 единиц продукции содержится 5,2 дефекта на 100 единиц продукции.

Схема уровня дефектности представлена на рисунке 4.23.

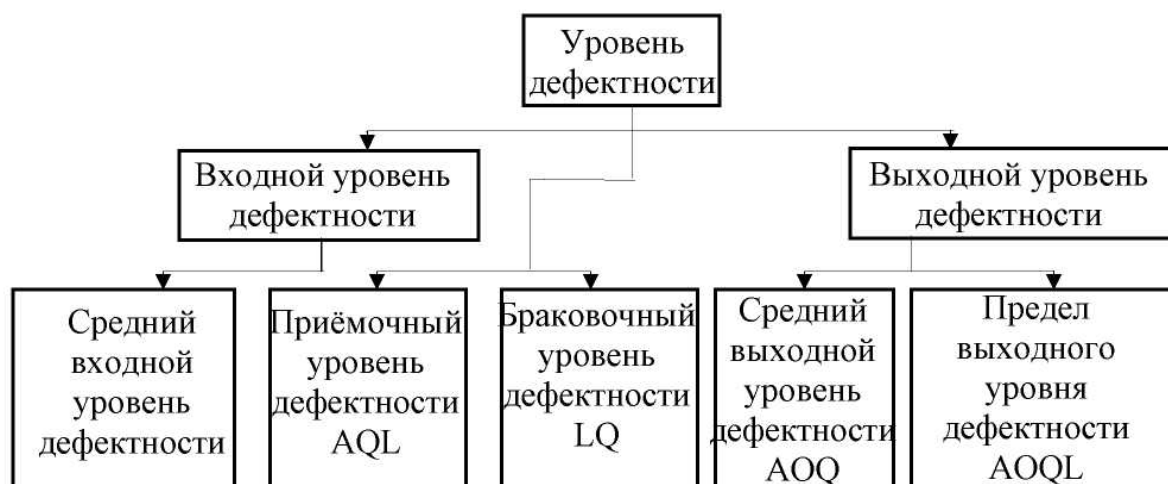


Рисунок 4.23 – Схема уровня дефектности.

Входной уровень дефектности (ВУД).

Под ВУД понимают уровень дефектности в партии, поступающей на контроль или в потоке продукции за определённый интервал времени. ВУД не зависит от плана контроля, а является характеристикой качества изготовленной продукции. Более достоверное представление о качестве продукции дают

средний входной и средний выходной уровни дефектности, определённые по нескольким партиям. Оценку **среднего входного уровня** дефектности находят путём деления общего числа дефектных единиц продукции, обнаруженных в выборках нескольких партий, поступивших на контроль за определённый интервал времени, на общее число проконтролированных единиц в тех же партиях.

Средний выходной уровень дефектности АОО является характеристикой плана контроля. Под АОО понимается математическое ожидание значения выходного уровня дефектности в принятых партиях или потоке продукции и в забракованных партиях или потоке продукции за определённый интервал времени, в которых после сплошного контроля все обнаруженные дефектные единицы заменены годными.

Средний выходной уровень дефектности является важной характеристикой для потребителя, так как его величина характеризует реальное качество продукции, которое он может получить после контроля и зависит от плана контроля.

Средний выходной уровень дефектности в принятых партиях или потоке продукции зависит от входного уровня дефектности, который может изменяться от партии к партии или от потока к потоку. Эта зависимость приближённо может быть определена по формуле

$$AOQ = P \cdot p(1 - \frac{n}{N}), \quad (4.5.1)$$

где P - вероятность приёмки партии или потока продукции в долях; p - входной уровень дефектности, % ;
 N - объём партии;
 n - объём выборки.

Предел среднего выходного уровня дефектности АООЛ. Под пределом среднего выходного уровня дефектности понимается максимальное значение среднего выходного уровня дефектности, соответствующее определённому плану выборочного контроля. В ГОСТ 18242-72 на статистический приёмочный контроль по альтернативному признаку приведены коэффициенты, которые могут служить точной оценкой значения АООЛ для выбранного плана контроля при умножении их на $(1 - n/N)$.

Приёмочный уровень дефектности АQL. Под приёмочным уровнем дефектности понимается максимальный уровень дефектности для одиночных партий, который для целей приёмки продукции является удовлетворительным. Приёмочный уровень дефектности представляет исходное значение уровня дефектности, на которое согласны поставщик и потребитель и которое может служить основой для определения контрольного норматива.

Приёмочный уровень дефектности определяет степень строгости выборочного контроля. Чем меньше значение АQL, тем более строгим будет выборочный контроль. Поэтому выбор правильного значения приёмочного уровня дефектности является важнейшей задачей при использовании статистических методов приёмочного контроля и осуществляется обычно по договорённости между поставщиком и потребителем. Приёмочный уровень

дефектности назначается независимо от входного уровня дефектности.

Если средний входной уровень дефектности для отлаженного производства будет меньше заданного значения AQL , то целесообразно осуществлять статистический приёмочный контроль. Если наоборот - целесообразно осуществлять сплошной контроль. Выбор необоснованно малого значения AQL приведёт к тому, что поставщик будет нести убытки от забракования значительной доли хорошей продукции и наоборот.

При установлении приёмочного уровня дефектности на продукцию, которая контролируется по нескольким показателям качества, приёмочный уровень дефектности определяется двумя способами:

- устанавливается приёмочный уровень дефектности отдельных показателей качества, а затем по продукции в целом;
- устанавливается приёмочный уровень дефектности для продукции в целом, а затем для отдельных показателей качества.

Браковочный уровень дефектности LQ. Под браковочным уровнем дефектности понимается минимальный входной уровень дефектности, который для целей приёмки продукции рассматривается как неудовлетворительный. Потребитель может выбирать план контроля исходя из заданного значения уровня дефектности. Такой план контроля даёт большую гарантию того, что партия продукции с браковочным уровнем дефектности не будет принята.

В ГОСТ 18242-72 приведены таблицы, позволяющие определить LQ при известных значениях риска потребителя P , приёмочного уровня дефектности и объёма выборки. Вероятность приёма партии продукции с LQ в указанном стандарте принимается при значениях риска потребителя, равных 5 и 10%.

Пример 9.

На контроль поступает партия в 1000 единиц продукции. Потребитель выбрал план выборочного контроля, при котором риск принять эту партию продукции с браковочным уровнем дефектности 15% составил бы 5%, т.е. имеем: $N=1000$, $\beta=5\%$, $LQ=15\%$.

Решение: По соответствующей таблице ГОСТ 18242-72 находим ближайшее табличное значение LQ к заданному, т.е. $LQ=14\%$. При этом AQL будет равен 1,5%, а объём выборки $n=32$ единиц продукции. Далее по таблице стандарта находим приёмочное число $Ac=1$, браковочное $Re=2$, т.е. план выборочного контроля будет: $n=32$, $Ac=1$, $Re=2$.

Из полученного результата следует, что если в выборке будет обнаружено меньше двух дефектных единиц продукции, то партия принимается, в противном случае партия будет забракована.

4.5.2 Оперативная характеристика плана выборочного контроля

Вероятность принятия контролируемой партии продукции при заданном плане контроля зависит от доли дефектных единиц продукции в этой партии. Функция, задающая вероятность приемки контролируемой партии продукции в зависимости от входного уровня дефектности, называется **оперативной характеристикой**.

Если $q=q_0$ - приемочный уровень дефектности, то вероятность забракования партии $1-p=\alpha$ - называется риском поставщика; если $q=q_i$, где $q_i < q_0$ - браковочный уровень дефектности, то вероятность приемки партии $p=\beta$ называется риском потребителя.

Так как риски α и β при выборочном контроле неизбежны, то основная задача состоит в том, чтобы выбрать такой план выборочного контроля, при котором эти риски были бы минимальны.

В стандартах приводятся оперативные характеристики и квантили оперативных характеристик для каждого стандартизованного плана выборочного контроля, по которым легко оценить аир.

На рисунке 4.24 показана оперативная характеристика плана контроля, согласно которой при значении $q_0=2\%$ в среднем будет приниматься 90% партии продукции, а 10% партии будет забраковано. Если уровень дефектности будет составлять $q_i=6\%$ (например, браковочный уровень), то по оперативной характеристике определяем, что в среднем 10% партии будет принято, что составит риск потребителя.

Для обоснованного выбора плана выборочного контроля необходимо знать зависимость вероятности приемки партии P от объема выборки n и приемочного числа Ac при неизменных исходных данных. Данные зависимости представлены на рисунке 4.25.

Вероятность принятия партии продукции зависит от объема выборки, контрольного норматива и уровня дефектности в партии. С увеличением объема выборки при неизменных других исходных данных вероятность принятия партии продукции уменьшается. Для поставщика увеличение объема выборки невыгодно, т.к. увеличивается его риск забраковать хорошую партию продукции; для потребителя, наоборот, выгодно, т.к. уменьшается его риск принять бракованную продукцию.

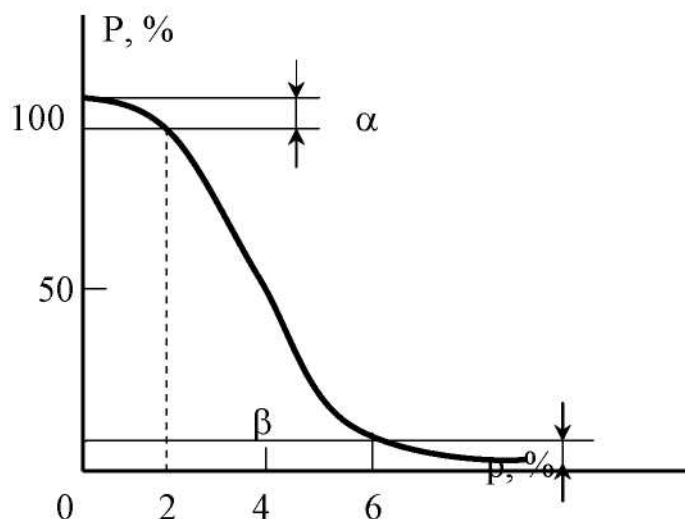


Рисунок 4.24 – Оперативная характеристика плана выборочного контроля

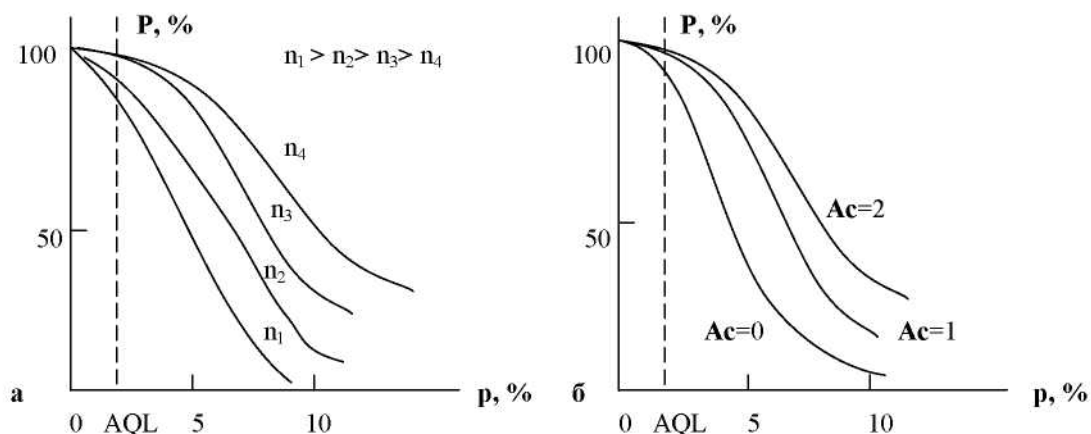


Рисунок 4.25 – Зависимость вероятности приемки партии от объема выборки (а) и приемочного числа (б).

С ослаблением требований к жесткости контрольного норматива вероятность принятия партии продукции увеличивается. Для поставщика это является выгодным, т.к. уменьшается риск забраковать хорошую партию продукции.

Для одновременного удовлетворения требований поставщика и потребителя необходим компромисс. В качестве такого компромисса должен быть приемочный уровень дефектности, согласованный между поставщиком и потребителем.

4.5.3 Планы и схемы контроля

Под планом контроля понимается совокупность требований и правил, которые следует соблюдать при контроле партии продукции. Под совокупностью требований и правил понимается объем контролируемой партии, уровень и вид контроля, тип плана выборочного контроля, объем выборки, контрольные нормативы, решающие правила.

Под планом выборочного контроля понимается совокупность данных об объемах выборок и контрольных нормативах - приемочные и браковочные числа или предельные значения контролируемого параметра выборки (при контроле по количественному признаку).

Под схемой статистического приемочного контроля понимается полный комплект планов выборочного контроля в сочетании с совокупностью правил применения этих планов.

В зависимости от числа отбираемых на контроль выборок различают следующие типы планов контроля: *одноступенчатые, двухступенчатые, многоступенчатые и последовательные.*

Одноступенчатый план выборочного контроля характеризуется тем, что решение относительно приема партии продукции принимают по результатам контроля только одной выборки. Схема одноступенчатого плана выборочного контроля приведена на рисунке 4.26



Рисунок 4.26 – Схема одноступенчатого плана выборочного контроля.

Двухступенчатый план выборочного контроля характеризуется тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля не более двух выборок, причем необходимость отбора второй выборки зависит от результатов контроля первой выборки.

Схема двухступенчатого плана выборочного контроля представлена на рисунке 4.27.

При использовании двухступенчатого плана выборочного контроля объем первой выборки существенно меньше, чем при использовании одноступенчатого плана. Поэтому при высокой стоимости испытаний или контроля каждой единице продукции двухступенчатый план может оказаться предпочтительнее.

Многоступенчатый план выборочного контроля характеризуется тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля нескольких выборок, максимальное число которых установлено заранее, причем необходимость отбора последующей выборки зависит от результатов контроля предыдущих выборок.

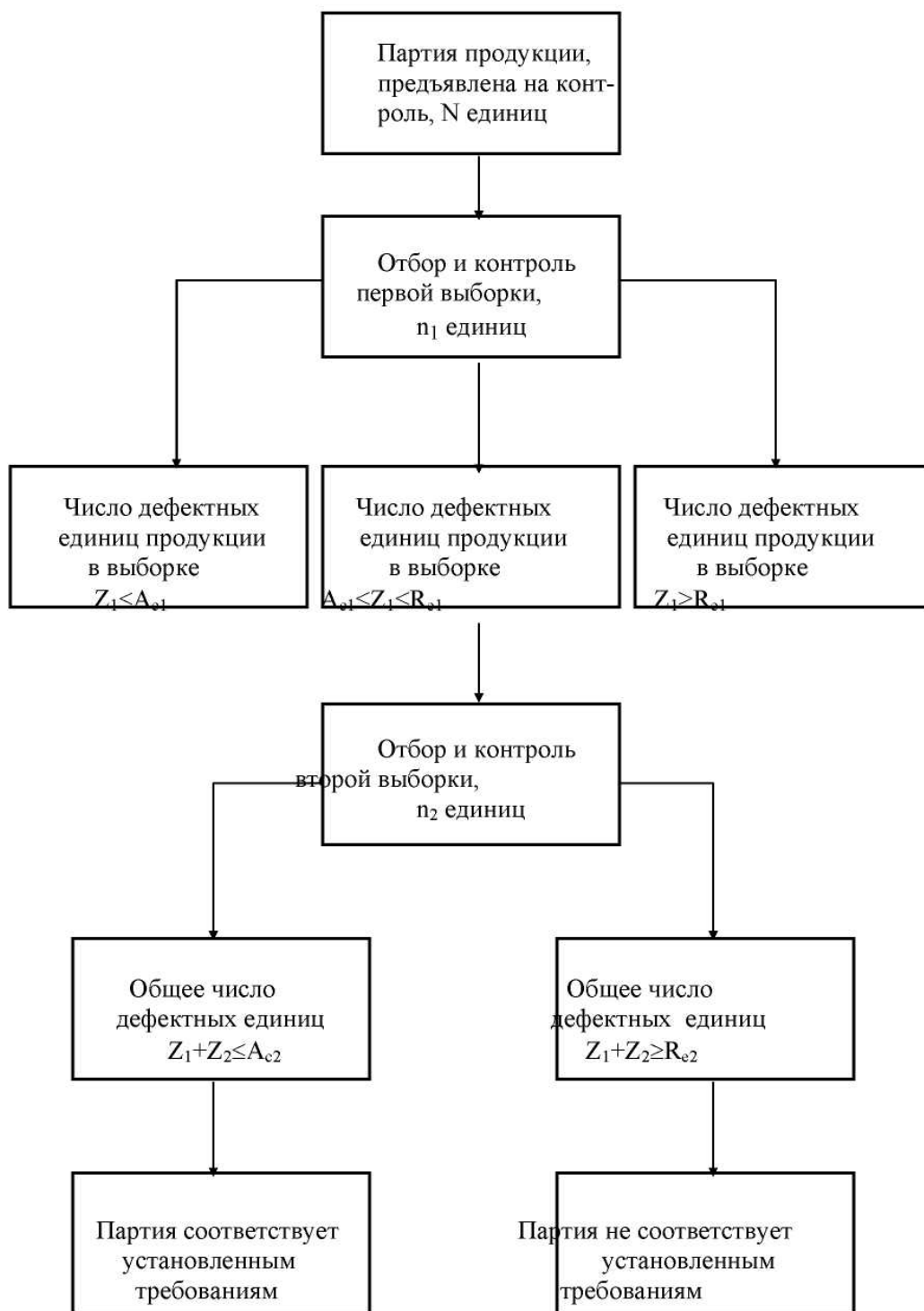


Рисунок 4.27 – Схема двухступенчатого плана выборочного контроля.

Последовательный план выборочного контроля характеризуется тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам нескольких выборок, максимальное число которых заранее не установлено, причем необходимость отбора последующей выборки зависит от результатов контроля предыдущих выборок.

Последовательный план выборочного контроля получил широкое распространение в практике ресурсных испытаний на надежность, когда по

условиям их проведения большое значение придается сокращению объема.

4.5.3.1 Усеченный контроль

Усеченный контроль - это статистический приемочный контроль, который подлежит прекращению в тот момент, когда установлено, что объем полученной информации достаточен для принятия решения о партии продукции. При высокой стоимости контроля или при контроле, связанном с разрушением продукции, возникает необходимость в сокращении единиц продукции, подлежащих контролю, без снижения достоверности результатов контроля. Эта цель может быть достигнута путем замены планов выборочного контроля с фиксированным объемом выборки на соответствующие усеченные планы выборочного контроля. Усеченный контроль в сравнении с исходным планом выборочного контроля имеет такую же оперативную характеристику, риски поставщика и потребителя, предел среднего выходного уровня дефектности, но средний объем выборки значительно меньший. Согласие поставщика и потребителя на проведение усеченного контроля необязательно.

Предположим, что задан одноступенчатый план выборочного контроля с объемом выборки n , приемочным числом Ac и браковочным числом $Re=c+1$. Данный план выборочного контроля можно заменить на усеченный одноступенчатый план выборочного контроля. В этом случае контроль партии продукции осуществляется до выявления $(n-Ac)$ годных единиц продукции - тогда партия принимается, либо до Re дефектных единиц продукции - тогда партия бракуется.

Двухступенчатый план выборочного контроля с объемом выборки $n_1; n_2$, приемочными числами $Ac_1; Ac_2$ и браковочными числами $Re_1; Re_2$ можно заменить на усеченный двухступенчатый план выборочного контроля. При контроле единиц продукции первой выборки можно сразу принять решение: как только будет выявлено (n_1-Ac_1) годных единиц продукции - партия принимается. Если будет выявлено Re_1 дефектных единиц продукции - партия бракуется. Если число дефектных единиц продукции в первой выборке будет больше Ac_1 , но меньше Re_1 то переходят к контролю второй выборки. Если суммарное число годных единиц продукции в обеих выборках будет равно $(n_1+n_2)-Ac_2$, то партия принимается. Если суммарное число дефектных единиц продукции в обеих выборках будет равно Re_2 , то партия бракуется.

Пример 9. Пусть для приемки партии установлен двухступенчатый план выборочного контроля с объемами выборок $n_1=n_2=32$, приемочными числами $Ac_1=2, Ac_2=6$ и браковочными числами $Re_1=5, Re_2=7$. Если при контроле первой выборки будет выявлено $n_1-Ac_1=32-2=30$ годных единиц продукции, то партия принимается; при пяти и более дефектных единицах партия бракуется.

Если будет выявлено дефектных единиц продукции в первой выборке больше Ac_1 , но меньше Re_1 , то следует перейти к контролю второй выборки.

Если суммарное число в обеих выборках будет равно $32+32-6=58$ годных единиц продукции, то партия принимается; при 7 дефектных единицах продукции партия бракуется.

4.5.4 Виды контроля и корректировка плана контроля

В зависимости от результатов приемки контролируемых партий продукции появляется возможность в корректировке планов контроля. Правила корректировки планов контроля, содержащиеся в стандартах на статистический приемочный контроль, являются основным регулирующим фактором во взаимоотношениях между поставщиком и потребителем при оценке результатов контроля качества продукции.

Существуют различные способы и правила корректировки планов выборочного контроля, которые позволяют либо ужесточать требования к контролю при ухудшении результатов приемки контролируемой партии, либо ослаблять требования к контролю при существенном улучшении результатов приемки.

Корректировка планов выборочного контроля может заключаться в изменении объема выборки либо контрольного норматива, т.е. путем изменения риска потребителя β или браковочного уровня дефектности.

При применении СТ СЭВ 293-76 корректировку плана выборочного контроля осуществляют путем чередования сплошного контроля с выборочным в зависимости от числа обнаруженных при этом годных единиц продукции в ходе контроля.

При применении ГОСТ 24660-87 в случае изменения условий производства продукции или ее качества осуществляют оценку среднего входного уровня дефектности. После этого устанавливают план выборочного контроля при условии, что новое значение среднего выходного уровня дефектности соответствует установленным требованиям. Корректировку плана выборочного контроля осуществляют путем изменения среднего относительного уровня затрат на контроль E . Ужесточение контроля достигается за счет увеличения значения E при неизменном значении приемочного уровня дефектности, что приводит к увеличению объема выборки и изменению приемочного числа (т.е. контрольного норматива).

Различают *усиленный, нормальный и облегченный* контроль. На усиленный план выборочного контроля переходят в том случае, если при приемке определенного числа последующих контролируемых партий продукции будут забракованы две из них. На ослабленный план выборочного контроля переходят в том случае, если фактическое значение E будет меньше установленного уровня.

При применении ГОСТ 18242-72 (СТ СЭВ 1673-79) корректировку плана выборочного контроля осуществляют путем использования правил перехода от нормального контроля к усиленному или ослабленному и в обратном направлении.

Нормальный контроль защищает поставщика от большого процента браковки партий продукции с уровнем дефектности, равным или меньшим AQL при стабильном производстве. При нормальном виде контроля поставщик пользуется доверием потребителя до тех пор, пока предъявляемые им партии продукции соответствуют установленным требованиям. Если результаты

выборочного контроля покажут, что средний выходной уровень дефектности больше приемочного уровня дефектности, то поставщик теряет право на доверие, и с целью защиты интересов потребителя следует перейти на усиленный вид контроля, т.е. ужесточить контрольные нормативы.

Если средний входной уровень дефектности меньше AQL и производственный процесс стабилен, то можно переходить к ослабленному контролю, что достигается путем уменьшения объема выборки. С уменьшением объема выборки (при неизменных исходных данных) вероятность приемки партии продукции увеличивается, следовательно, уменьшается риск поставщика и увеличивается риск потребителя. Однако в данном случае потребитель застрахован от приемки дефектной продукции правилом перехода на нормальный контроль сразу же после забракования очередной партии.

Оценить риски поставщика и потребителя можно по оперативным характеристикам, которые приведены в вышеуказанном стандарте как для нормального, так и для усиленного вида контроля. Для наглядности на рисунке 4.28 приведены оперативные характеристики, которые построены при разных исходных данных: объем партии - 1000 единиц, код объема выборки J , $AQL=4\%$, $Ac=7$ при нормальном виде контроля и $Ac=5$ при усиленном виде контроля.

Из приведенных графиков видно, что при переходе с нормального вида контроля на усиленный риск потребителя (при $LQ=14,2\%$) уменьшается с 10% до 3%, а риск поставщика увеличивается с 2% до 10%. Такое положение постоянно заставляет поставщика заниматься повышением качества продукции и существенно снижать средний входной уровень дефектности.

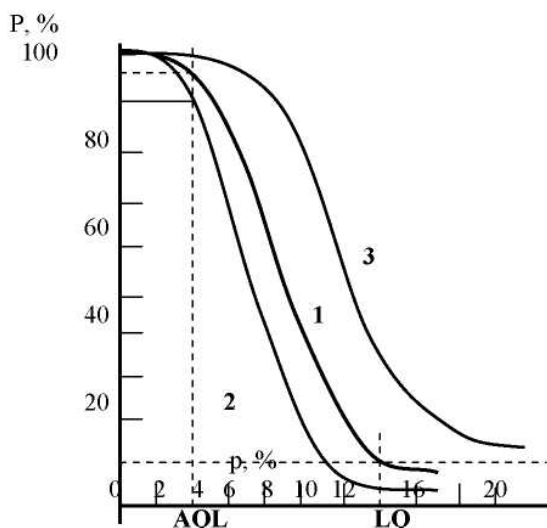


Рисунок 4.28 – Оперативная характеристика плана контроля:

1 - нормальный вид контроля; 2 - усиленный вид контроля; 3 - ослабленный вид контроля.

4.5.4.1 Уровень контроля

Уровень контроля — это характеристика плана контроля, увязывающая объем выборки с объемом партии или потоком продукции. Уровни контроля

определяют относительный объем контроля и позволяют при заданном объеме партии варьировать объемом выборки.

С изменением объема выборки меняются и контрольные нормативы. Зависимость объема выборки от объема партии продукции объясняется тремя причинами:

- при малых объемах выборки трудно гарантировать достоверность результатов оценки партии продукции;
- по мере увеличения объема выборки партии с низким уровнем дефектности имеют большую вероятность быть принятыми, партии с высоким уровнем дефектности имеют большую вероятность быть забракованными;
- для большой партии продукции большой объем выборки экономически оправдан, для малой партии большой объем выборки экономически нецелесообразен.

При переходе от одного уровня контроля к другому риск поставщика меняется несущественно. Интересы потребителя, если переход связан с уменьшением объема выборки, затрагиваются существенно, поскольку увеличивается его риск принять бракованную партию продукции.

Уровни контроля отличаются друг от друга объемом выборки и требованиями к контролю, что выражается крутизной оперативной характеристики.

4.6 ОРГАНИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРИЁМОЧНОГО КОНТРОЛЯ ПО АЛЬТЕРНАТИВНОМУ ПРИЗНАКУ

Данный вид контроля может применяться при статистическом приёмочном контроле по альтернативному признаку для всех видов продукции, полуфабрикатов, комплектующих изделий и материалов, и изложен в ГОСТ 18242-72 (СТ СЭВ 1673-79).

Для выбора плана выборочного контроля необходимо установить:

- объём партии;
- виды дефектов (если контроль осуществляется с классификацией дефектов);
- уровень контроля;
- приёмочный уровень дефектности AQL;
- тип плана выборочного контроля;
- вид контроля.

Схема выбора плана выборочного контроля представлена на рисунке 4.29.



Рисунок 4.29 – Схема выбора плана выборочного контроля.

Рассмотрим принципы определения основных показателей при организации статистического приёмочного контроля по альтернативному признаку.

Объём партии. Если при статистических методах регулирования ТП отбор единиц продукции в выборку осуществляется через заранее установленные промежутки времени или количество единиц продукции, то при статметодах приёмочного контроля единицы продукции вначале объединяются в партию, а затем из этой партии отбирается выборка необходимого объёма, причём контроль проводится по каждой партии отдельно.

Число единиц продукции, составляющих партию, называется **объёмом партии**.

Объём партии обычно указывается в нормативно-технических документах и определяется исходя из следующего:

- продукция, составляющая партию, должна быть однородной, чтобы внутри неё не было продукции, изготовленной из разных партий сырья или в

различных производственных условиях;

- не следует устанавливать объём партии, при изготовлении которой будут иметь место плановые наладки технологического оборудования или запуск в производство новой партии сырья или комплектующих;

Объём контролируемой партии может устанавливаться в НТД как одним числом (10,100), так и предельными числами (90-120), (151-280) и т.д. Контролируемые партии продукции могут предъявляться на контроль в виде одиночных партий или последовательности партий.

При предъявлении одиночной партии решение о приёмке или браковке партии принимается по результатам контроля данной партии с учётом результатов контроля предшествующих партий.

При контроле у *поставщика* контроль одиночной партии назначается:

- когда контрольные партии продукции производятся из различных партий сырья, материалов, комплектующих;
- когда частота наладок технологического оборудования не меньше частоты производства контролируемых партий продукции;
- когда одна и та же технологическая операция для различных контролируемых партий производится на различных единицах технологического оборудования.

При контроле у *потребителя* контроль одиночной партии назначается:

- когда поступающие партии продукции изготовлены различными изготовителями или поступают от разных поставщиков;
- когда партии продукции поступают разрозненно через большие интервалы времени.

Виды дефектов. Классификация дефектов осуществляется на:

- критические;
- значительные;
- малозначительные.

Параметры или свойства продукции, нарушение которых приводит к критическим дефектам, следует подвергать сплошному контролю или испытаниям. Если единственным методом проверки является разрушающий, то можно проводить выборочный контроль вместо сплошного. В этом случае $Ac=0$, $Re=1$. Объём выборки определяется по формуле

$$n = \frac{k}{q} \quad (4.6.1)$$

где k - коэффициент, зависящий от риска появления одной дефектной единицы продукции в выборке и определяемый по выражению

$$k = 230,26 \cdot \ln N \left(\frac{1}{\text{риск}} \right) \quad (4.6.2)$$

где q - максимально допустимый процент дефектных единиц продукции в партии.

Пример 10.

Пусть на разрушающий контроль предъявляется партия 10000 ед.

продукции. Максимально допустимый процент единиц продукции с критическим дефектом 2%. Риск появления дефектных единиц - одна дефектная единица в партии. Требуется определить план выборочного контроля.

Решение:

Объём выборки определяем по формуле

$$n = \frac{k}{q} = \frac{k}{2} = \frac{921,04}{2} = 460,52$$

где $k = 230,26 \cdot \lg 10000 = 921,04$

Следовательно, план выборочного контроля имеет параметры: $n=461$; $A_c=0$; $R_e=1$.

Продукция со значительными и малозначительными дефектами может проверяться сплошным или выборочным контролем. В случае выборочного контроля каждой группе дефектов должен быть назначен свой приёмочный уровень дефектности, например:

<i>Класс дефекта:</i>	<i>Приёмочный уровень дефектности, % :</i>
Значительный	0,4
Малозначительный	1,5

В этом случае имеется два плана выборочного контроля, соответствующие этим приёмочным уровням дефектности. Если партия удовлетворяет обоим планам, она будет принята. Если партия не удовлетворяет хотя бы одному плану или обоим вместе, она будет забракована.

Во многих случаях продукция разбивается более чем на два класса, т.е. продукция принимается по нескольким планам выборочного контроля и решение по каждому плану принимается отдельно, как и в предыдущем случае.

Уровень контроля. ГОСТ 18242-72 (СТ СЭВ 1673-79) содержит семь уровней контроля: I, II, III - общие; S - 1, S - 2, S-3, S-4- специальные.

Основным для применения является уровень контроля II.

Уровень контроля I даёт объём выборки меньше половины объёма выборки уровня контроля II. Уровень контроля III даёт объём выборки в полтора раза больше объёма выборки уровня контроля II. Специальные уровни контроля используются тогда, когда объём выборки должен быть небольшим. Уровень контроля должен быть установлен в нормативно-технической документации на конкретный вид продукции.

Приёмочный уровень дефектности AQL. Как отмечалось ранее, приёмочный уровень дефектности *AQL* устанавливается по согласованию между поставщиком и потребителем, при этом потребитель рассматривает *AQL* как соответствующий его требованиям, а поставщик должен предъявлять на контроль партии продукции с фактическим уровнем дефектности не больше приёмочного. В таблицах стандарта приведены значения *AQL* от 0,1% до 10% для доли дефектности и от 10 до 1000 дефектов для числа дефектов на 100 единиц продукции.

Типы планов выборочного контроля. В стандарте содержатся

следующие типы планов выборочного контроля: *одноступенчатые, двухступенчатые, многоступенчатые и последовательные.*

Для определения соответствия партии установленным требованиям при одноступенчатом методе необходимо:

- отобрать случайным образом выборку объемом, указанным в принятом плане выборочного контроля;
- проверить каждую единицу продукции в выборке на соответствие установленным требованиям;
- сравнить найденное число дефектных единиц продукции в выборке с приёмочным Ac и браковочным Re числами;
- считать партию продукции соответствующей установленным требованиям, если число дефектных единиц продукции в выборке меньше или равно приёмочному числу Ac для данного плана контроля;
- считать партию не соответствующей установленным требованиям, если число дефектных единиц продукции в выборке равно или больше браковочного числа Re для данного плана контроля. Схема одноступенчатого плана выборочного контроля представлена на рисунке 4.26.

При использовании двухступенчатого плана выборочного контроля необходимо:

- отобрать случайным образом выборку объемом, указанным для первой ступени плана контроля;
- проверить каждую единицу продукции в выборке на соответствие установленным требованиям;
- сравнить найденное число дефектных единиц продукции в выборке с приёмочным Ac и браковочным Re числами, указанными для первой ступени плана выборочного контроля;
- считать партию продукции соответствующей установленным требованиям, если число дефектных единиц продукции, найденных в выборке для первой ступени, меньше или равно Ac ;
- считать партию продукции не соответствующей установленным требованиям, если число дефектных единиц продукции, найденных в выборке для первой ступени, равно или больше Re ;
- перейти к контролю на второй ступени, если число дефектных единиц продукции, найденных в выборке на первой ступени, больше Ac , но меньше Re .

В случае перехода к контролю на второй ступени необходимо:

- отобрать случайным образом выборку такого же объема, как на первой ступени;
- проверить каждую единицу продукции в выборке на соответствие установленным требованиям;
- пересчитать дефектные единицы продукции, найденные в выборке для второй ступени;
- суммировать дефектные единицы продукции, найденные на второй ступени контроля, с дефектными единицами продукции, найденные на первой ступени контроля;
- сравнить полученное общее число дефектных единиц продукции с Ac и Re

второй ступени плана выборочного контроля;

- считать партию продукции соответствующей установленным требованиям, если общее число дефектных единиц продукции меньше или равно Ac для второй ступени плана выборочного контроля;

- считать партию продукции соответствующей установленным требованиям, если общее число дефектных единиц продукции меньше, равно или больше Re для второй ступени плана выборочного контроля.

Схема двухступенчатого плана выборочного контроля представлена на рисунке 4.27.

Пример 11.

Дано: объём партии 1000 единиц продукции; тип плана выборочного контроля - двухступенчатый; уровень контроля II; вид контроля - нормальный; $AQL = 1\%$. Необходимо найти план выборочного контроля и сделать заключение относительно приёмки партии продукции.

Решение: По таблице стандарта для $N=1000$ ед. продукции, уровню контроля II находим код объёма выборки. По коду объёма выборки и $AQL=1\%$ по соответствующей таблице стандарта находим $n_1 = 50$; $n_2 = 50$; $Ac_1 = 0$; $Ac_2 = 3$; $Re_1 = 3$; $Re_2 = 4$.

Из партии $N=1000$ ед. случайным образом отбираем выборку $n_1=50$ ед. и подвергаем её сплошному контролю. Например, в результате контроля обнаружена одна дефектная единица продукции, т.е. партию принимать нельзя, т.к. $Ac_1=0$ и браковать также нельзя, т.к. $Re_1=3$. Поэтому переходим к контролю второй ступени объёмом $n_2=50$ ед. и подвергаем её контролю. Например, в результате контроля второй ступени обнаружено две дефектные единицы. В результате сравнения количества дефектных единиц продукции в двух выборках с приёмочным и браковочным числами Ac_2 и Re_2 , имеем $1+2=3=Ac_2$. Следовательно, предъявленная на контроль партия продукции соответствует установленным требованиям и должна быть принятой.

Пример 12.

Для контроля готовой продукции изготовителю необходимо определить планы контроля единиц продукции с двумя классами дефектов при следующих значениях приемочного уровня качества:

- для значительных дефектов - 0,4 %;
- для малозначительных дефектов - 5 %.

Объём поступающих партий 1400 - 1600 шт., уровень контроля - II. Необходимо определить объём выборок, приемочные и браковочные числа для одноступенчатого плана контроля и построить оперативные характеристики.

Решение: По таблице стандарта для $N=1400 \div 1600$ шт. и для уровня контроля II определяем код объёма выборки, равный K. По коду объёма выборки и соответствующим значениям приемочного уровня качества определяем объёмы выборок, приемочные и браковочные числа для различных видов контроля. Результаты определения параметров представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Результаты контроля

Классы дефектов	Усиленный контроль		Нормальный контроль		Облегченный контроль	
	n	<i>Ac, Re</i>	n	<i>Ac, Re</i>	n	<i>Ac, Re</i>
Значительные	200	1/2	125	1/2	50	1/2
Малозначительные	125	12/13	125	14/15	50	7/10

Построим оперативные характеристики для усиленного и нормального планов контроля. Воспользуемся табличными значениями квантилей оперативных характеристик для соответствующих уровней качества. Полученные значения сведем в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 – Параметры оперативных характеристик

Значение ординаты <i>P</i>	Значение абсциссы <i>q</i> в % для контроля			
	Усиленный		Нормальный	
	Значительные дефекты	Малозначительные дефекты	Значительные дефекты	Малозначительные дефекты
100	0	0	0	0
99	0,075	5,17	0,218	6,29
95	0,178	6,22	0,409	7,45
90	0,266	6,84	0,551	8,12
80	0,410	7,63	0,770	8,93
50	0,839	9,33	1,340	10,8
20	1,50	11,32	2,140	13,03
10	1,95	12,4	2,660	14,1
5	2,37	13,3	3,150	15,1
1	3,32	15,3	4,20	17,2
0	100	100	100	100

Графическая иллюстрация полученных результатов приведена на рисунке 4.30.

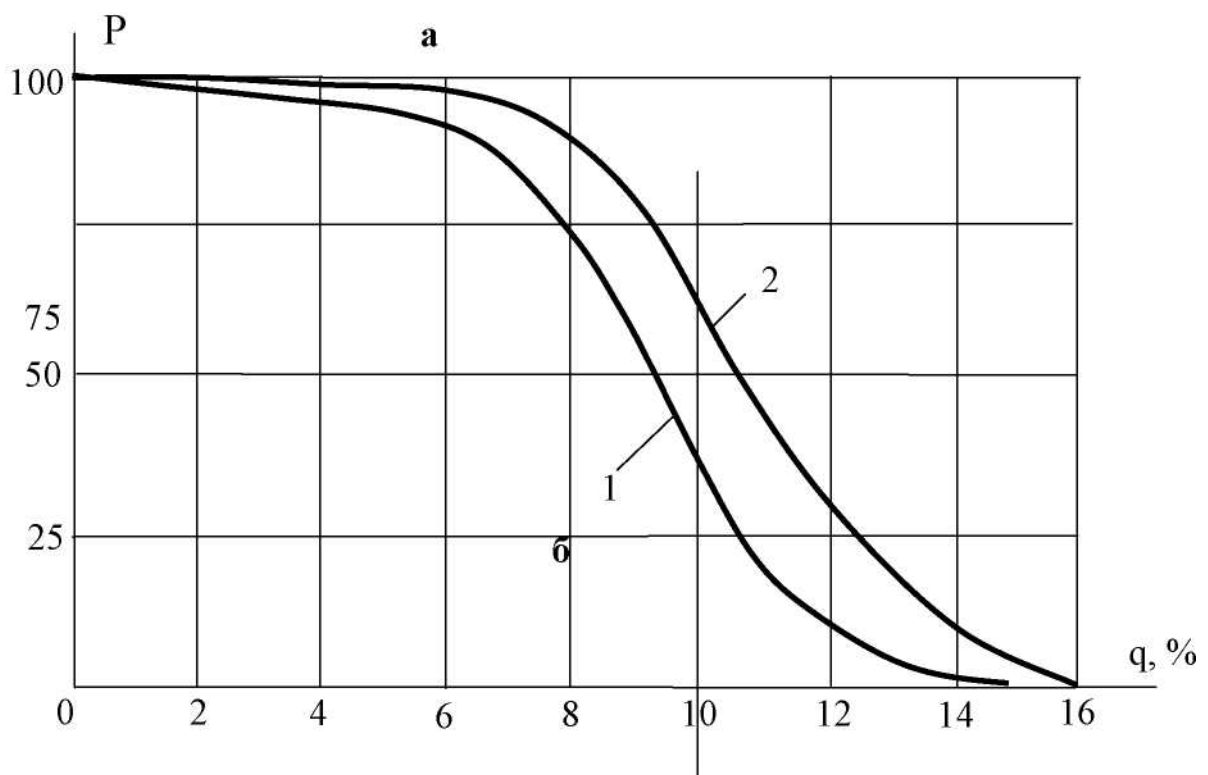
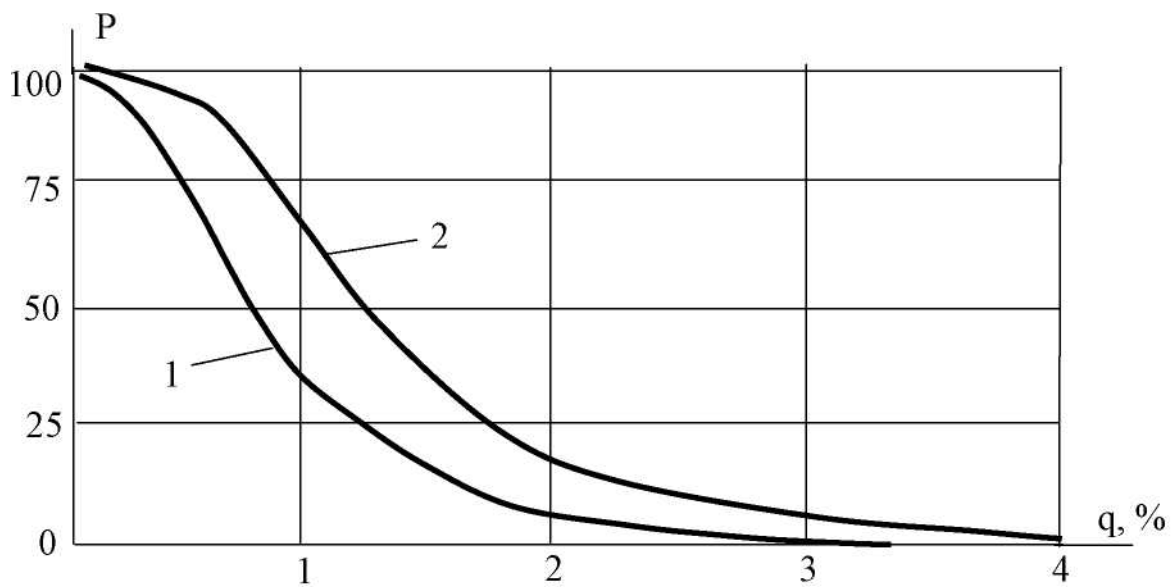


Рисунок 4.30 – Оперативные характеристики рассчитанного плана контроля:
 а) для значительных дефектов; б) для малозначительных дефектов. 1 - усиленный контроль; 2 - нормальный контроль.

4.7 ОРГАНИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРИЁМОЧНОГО КОНТРОЛЯ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ПРИЗНАКУ

Государственный стандарт ГОСТ 20736-75 (СТ СЭВ 1672-79) является основополагающим стандартом при контроле качества продукции по количественному признаку и содержит одноступенчатые планы выборочного контроля. Стандарт может быть использован для контроля всех видов штучной продукции, поступающей на контроль в виде одиночных партий и последовательности партий при нормальном распределении одного или двух контролируемых параметров.

Контроль по количественному признаку заключается в том, что у единиц продукции измеряют численные значения контролируемого параметра, вычисляют выборочное среднее арифметическое значение \bar{X} и оценивают его отклонение Q от значений одной верхней T_v или нижней T_n или двух заданных границ.

Выбор плана выборочного контроля. Для выбора плана выборочного контроля необходимо установить:

- объём партии продукции;
- уровень контроля;
- приёмочный уровень дефектности AQL ;
- вид контроля;
- среднее квадратическое отклонение или метод его оценки;
- способ контроля.

Схема выборочного плана контроля представлена на рисунке 4.31.

Уровень контроля. Стандарт устанавливает пять уровней контроля: I, II, III - общие, S - 3 и S - 4 - специальные. Основным для применения является II уровень контроля.

Приёмочный уровень дефектности. В таблицах стандарта содержится 14 значений AQL в диапазоне от 0,04 до 15. Стандартом предусмотрено установление:

- двух разных значений AQL - для верхней и нижней границ контролируемого параметра;
- одного значения AQL для верхней и нижней границ контролируемого параметра.

Виды контроля. В стандарте установлено три вида контроля: нормальный, усиленный и ослабленный. Планы выборочного контроля для нормального и усиленного контролей выбираются из одних и тех же таблиц стандарта; для ослабленного контроля приведены отдельные таблицы.

Среднее квадратическое отклонение или метод его оценки. При контроле по количественному признаку в ряде случаев среднее квадратическое отклонение σ контролируемого параметра заранее бывает известно либо неизвестно. Если σ известно, то используется σ - план выборочного контроля. Данный метод предусматривает наименьший объём выборки по сравнению с другими методами и требует меньше вычислений.

Если σ неизвестно, стандарт предусматривает два метода его оценки: по выборочному среднему квадратическому отклонению S и по размаху R . В первом случае используется S -план выборочного контроля, во - втором случае - R -план выборочного контроля. При выборе первого или второго метода следует иметь в виду, что S -метод требует меньшего объема выборки, чем R -метод и даёт более точный результат.

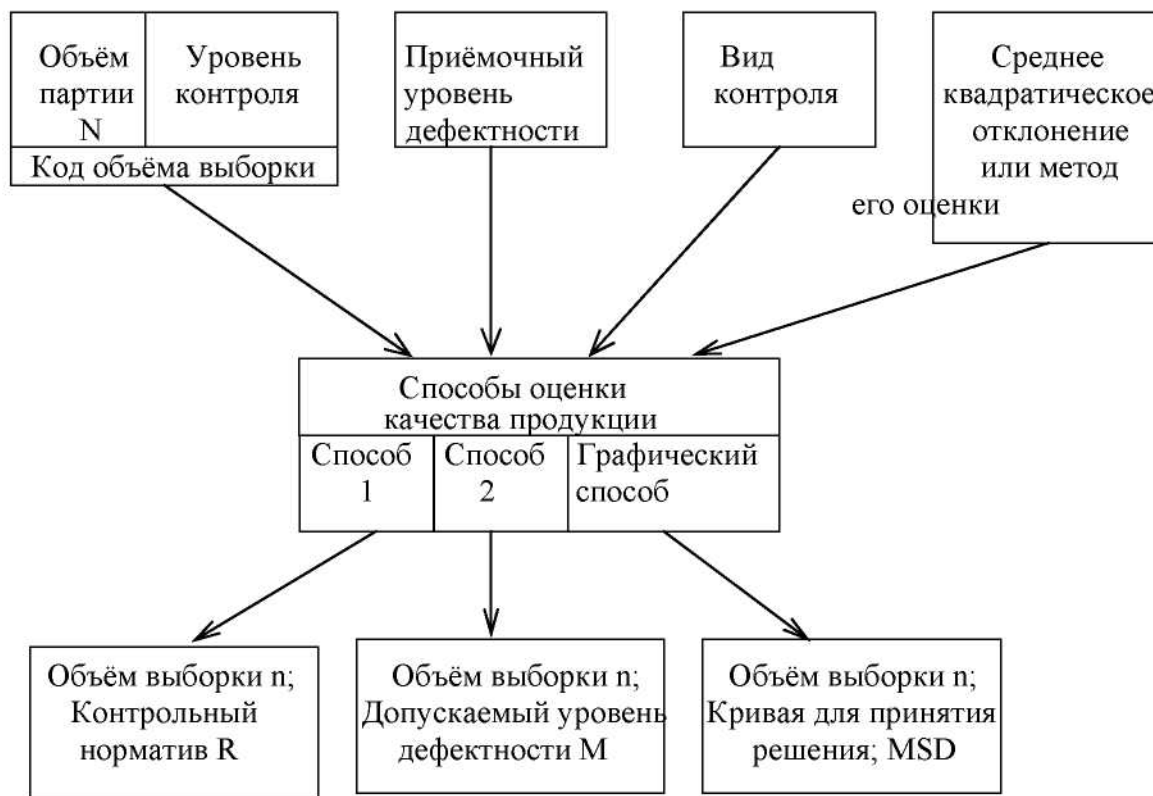


Рисунок 4.31 – Схема выбора плана контроля.

Способ контроля. Стандартом предусмотрены три способа выбора плана выборочного контроля. В основе первого лежит известный в литературе K -способ; в основе второго - нахождение входного уровня дефектности; третьего - графический способ.

Первый способ заключается в том, что вычисленное отклонение Q сравнивается со значением контрольного норматива K (K_S, K_R, K_σ), который находится из таблиц стандарта. Если $Q \geq K$, то партию принимают; если $Q < K$ или хотя бы одна из величин Q отрицательна, то партию бракуют.

Второй способ заключается в том, что по вычисленному отклонению Q и объёму выборки с помощью таблиц стандарта находят оценочное значение p входного уровня дефектности. Величину p сравнивают с допустимым уровнем дефектности M (M_S, M_R, M_σ), значение которого находят из таблиц стандарта.

Если $p < M$, то партию принимают; если $p > M$ или хотя бы одна величина отрицательна, то партию бракуют.

Если заданы две границы контролируемого параметра, то следует выбирать второй способ контроля. Если задана одна граница контролируемого

параметра, то возможен выбор между первым и вторым способами.

Графический способ заключается в том, что по значениям границы контролируемого параметра, среднего арифметического значения \bar{X} и среднего квадратического отклонения определяют точки $\sigma/T_B - T_H$ и $\bar{X} - T_H / T_B - T_H$, которые заносят на номограмму и по расположению этих точек принимают решение относительно партии продукции. Аналогичным образом определяют точки и для S -планов или R -планов выборочного контроля.

Порядок проведения контроля. Рассмотрим выбор плана выборочного контроля, когда дисперсия контролируемого параметра неизвестна и оценивается по выборочной дисперсии (S -план).

Случай первый. Контроль при одной заданной границе контролируемого параметра.

Способ первый. По заданному объёму партии и уровню контроля по стандарту находят код объёма выборки. По коду объёма выборки и установленному AQL по таблицам стандарта находят объём выборки и контрольный норматив k_s . Далее из n измеренных значений выборки контролируемого параметра вычисляют:

- среднее арифметическое значения

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.7.1)$$

где X_i - значение контролируемого параметра для i -й единицы продукции выборки;

- выборочное среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4.7.2)$$

- величину отклонения $Q_B = \frac{T_B - \bar{X}}{S}$ или $Q_H = \frac{\bar{X} - T_H}{S}$ в зависимости от

того, какая граница (верхняя или нижняя) контролируемого показателя задана.

Если $Q_B \geq k_s$ или $Q_H \geq k_s$, то партия принимается. Если $Q_B < k_s$ или $Q_H < k_s$, или хотя бы одна из величин Q_B или Q_H отрицательна, то партия бракуется.

Способ второй. По заданному объёму партии и уровню контроля по таблице стандарта находят код объёма выборки. По коду объёма выборки и установленному AQL по таблицам стандарта находят объём выборки и допустимый уровень дефектности M_s . Аналогично вычисляют значения \bar{X} , S , Q_B или Q_H . По значению Q_B или Q_H и объёму выборки по таблице стандарта находят оценочное значение p_B или p_H .

Если оценочное значение $p_B \leq M_s$, то партию принимают. Если оценочное значение $p_B \geq M_s$ или хотя бы одна из величин Q_B или Q_H отрицательна, то партию бракуют.

Случай второй. Контроль при двух заданных границах контролируемого параметра.

1. Верхней и нижней границам контролируемого параметра соответствуют разные AQL (AQL_e и AQL_n).

Способ первый. По заданному объёму партии и уровню контроля

находят код объёма выборки и соответственно по коду объёма выборки и AQL_{L_6} и AQL_{L_H} из таблиц стандарта находят объём выборки и два контрольных норматива k_{S_6} и k_{S_H} и вычисляют значения \bar{X} , S , Q_B , Q_H .

Если $Q_B \geq k_{S_6}$ и $Q_H \geq k_{S_H}$, то партию принимают. Если $Q_B < k_{S_6}$ или $Q_H < k_{S_H}$, или хотя бы одна из величин Q_B или Q_H отрицательна, то партию бракуют.

Способ второй. По заданному объёму партии и уровню контроля находим код выборки. По коду объёма выборки и AQL_B и AQL_H по таблицам стандарта находят объём выборки и два допускаемых уровня дефектности M_{S_6} и M_{S_H} и вычисляют значения \bar{X} , S , Q_B , Q_H . По значению Q_B или Q_H и объёму выборки находят оценочное значение p_B и p_H входного уровня дефектности, а также определяют $p = p_B + p_H$. Если оценочное значение $p_B \leq M_{S_6}$, $p_H \leq M_{S_H}$ и p меньше или равно большему из M_{S_6} и M_{S_H} , то партию принимают. Если оценочное значение $p_B > M_{S_6}$ или $p_H > M_{S_H}$ или хотя бы одна из величин Q_B или Q_H отрицательна, то партия бракуется.

2. Верхней и нижним границам контролируемого параметра соответствует одно значение AQL .

По заданному объёму партии и уровню контроля по таблице стандарта находят код объёма выборки. По коду объёма выборки и AQL находят объём выборки и допускаемый уровень дефектности M_S и определяют \bar{X} , S , Q_B или Q_H . По значению Q_B или Q_H и объёму выборки определяют оценочное значение p_B или p_H входного уровня дефектности, а также определяют $p = p_B + p_H$. Если оценочное значение $p \leq M_S$, то партию принимают. Если $p > M_S$ или хотя бы одна из величин Q_B или Q_H отрицательна, то партия бракуется.

Графический способ. По заданному объёму партии и уровню контроля находим код объёма выборки. По коду объёма выборки из таблиц стандарта

находят объём выборки и определяют \bar{X} , S и с их помощью величины $\frac{S}{T_B - T_H}$ и $\frac{\bar{X} - T_H}{T_B - T_H}$. По объёму выборки и AQL по стандарту выбирают

соответствующую кривую. Значение $\left(\frac{S}{T_B - T_H}, \frac{\bar{X} - T_H}{T_B - T_H} \right)$ наносят на номограмму.

Если эта величина будет расположена внутри кривой, то партию принимают, если нет - то партию бракуют. Если необходимо принять решение с помощью максимального среднего квадратического отклонения MSD , то сначала по значению объёма выборки и AQL следует найти коэффициент f , а затем определить $MSL = f \cdot (T_B - T_H)$. Если $S > MSD$, то партия бракуется.

4.8 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ

4.8.1 Общие положения Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь (НСПС РБ)

Оценка соответствия продукции, услуг, систем управления качеством, персонала и других объектов оценки соответствия заданным требованиям может проводиться: **первой стороной** – проводит сам производитель, **второй** – проводит потребитель на оборудовании производителя и **третьей** – независимой от производителя и потребителя. При подтверждении соответствия наиболее достоверными являются результаты испытаний «третьей стороной»: лицом или органом, не зависящим ни от поставщика (производителя), ни от покупателя (потребителя). Тем не менее, НСПС РБ предусматривает применение не только сертификации с участием третьей, независимой стороны, но и декларирование соответствия продукции установленным требованиям изготовителем (поставщиком), что широко применяется в зарубежной практике.

Оценка соответствия – это деятельность по определению соответствия объектов оценки соответствия требованиям технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации (ТНПА). Виды соответствия приведены на рисунке 4.32.

Оценка соответствия (испытания, измерения, подтверждение соответствия, аккредитация, контроль) – это инструмент, позволяющий государству в максимальной степени оградить промышленность и своих граждан от приобретения и потребления опасной и недоброкачественной продукции, создать условия для обеспечения свободного перемещения продукции на внутреннем и внешнем рынках, а также обеспечить участие республики в международном экономическом, научно-техническом сотрудничестве и международной торговле.

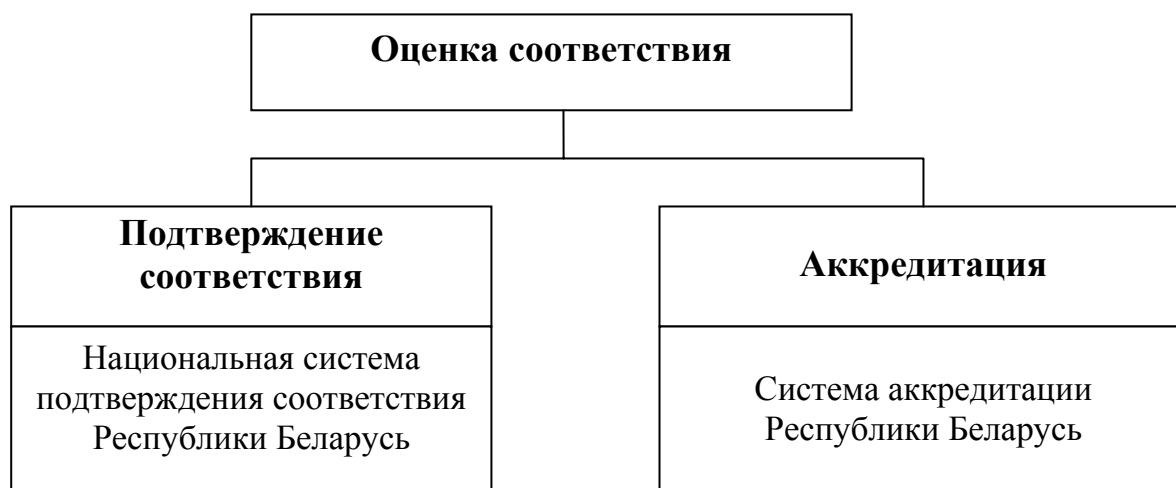


Рисунок 4.32 – Виды соответствия

Подтверждение соответствия – это вид оценки соответствия, результатом осуществления которого является документальное удостоверение соответствия объекта оценки соответствия требованиям ТНПА (рисунок 4.33).

Форма подтверждения соответствия – установленный порядок документального удостоверения соответствия объекта оценки соответствия требованиям ТНПА.

НСПС РБ – это установленная совокупность субъектов оценки соответствия, нормативных правовых актов и ТНПА, определяющих правила и процедуры подтверждения соответствия и функционирования системы в целом.

Целями НСПС РБ являются:

- удостоверение соответствия объектов оценки соответствия требованиям ТНПА;
- содействие потребителям в компетентном выборе продукции (услуг);
- защита отечественного рынка от недоброкачественной и небезопасной продукции;
- снижение технических барьеров в торговле;
- содействие повышению качества и конкурентоспособности отечественной продукции.



Рисунок 4.33 – Подтверждение соответствия

Общее руководство НСПС РБ, организацию и координацию работ по реализации целей Системы в соответствии с законодательством осуществляет Национальный орган по оценке соответствия РБ (сегодня это Госстандарт РБ).

Схемы сертификации, используемые в Системе, основываются на схемах, принятых в Международной организации по стандартизации (ИСО).

Схемы декларирования соответствия, используемые в Системе, учитывают принятый в Европейском союзе (ЕС) модульный подход по подтверждению соответствия.

Деятельность по подтверждению соответствия в РБ основывается на Законах РБ «Об оценке соответствия требованиям ТНПА», «О техническом нормировании и стандартизации», «О защите прав потребителей».

Системой предусматриваются следующие виды деятельности:

- сертификация продукции;
- декларирование соответствия продукции;
- сертификация услуг;
- сертификация СУК (систем менеджмента качества, систем качества на основе принципов анализа риска и критических контрольных точек (НАССР), принципов надлежащей производственной практики (GMP), систем управления окружающей средой (систем экологического менеджмента) и других систем управления;
- сертификация профессиональной компетентности персонала (сертификация персонала);
- инспекционный контроль за сертифицированной продукцией, услугами, системами управления и персоналом;
- подготовка и сертификация экспертов-аудиторов по качеству;
- организационно-методическая помощь в области подтверждения соответствия;
- ведение реестра НСПС РБ (реестра Системы);
- ведение Государственного кадастра служебного и гражданского оружия и боеприпасов (кадастра).

Структура технических нормативных правовых актов НСПС РБ приведена на рисунке 4.34.

Юридическим лицам всех форм собственности и индивидуальным предпринимателям, подтвердившим соответствие своих продукции, услуг, систем управления установленным требованиям в рамках Системы, предоставляется право в установленном порядке маркировать знаками соответствия Системы продукцию, эксплуатационную и товаросопроводительную документацию, рекламные материалы.

Виды знаков соответствия, порядок применения, форма, размеры, технические требования к знакам соответствия Системы, правила маркировки установлены в ТКП 5.1.08-2004.

Участниками подтверждения соответствия в Системе являются:

- Национальный орган по оценке соответствия РБ;
- аккредитованные органы по сертификации;
- аккредитованные испытательные лаборатории (центры);
- центры подготовки экспертов-аудиторов по качеству, уполномоченные Национальным органом по оценке соответствия РБ (уполномоченные центры подготовки экспертов-аудиторов по качеству);

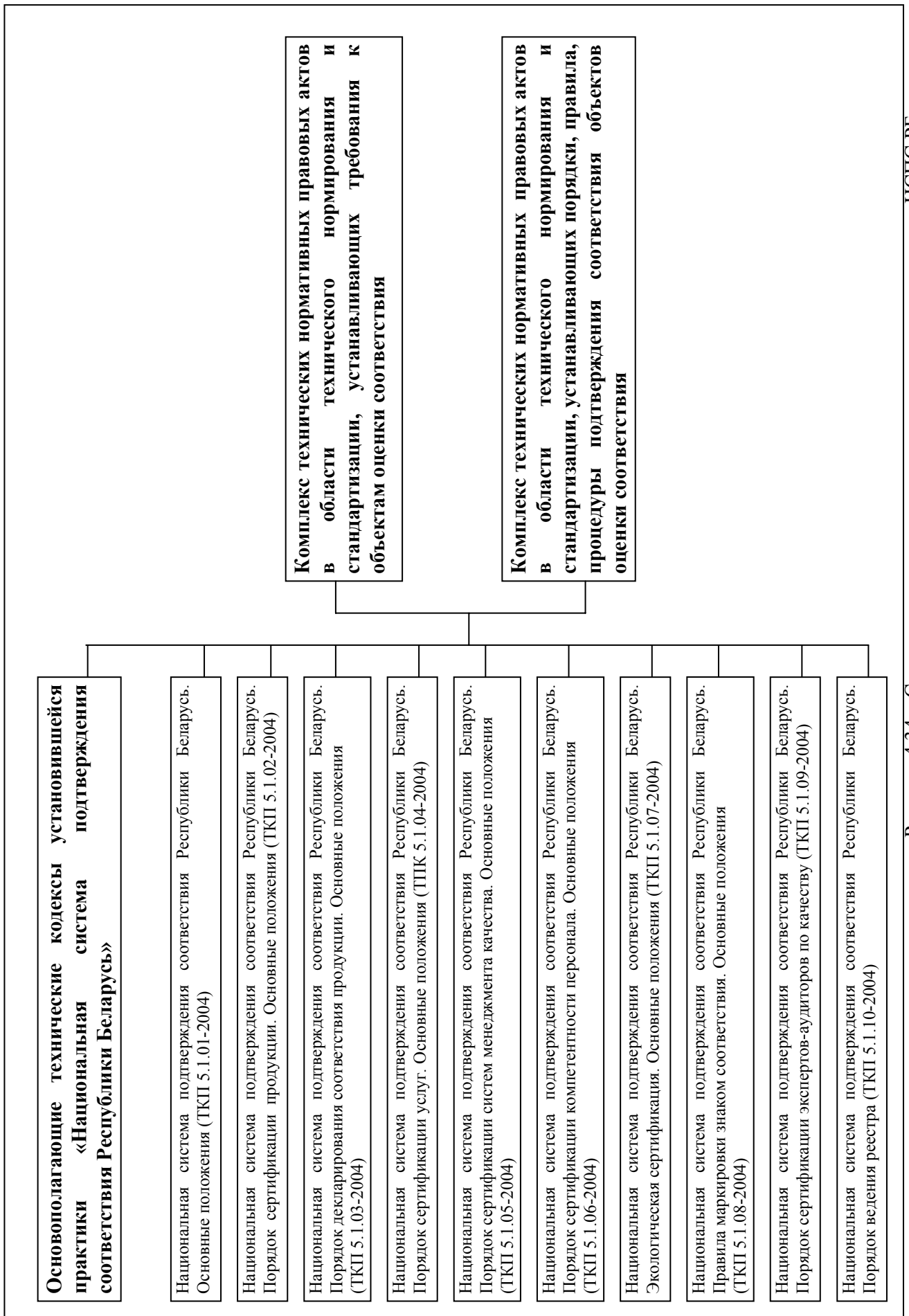


Рисунок 4.34 – Структура технических нормативных правовых актов НСПС РБ

- организационно-методические центры по подтверждению соответствия, уполномоченные Национальным органом по оценке соответствия РБ;
- сертифицированные эксперты-аудиторы по качеству;
- сертифицированный персонал;
- изготовители (продавцы) продукции;
- исполнители услуг.

Требования Системы едины и обязательны для исполнения всеми субъектами оценки соответствия.

В рамках Системы предусмотрена ответственность за соблюдение конфиденциальности информации, получаемой в результате взаимодействия участников подтверждения соответствия, кроме случаев, когда продукция, услуга, деятельность персонала представляют опасность для жизни, здоровья и наследственности людей, имущества и окружающей среды. Такая продукция должна быть в соответствии с законодательством РБ исключена из обращения, а услуга и деятельность персонала запрещены.

Официальными языками НСПС РБ являются белорусский и русский. Все документы в рамках Системы оформляются на белорусском или русском языках.

Оплата работ по подтверждению соответствия осуществляется заявителем на подтверждение соответствия (заявителем) в соответствии с трудоемкостью выполнения работ, утвержденной Госстандартом.

4.8.2 Структура НСПС РБ и основные функции ее органов

Структуру НСПС РБ образуют (рисунок 4.35):

- Национальный орган по оценке соответствия РБ;
- Совет Системы;
- Апелляционный совет Системы;
- аккредитованные органы по сертификации продукции, услуг, систем управления качеством, систем управления окружающей средой, персонала;
- организационно-методические центры по подтверждению соответствия;
- уполномоченные центры подготовки экспертов-аудиторов по качеству;
- штат экспертов-аудиторов по качеству.



Рисунок 4.35 – Структура НСПС РБ

Национальный орган по оценке соответствия РБ. Основными функциями Национального органа по оценке соответствия РБ являются:

- реализация единой государственной политики РБ в области подтверждения соответствия;

- участие в установленном порядке в разработке проектов законодательных и иных нормативных правовых актов по вопросам подтверждения соответствия;

- разработка принципов построения Системы;

- разработка и совершенствование основополагающих ТНПА Системы;

- организация, проведение и координация работ, обеспечивающих функционирование Системы;

- утверждение трудоемкости выполняемых работ по подтверждению соответствия;

- взаимодействие с государственными органами законодательной и исполнительной власти по вопросам подтверждения соответствия;

- представление РБ в международных и межгосударственных (региональных) организациях, занимающихся вопросами оценки соответствия;

- взаимодействие с национальными органами по оценке соответствия других стран и международными организациями по вопросам подтверждения соответствия;

- подготовка решений Правительства РБ о присоединении к международным системам подтверждения соответствия (сертификации) и подготовка межгосударственных соглашений по подтверждению соответствия;

- сертификация экспертов-аудиторов по качеству;

- заключение в пределах своих полномочий международных договоров межведомственного характера;

- регистрация организаций, занимающихся консалтинговой деятельностью в области управления качеством и подтверждения соответствия;

- организация проведения и повышения квалификации экспертов-аудиторов по качеству, специалистов органов по сертификации и организаций;

- утверждение учебных программ в области подтверждения соответствия и управления качеством;

- определение формы, содержания, срока действия документов о подтверждении соответствия, порядка их выдачи, регистрации, внесения в них изменений и (или) дополнений, приостановления, возобновления, отмены, прекращения, продления срока их действия;

- определение порядка признания документов о подтверждении соответствия и протоколов испытаний продукции, полученных за пределами РБ, за исключением случаев, когда порядок признания этих документов установлен международными договорами;

- разработка и утверждение перечня продукции, услуг, персонала и иных объектов оценки соответствия, подлежащих обязательному подтверждению соответствия в РБ, изменений и (или) дополнений к нему;

– установление номенклатуры показателей, контролируемых при выполнении работ по подтверждению соответствия объектов оценки соответствия, подлежащих обязательному подтверждению соответствия;

– осуществление инспекционного контроля за соответствием объектов оценки соответствия, прошедших подтверждение соответствия требованиям ТНПА;

– организация и проведение работ по подтверждению соответствия продукции, услуг, систем управления, персонала при отсутствии аккредитованного органа по сертификации;

– установление схем сертификации и декларирования соответствия, если в техническом регламенте такие схемы не установлены, либо технический регламент отсутствует;

– ведение реестра Системы;

– ведение кадастра;

– рассмотрение жалоб и апелляций сторон, принимающих участие в подтверждении соответствия;

– пропаганда целей и задач подтверждения соответствия;

– информационное обеспечение в области подтверждения соответствия.

Национальный орган по оценке соответствия РБ *обязан*:

– обеспечивать реализацию единой государственной политики РБ в области подтверждения соответствия;

– осуществлять контроль за соблюдением порядка, правил и процедур подтверждения соответствия, установленных основополагающими документами Системы;

– обеспечивать объективность, компетентность, достоверность и беспристрастность проведения работ по подтверждению соответствия на всех уровнях Системы;

– совершенствовать и актуализировать основополагающие документы Системы, поддерживать ее в работоспособном состоянии.

Национальный орган по оценке соответствия *имеет право*:

– принимать решения по установлению дополнительных требований и изменению порядка, правил и процедур Системы;

– делегировать, при необходимости, организациям полномочия органов по сертификации продукции, услуг, систем управления и персонала;

– уполномочивать организационно-методические центры по подтверждению соответствия и центры подготовки экспертов-аудиторов по качеству;

– вносить в обоснованных случаях коррективы в принятые решения органов по сертификации продукции, услуг, систем управления и персонала;

– издавать указания по вопросам подтверждения соответствия, обязательные для исполнения всеми участниками подтверждения соответствия;

– принимать решения о присоединении РБ к международным и региональным системам подтверждения соответствия (сертификации) и признании органов по сертификации;

– подписывать соглашения с национальными органами по подтверждению соответствия (сертификации) других стран (государств) по вопросам подтверждения соответствия (сертификации);

– вносить в Правительство РБ предложения по изменению законодательных и других нормативных и правовых актов, касающихся подтверждения соответствия;

– приостанавливать либо запрещать деятельность в области подтверждения соответствия при нарушении правил Системы и реализацию продукции и услуг не соответствующих ТНПА, по которым подтверждено их соответствие;

– осуществлять взаимодействие с национальными органами по подтверждению соответствия других стран (государств), а также региональными и международными организациями по подтверждению соответствия;

Руководителем Национального органа по оценке соответствия РБ является Председатель Госстандарта.

Совет Системы. В Совет Системы входят руководители и специалисты Национального органа по оценке соответствия РБ, руководители организационно-методических центров по подтверждению соответствия и представители республиканских органов государственного управления.

Для участия в работе Совета Системы могут привлекаться руководители и специалисты республиканских органов государственного управления, органов по сертификации продукции, услуг, систем управления, персонала, представители изготовителей (продавцов) и других заинтересованных организаций.

Совет Системы действует на основе *Положения*, утвержденного руководителем Национального органа по оценке соответствия РБ. Периодичность заседаний не менее двух раз в год.

Основная функция Совета – выработка рекомендаций по деятельности и развитию Системы.

Апелляционный Совет Системы. Состоит из руководителей и специалистов Национального органа по оценке соответствия РБ. Для участия в его работе могут привлекаться представители республиканских органов государственного управления, обществ потребителей и других заинтересованных организаций.

Возглавляет Апелляционный Совет руководитель подразделения Национального органа по оценке соответствия РБ, курирующий вопросы подтверждения соответствия. Заседания Совета проводятся по мере необходимости.

Основная функция Совета – рассмотрение поступивших в его адрес апелляций и принятие по ним обоснованных решений.

Аккредитованные органы по сертификации продукции, услуг, систем управления, персонала выполняют следующие основные функции каждый соответственно в своей области аккредитации:

- разработка и ведение организационно-методических документов, определяющих правила и процедуры подтверждения соответствия;
- подготовка перечня показателей, контролируемых при обязательном подтверждении соответствия и представление его на утверждение в Национальный орган по оценке соответствия РБ;
- предоставление заявителю информации о правилах и процедурах подтверждения соответствия;
- осуществление подтверждения соответствия согласно области аккредитации;
- выдача и регистрация сертификатов соответствия и представление информации в Национальный орган по оценке соответствия РБ;
- проведение работ по признанию сертификатов соответствия других систем подтверждения соответствия (сертификации);
- инспекционный контроль за сертифицированной продукцией, услугами, системами управления и персоналом соответственно;
- приостановление либо отмена в установленном порядке действия выданных им сертификатов соответствия в случае выявления несоответствия продукции, услуг, систем управления, персонала, на которые они выданы, требованиям ТНПА;
- взаимодействие с Национальным органом по оценке соответствия РБ, органами государственного надзора за стандартами и средствами измерений, органами по сертификации продукции, услуг, систем управления и аккредитованными испытательными лабораториями (центрами).

Организационно-методические центры по подтверждению соответствия назначаются Национальным органом по оценке соответствия РБ. Их основными функциями являются:

- разработка организационно-методических документов по подтверждению соответствия;
- разработка предложений в перечни продукции и услуг, подлежащих обязательному подтверждению соответствия в закреплённой области деятельности, и представление в Национальный орган по оценке соответствия РБ;
- подготовка номенклатуры показателей, контролируемых при обязательном подтверждении соответствия в закреплённой области деятельности;
- оказание методической помощи по подтверждению соответствия в закреплённой области деятельности;
- разработка предложений по совершенствованию ТНПА, применяемых при подтверждении соответствия в закреплённой области деятельности;
- взаимодействие с Национальным органом по оценке соответствия РБ, органами государственного надзора, органами по сертификации продукции, услуг, систем управления, персонала, аккредитованными испытательными лабораториями (центрами) и общественными организациями по вопросам подтверждения соответствия.

Уполномоченные центры подготовки экспертов-аудиторов по качеству выполняют следующие основные функции:

- разработка и ведение организационно-методических документов центра подготовки;
- разработка программ обучения и представление их на утверждение в Национальный орган по оценке соответствия РБ;
- организация и проведение подготовки экспертов-аудиторов по качеству;
- организация и проведение подготовки специалистов организаций по системам управления;
- организация и проведение повышения квалификации экспертов-аудиторов по качеству, специалистов органов по сертификации, организаций в области управления качеством и подтверждения соответствия.

Конкретные задачи, функции, обязанности, права и ответственность органов НСПС РБ определяются соответствующими документами Системы и организационно-методическими документами этих органов.

4.8.3 Аккредитованные испытательные лаборатории (центры)

Аккредитованная испытательная лаборатория (ИЛ) (центр) – юридическое лицо, аккредитованное для проведения испытаний продукции в определенной области аккредитации.

Область аккредитации – сфера деятельности, в которой аккредитованной ИЛ (центру) предоставлено право на выполнение работ по проведению испытаний продукции (услуг).

Аккредитация – вид оценки соответствия, результатом осуществления которого является официальное признание компетентности юридического лица в выполнении работ по подтверждению соответствия и (или) проведению испытаний продукции.

Аккредитованная ИЛ (центр) осуществляет испытания конкретной продукции или конкретные виды испытаний и выдает протоколы испытаний для целей подтверждения соответствия. Следует отметить, что системы сертификации персонала, а также некоторых услуг, не предполагают участия испытательных лабораторий в процессе сертификации. Всю практическую деятельность по подтверждению соответствия в них осуществляет аккредитованный орган по сертификации и, следовательно, он несет ответственность за правильность и достоверность этой оценки.

Основные требования, предъявляемые к ИЛ (центрам): независимость, беспристрастность, неприкосновенность и техническая компетентность.

Независимость определяется статусом третьего лица.

Беспристрастность выражается в неангажированной деятельности при проведении испытаний, принятии решений по их результатам и оформлении протоколов испытаний.

Неприкосновенность заключается в том, что испытательные лаборатории

и их персонал не должен подвергаться коммерческому, финансовому, административному или другому давлению, способному оказывать влияние на выводы или оценки.

Техническая компетентность подтверждается соответствующей структурой организации и управления, наличием квалифицированного персонала, помещений и оборудования для испытаний, нормативных документов на методы испытаний и процедуры, включая документы системы обеспечения качества.

Соответствие всем этим требованиям проверяется при аккредитации ИЛ (центров).

Аккредитованные ИЛ (центры) имеют право:

- проводить в своей области аккредитации испытания продукции на соответствие требованиям ТНПА;
- выдавать аккредитованному органу по сертификации и (или) заявителю на подтверждение соответствия протоколы испытаний продукции;
- применять знак соответствия Системы аккредитации РБ.

Аккредитованные ИЛ (центры) обязаны:

- обеспечивать выполнение требований, установленных ТНПА к аккредитованным ИЛ (центрам);
- соблюдать установленные правила и процедуры испытаний продукции;
- обеспечивать достоверность результатов испытаний продукции.

Они несут ответственность за соблюдение установленных к ним требований, правильность и достоверность результатов испытаний продукции и оформления протоколов испытаний.

4.8.4 Заявители на подтверждение соответствия

Заявитель на подтверждение соответствия – юридическое лицо, в том числе иностранное, индивидуальный предприниматель или персонал, обратившиеся с заявкой на сертификацию, либо юридическое лицо, в том числе иностранное, или индивидуальный предприниматель, обратившееся с заявкой о регистрации принятой ими декларации о соответствии.

Заявители на подтверждение соответствия *имеют право*:

- выбирать для выполнения работ по подтверждению соответствия любой аккредитованный орган по сертификации с соответствующей областью аккредитации;
- обращаться для проведения испытаний продукции в любую аккредитованную ИЛ (центр) с соответствующей областью аккредитации;
- выбирать любую схему подтверждения соответствия из числа схем, предусмотренных для данного объекта оценки соответствия с учетом условий применения;
- применять знаки соответствия НСПС РБ для маркировки объектов оценки соответствия, на которые имеются сертификат соответствия или зарегистрированная декларация о соответствии;

– обращаться с жалобами на неправомерные действия (бездействие) аккредитованного органа по сертификации или аккредитованной ИЛ (центра) в Госстандарт РБ в порядке и в сроки, установленные в НСПС РБ, а в случае несогласия с его решением – в суд.

Заявитель на подтверждение соответствия *обязан*:

– выполнять требования НСПС РБ;
– создавать необходимые условия для работы должностных лиц аккредитованного органа по сертификации при выполнении ими работ по подтверждению соответствия;

– обеспечивать соответствие объекта оценки соответствия требованиям ТНПА, указанных в сертификате соответствия или зарегистрированной декларации о соответствии;

– приостанавливать или прекращать в установленном порядке реализацию продукции, оказание услуг, деятельность персонала и функционирование иных объектов оценки соответствия, если эти объекты не соответствуют требованиям ТНПА, указанных в сертификате соответствия, сертификате компетентности или зарегистрированной декларации о соответствии, а также после окончания срока действия этих документов либо в случае, если их действие приостановлено или отменено.