

Захаров О.Г.

Контроль аппаратной надежности
цифровых устройств релейной защиты

2015

Аппаратная надежность цифровых устройств релейной защиты

Введение

- 1. Показатели надежности в нормативных документах**
- 2. Требования к надежности в технических условиях**
- 3. Оценка наработки на отказ**
- 4. Оценка сохраняемости**
- 5. Оценка надежности на этапе технологического прогона**
- 6. Оперативный контроль надежности цифровых устройств**
- 7. Анализ причин возврата цифровых устройств**
- 8. Контроль надежности за многолетний период эксплуатации**

Литература

Предисловие

В данной работе на основе анализа нормативной и технической литературы, регламентирующей и описывающей различные стороны аппаратной надежности цифровых устройств релейной защиты (ЦРЗА), предложена номенклатура показателей надежности, которые должны быть включены в технические условия (ТУ) на эти устройства.

Согласно требованиям нормативной документации для каждого из показателей надежности необходимо предусмотреть метод его объективной оценки, используемый во время контрольных испытаний на надежность.

Поэтому в предлагаемой вниманию читателей книге описаны методы оценки показателей надежности, основанные на планах и методах испытаний, рекомендованных в стандартах и руководящих документах системы «Надежность в технике».

Предлагаемые методы оценки показателей надежности основаны на использовании статистической информации, получаемой во время подконтрольных испытаний ЦРЗА на месте их эксплуатации.

Кроме этого, в книге описаны методы контроля показателей аппаратной надежности ЦРЗА во время их изготовления, а также результаты исследований причин возврата ЦРЗА, в том числе и после экстремальных воздействий.

Последний раздел посвящен оценке показателей аппаратной надежности ЦРЗА, эксплуатировавшихся более 5 лет в условиях холодного климата.

Материал книги основан на результатах наблюдения за ЦРЗА, эксплуатируемыми с 1998 года по настоящее время.

Автор будет признателен всем, кто сочтет возможным поделиться с ним своим мнением о данной книге (E-mail: olgezaharov@yandex.ru).

1. Показатели надежности в нормативных документах

Номенклатура показателей надежности для ЦРЗА зафиксирована в основополагающем отраслевом документе [28], но в ней есть отступления от рекомендаций, изложенных в стандарте [14].

Для выбора рациональной номенклатуры показателей надежности, в которую включено минимально необходимое и достаточное количество показателей, уточним признаки (табл. 1), которыми можно охарактеризовать ЦРЗА в соответствии с требованиями стандарта [14].

Таблица 1. Признаки, характеризующие надежность ЦРЗА

Признак по [14]	Характеристика изделия	Описание
Определенность назначения	ИКН ¹	Изделие имеет единственный вариант применения
Число возможных состояний	Вид II	Изделия кроме работоспособного и неработоспособного состояний, могут находиться в некотором числе частично неработоспособных состояний
Режим применения	НДП ²	Изделие функционирует непрерывно и длительно
Последствие отказа	-	Отказ изделия или его переход в предельное состояние не приводит к катастрофическим (критическим) последствиям
Возможность восстановления	Восстанавливаемое	Работоспособное состояние данных изделий может быть восстановлено после их отказа
Способ восстановления	-	Обезличенный ремонт заменой модулей
Характер перехода в предельное состояние	Стареющее	Переход данных изделий в предельное состояние, когда их эксплуатация должна быть прекращена, определяется старением
Способ восстановления	-	Ремонт обезличенным способом
Возможность технического обслуживания	Обслуживаемое	Необходимо периодическое техническое обслуживание
Характер отказов	Наличие сбоев	При наличии в устройстве средств вычислительной техники
Контроль перед применением	Контролируемое	При необходимости контроля изделия перед применением

¹ ИКН – изделие конкретного назначения

² НДП – непрерывное длительное применение

Номенклатура показателей надежности цифровых устройств релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации, установленная в настоящее время нормативными документами [11, 28] приведена в табл. 2, где знаком * отмечены показатели, для которых в стандарте [13] даны определения обозначаемых ими понятий.

Таблица 2 Показатели безотказности

Показатели безотказности ¹⁾ и их обозначения	Нормативный документ	
	[28]	[11]
Наработка на отказ* T_0	-	+
Наработка на отказ СЭ ³	+	
¹⁾ Свойство цифрового устройства непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или <i>наработки</i> . Показатели безотказности устанавливаются по отношению: <ul style="list-style-type: none"> - ко всем возможным отказам цифрового устройства; - к какому-либо типу (типам) цифрового устройства. 		

Таблица 3 Показатели надежности, задаваемые в единицах времени

Временные показатели и их обозначения	Нормативный документ	
	[28]	[11]
Срок службы* T_0	-	+
Срок службы СЭ ³	+	
Срок службы:		
- установленный $T_{слу}$	-	+
- назначенный*	-	-

Таблица 4. Показатели долговечности

Показатели долговечности ¹⁾ и их обозначения	Нормативный документ	
	[28]	[11]
Гамма-процентный ресурс* $T_{рy}$	-	+
Средний срок службы*		
Полный средний срок службы	+	-
¹⁾ Свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при выполнении заданной системы технического обслуживания и ремонта		

Таблица 5. Показатели ремонтпригодности

Показатели ремонтпригодности ¹⁾ и их обозначения	Нормативный документ	
	[28]	[11]
Среднее время:		
- восстановления* $T_в$	+	+
- замены СЭ $T_в$	+	-
¹⁾ Приспособленность изделия к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта		

³ СЭ –сменный элемент

Таблица 6. Показатели сохраняемости

Показатели сохраняемости ¹⁾ и их обозначения	Нормативный документ	
	[28]	[11]
Срок сохраняемости:		
- средний (гамма-процентный) $T_{cy\%}$	-	+
- гамма-процентный* $T_{cy\%}$		
- средний* T_{csp}	-	-

¹⁾ Свойство изделия сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в течение и после хранения и/ или транспортирования

Таблица 7. Дополнительные показатели надежности

Показатели ¹⁾ их обозначения	Нормативный документ	
	[27]	[11]
Средняя вероятность отказа в срабатывании ⁴ ()	+	
Параметр потока ложных срабатываний ⁵	+	
Удельная суммарная продолжительность ТО ⁶ , $S_{то}$	-	+

¹⁾ В ГОСТ 27.002-89 определения этих показателей отсутствуют

В отраслевом руководящем документе [28] (см. табл. 2, 3, 5) установлены несколько показателей надежности, в которых использованы слова «сменный элемент». Более того, в этом же документе содержатся такие рекомендации:

«Номенклатура и значения показателей надежности для устройств МП РЗА должны... выбираться из следующих значений:

- средняя наработка на отказ сменного элемента – 100, 125 тысяч часов;
- среднее время восстановления (замены сменного элемента) – 0,5, 1, 2, 3 часа;
- средний срок службы сменного элемента до капитального ремонта – 8, 10, 12, 14 лет...».

Обычно сменные элементы используют в устройствах, состоящих из элементов разной надежности или имеющих разный ресурс, а также имеющих быстроизнашивающиеся части, которые при определенных условиях следует заменить на новые.

В электромеханических реле сменными элементами являются контакт-детали, катушки и т.п.

В связи с тем, что большинство изготовителей цифровых устройств не поощряет самостоятельный ремонт выпущенных ими изделий силами потребителя, то сменными элементами в таких устройствах могут быть только модули и узлы, которые изготовитель поставляет с соответствующими документами⁷.

Как правило, изготовители цифровых устройств поставляет по отдельному заказу модули:

- центрального процессора;
- ввода-вывода;

⁴ При появлении требования на срабатывание

⁵ При отсутствии требования на срабатывание

⁶ ТО – техническое обслуживание

⁷ Следует также учитывать, что выбор «сменного элемента» во многом задаёт глубину поиска дефекта системой самодиагностики цифрового устройства [2].

- трансформаторов и др.

Силами потребителя могут быть заменены не только перечисленные модули, но и дисплей, модуль пульта и некоторые другие.

При проектировании цифрового устройства его модули и узлы разрабатывают таким образом, чтобы их надежность была одинаковой.

Поэтому по отношению к таким модулям примечание **«Значения показателей надежности сменных элементов различного назначения могут отличаться»**, содержащееся в РД [28], нельзя признать корректным.

Учитывая изложенное, из рассматриваемого документа и, соответственно из табл. 2, 3, 5 должны быть исключены показатели, относящиеся к надежности абстрактного «сменного элемента»

Показатель безотказности **«средняя наработка на отказ»** (краткая форма – **«наработка на отказ»**) (см. табл. 2) в стандарте [13] определен следующим образом: «отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки»⁸.

Следует отметить, что наработка на отказ изделия не зависит от того, какой элемент в нем отказал – сменный или нет и, следовательно, использование показателя «наработка на отказ сменного элемента», установленного в [28] методически неправильно.

В табл.3, 4 приведено несколько показателей, в названии которых использованы слова **«срок службы»** или «ресурс».

Строго говоря, показатели, в названии которых использованы слова «срок службы», представляют собой **технико-экономические характеристики изделия**, а не показатели его надежности.

Ориентируясь на стандарт [13] оставляем для дальнейшего рассмотрения только два показателя⁹:

- временной показатель - **«назначенный срок службы»;**
- показатель долговечности - **«средний срок службы».**

Все остальные показатели, включая и те, в которых использованы слова «срок службы сменного элемента», исключаем из дальнейшего рассмотрения.

В связи с тем, что для ЦРЗА не предусмотрены плановые ремонты, использование показателя **«полный средний срок службы»** [28] представляется методически некорректным.

Показатель долговечности **«гамма-процентный ресурс»** (см. табл. 5) отсутствует в [28], но предусмотрен в стандарте [11]. Необходимость использования этого показателя рассмотрим ниже, в соответствующем разделе данной книги.

Для дальнейшего рассмотрения оставляем два показателя сохраняемости: **«гамма-процентный срок сохраняемости»** и **«средний срок сохраняемости»** (табл. 6) и исключаем из рассмотрения предусмотренный в стандарте [11] показатель «средний (гамма-процентный) срок сохраняемости».

⁸ Метод оценки этого показателя на основании информации, получаемой от потребителя, рассмотрен ниже.

⁹ При назначении срока службы принимают во внимание прогнозируемый или достигнутый сроки службы.

Напомним, что при выборе значений показателей сохраняемости должны быть учтены условия и режимы хранения, для которых действуют эти показатели.

Не смотря на то, что проведение ТО своевременно и в полном объеме помогает поддерживать работоспособное состояние изделия, но такой показатель, как «Удельная суммарная продолжительность ТО» (см. табл. 7), по своей сути не относится к показателям надежности, что позволяет исключить его из дальнейшего рассмотрения применительно к ЦРЗА.

Отметим, что сформированная таким образом номенклатура показателей должна быть использована при разработке соответствующего раздела технических условий.

2. Требования к надежности в технических условиях

Согласно ГОСТ 2.114-95 [10] технические условия на изделие (ТУ) должны содержать вводную часть и разделы, расположенные в такой последовательности:

- технические требования;
- требования безопасности;
- требования охраны окружающей среды;
- правила приемки;
- методы контроля;
- транспортирование и хранение;
- указания по эксплуатации;
- гарантии изготовителя.

Оставляя на усмотрение разработчика состав разделов и их содержание, разрешая дополнять разделы, объединять их, включать другие разделы, стандарт не позволяет изменять последовательность их расположения в ТУ.

В разделе «Технические требования» должны быть приведены требования нормы и характеристики, определяющие показатели качества и потребительские (эксплуатационные) характеристики продукции.

Один из основных подразделов данного раздела - основные параметры и характеристики (свойства) – в котором и следует размещать требования надежности к выполнению продукцией своих функций с заданной эффективностью в заданном интервале времени и их сохранению при заданных условиях технического обслуживания, ремонта, хранения, транспортирования, в том числе количественные требования, в виде значений комплексных показателей надежности продукции и (или) единичных показателей ее безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

В другом нормативном документе [14] также предусмотрено задание единичных показателей:

- безотказности;
- ремонтпригодности;
- долговечности;
- сохраняемости.

Анализ номенклатуры показателей надежности цифровых устройств релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации, приведенный в разделе 1 позволил выбрать для включения в ТУ из нескольких единичных показателей безотказности, перечисленных в [21], один - **наработка на отказ**.

Этот показатель предусмотрен также и в отраслевом документе [28], где рекомендовано два значения этого показателя – 100000 ч или 125000 ч.

За время, прошедшее с момента издания этого документа требования к безотказности ЦРЗА существенно ужесточились и теперь средняя наработка на отказ ЦРЗА должна быть не менее 150000 часов.

В качестве показателя ремонтпригодности в ТУ необходимо включить **среднее время восстановления**, в его значение можно выбирать из ряда значений 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 ч, рекомендованных в [28].

При выборе значения для этого показателя необходимо учитывать время, затрачиваемое на поиск неисправности [2] и замену неисправного модуля.

В технических условиях среднее значение этого показателя обычно выбирают равным 2 часам¹, что в большинстве случаев отражает реальные затраты времени.

В связи с тем, что для ЦРЗА не предусмотрены ремонты, то использование показателя **«полный средний срок службы»** [28], в котором учитывается продолжительность ремонтов, представляется излишним, поэтому для включения в ТУ выбираем показатель **средний срок службы**.

В документе [28] для срока службы предусмотрено два значения – 20 и 25 лет. Данный вид изделий в России первым начал выпускать НТЦ «Механотроника» и до настоящего времени изделия, выпущенные в 1998 году, находятся в эксплуатации.

Поэтому подтвержденное по всему массиву изделий, выпущенных в 1998 году, значение показателя «средний срок службы» составляет 15 лет.

Нельзя не отметить, что некоторые организации, проводящие аттестацию данных изделий для своих отраслей, стали требовать увеличения среднего срока службы ЦРЗА и шкафов с ЦРЗА до 30 лет.

Выбирая то или иное значение срока службы, следует учитывать, что с увеличением «возраста» изделия затраты на восстановление его работоспособного состояния увеличиваются и в конце концов замена изделия новым оказывается экономически более выгодной, чем обслуживание «старого» изделия, в документации которого записан большой «средний срок службы».

Приняв во внимание всё сказанное для показателя «средний срок службы» в технических условиях целесообразно выбирать значение 25 лет.

Здесь необходимо отметить, что вместо показателя «средний срок службы» более корректным было бы использование показателя «назначенный срок службы», однако это потребует внесения соответствующих изменений в нормативные документы.

В число показателей сохраняемости в технические условия для ЦРЗА целесообразно включить оба показателя²:

- средний срок сохраняемости;
- гамма-процентный срок сохраняемости.

В нормативных документах значения этих показателей не регламентированы.

В технических условиях значения этих показателей целесообразно выбрать по результатам контрольных испытаний на сохраняемость (см. раздел 4).

В связи с тем, что в цифровые блоки встроена система самодиагностики, то предусмотренные стандартом [13] критерии отказов должны быть сформулированы в ТУ так, как их задаёт система самодиагностики.

Например, в изделиях одной из фирм по результатам самодиагностики формируется один из трёх сигналов:

- блок исправен – дефекты отсутствуют;
- блок неисправен (сигнал «Неисправность») – выявленные дефекты не влияют на работу алгоритмов защиты;

¹ При наличии полного комплекта запасных сменных модулей.

² Отказ хранящегося или транспортируемого ЦРЗА не приводит к катастрофическим последствиям [22].

- отказ блока (сигнал «Отказ») – выявленные дефекты препятствуют работе алгоритмов защиты или отсутствует оперативное питание блока.

В технических условиях критерии отказов целесообразно указывать в разделе «Требования к диагностированию».

Стандарт [14] требует указывать в разделе ТУ «Требования к надежности» значения показателей, используемых при контрольных испытаниях на надежность:

- риск поставщика α ;
- риск потребителя β ;
- браковочный уровень R_{β} ;
- приемочный уровень R_{α} .

Для того, чтобы не загромождать раздел технических условий «Требования к надежности» комментариями к этим показателям, представляется целесообразным помещать их не в ТУ, а включать их в документы, разрабатываемые для проведения контрольных испытаний на надежность.

Примеры построения и изложения раздела «Требования надежности» в технических условиях и других документах можно найти в Приложении 7 к стандарту [14].

3. Оценка наработки на отказ

Для показателя безотказности - «средняя наработка на отказ» - РД [28] рекомендует выбирать одно из двух значений – 125000 часов или 100000 часов. Любое выбранное значение показателя надежности должно быть подтверждено расчётным или экспериментальным методом [17, 26].

Для применения расчётных методов необходима, прежде всего, информация о надёжности всех элементов, использованных в конкретном изделии.

В российских цифровых устройствах РЗА, разработанных в 1990-е годы, в основном были использованы отечественные электрорадиоэлементы, информация о надёжности которых была доступна разработчикам. Поэтому оценка тех или иных показателей надёжности могла быть выполнена расчётными методами ещё на этапе проектирования изделий.

В частности, разработчики первых в России цифровых устройств частотной автоматики БМАЧР и релейной защиты БМРЗ, расчётным путём оценили среднюю наработку на отказ T_o для этих устройств равным 18 000 ч.

В современных цифровых устройствах релейной защиты и автоматики используются импортные комплектующие элементы, официальная информация о надёжности которых, как правило, отсутствует. Поэтому расчётные методы оценки тех или иных показателей надёжности для данных устройств обычно оказываются нереализуемыми.

По целому ряду причин оказывается невозможным и применение непосредственных испытаний на надёжность. Например, для проведения испытаний на надёжность в соответствии с требованиями стандарта [17] для подтверждения значения наработки на отказ $T_o = 100\ 000$ ч при продолжительности испытаний $t_{и} = 720$ ч (один месяц круглосуточной работы) необходимо одновременно задействовать:

$$N = T_o / t_{и} = 100\ 000 / 720 \approx 139 \text{ устройств} \quad (1)$$

Уменьшение количества одновременно испытываемых изделий неизбежно увеличивает затраты на услуги испытательного центра, так как для получения объективной оценки надёжности изделий необходимо увеличивать продолжительность испытаний. Отметим, что на оплату работы стенда расходуется большая часть средств. Например, при уменьшении числа испытываемых изделий со 139 до 70, стенд должен работать уже почти 1500 часов или 62, 5 дня

Поэтому для оценки показателей надёжности во время контрольных испытаний был выбран экспериментальный метод, использующий статистические данные о работе устройств за весь период подконтрольной эксплуатации, как это рекомендовано в разделе 3.6 РД [28].

Для проведения контрольных испытаний на надёжность на основании информации, получаемой по данным эксплуатации, был выбран план испытаний [**NMS**] по стандарту [17] при экспоненциальном распределении наработок на отказ (табл. 8).

Таблица 8 План контроля средних показателей надежности по одноступенчатому методу для экспоненциального распределения

$\alpha = \beta = 0,05$		$\alpha = \beta = 0,10$		$\alpha = \beta = 0,20$	
T_α / T_β	T_{\max} / T_α	T_α / T_β	T_{\max} / T_α	T_α / T_β	T_{\max} / T_α
4,651	1,97	3,289	2,432	2,174	3,089
2,898	5,425	2,283	6,221	1,718	7,289
2,369	9,246	1,953	10,3	1,553	11,68
2,096	13,2	1,792	14,52	1,46	16,17
1,942	17,3	1,672	18,84	1,398	20,72

В табл. 8 использованы такие условные обозначения:

- α, β – риски поставщика и потребителя соответственно;
- $r_{\text{пр}}$ – предельное число отказов или отказавших объектов;
- T_β – браковочное значение наработки на отказ;
- T_α – приёмочное значение наработки на отказ;
- T_{\max} – предельная суммарная наработка.

Согласно плану испытаний [**NMS**] каждый из **N** блоков вводят в эксплуатацию последовательно. После отказа (получения замечаний по работе) блок ремонтируют на предприятии-изготовителе (обозначено буквой **M** в плане испытаний) и продолжают эксплуатировать.

По результатам расчётов принимают решение (в плане испытаний обозначено буквой **S**) о соответствии показателя надежности значению, указанному в документации на блок, для чего и предназначена информация, приведенная в табл. 8.

Выбор рассмотренного способа оценки наработки на отказ обусловлен тем, что действующие стандарт [17] и методические указания [26] не содержат никаких специальных требований к изделиям, наработку которых необходимо определять

Приведённые в стандарте [17] рекомендации жестко не задают объём выборки (в данном случае – количество находящихся в эксплуатации объектов) при проведении испытаний с восстановлением объектов.

Тем не менее, для контроля полученных результатов при проведении контрольных испытаний на надёжность по результатам эксплуатации необходимо определить минимальное количество блоков, которое должно находиться в эксплуатации в тот или иной момент времени.

Для этого используют соотношение:

$$N_{\min} = T_{\max} / t_{\text{и}}, \quad (2)$$

где T_{\max} – предельная суммарная наработка (см. табл. 8);

$t_{\text{и}}$ – общая продолжительность испытаний.

Значение предельной суммарной наработки T_{\max} , необходимое для вычисления минимального количества блоков, определялось по данным, приведённым в табл. 8 для разных значений T_β при разных значениях риска поставщика и потребителя $\alpha = \beta$ и нескольких значениях предельного числа отказов $r_{\text{пр}}$.

При этом в целях ужесточения контрольных испытаний на надёжность и обеспечения тем самым максимального удовлетворения интересов потребителя браковочное значение наработки на отказ T_{β} целесообразно принимать равным номинальному значению, указанному в технических условиях на изделие или, что лучше, в документы, регламентирующие контрольные испытания на надёжность.

Результаты расчётов для $T_{\beta} = T_0 = 100\,000$ ч (порядка 139 месяцев) приведены на рис. 1 в виде графиков $T_{\max} = f(r_{\text{пр}})$ для $\alpha = \beta = 0,05$ (линия $T_{\max 2}$) и для $\alpha = \beta = 0,20$ (линия $T_{\max 1}$).

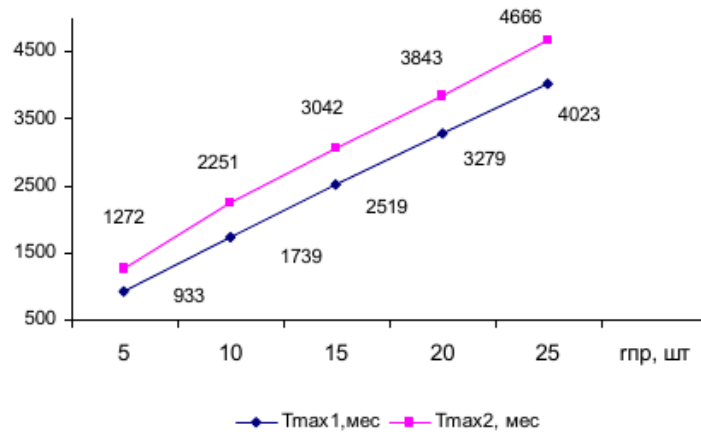


Рис. 1. Значения T_{\max} в зависимости от $r_{\text{пр}}$ для разных $\alpha = \beta$

На рис. 2 приведены результаты расчётов только для одного случая, соответствующего наибольшим значениям числа блоков N , наработке на отказ $T_0 = 100\,000$ ч, значению риска потребителя и поставщика $\alpha = \beta = 0,05$; верхний график соответствует блокам типа **Б**, нижний – блокам типа **А**.

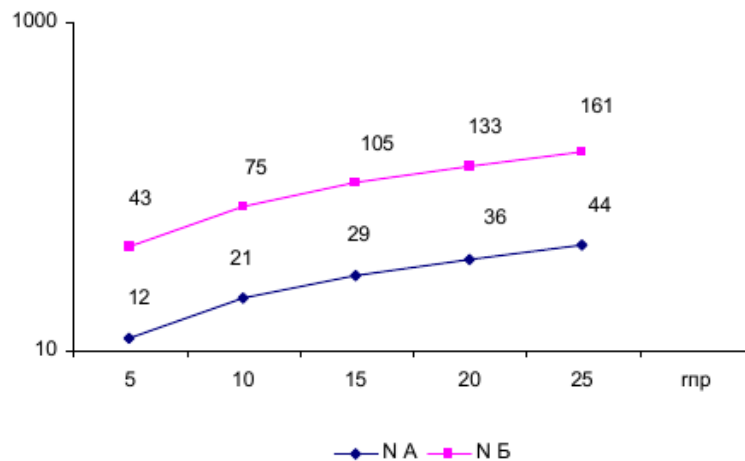


Рис. 2. Зависимость числа блоков N , находящихся в эксплуатации, от предельного числа отказов $r_{\text{пр}}$ для $\alpha = \beta = 0,05$ и $T_0 = 100\,000$ ч

При определении значения t_i принимался во внимание тот факт, что первые блоки типа **A** были отгружены 119 месяцев назад, а первые блоки типа **B** – 35 месяцев назад от даты D – дня окончания контрольных испытаний на надежность.

Датой окончания испытаний D принимают день, на который составляют отчет о проведенных испытаниях, понимая под испытаниями эксплуатацию устройств на месте их установки.

Общую продолжительность испытаний для блоков каждого из типов можно найти по соотношению:

$$t_i = D - D_{от1j} - t_{вэ1j}, \quad (3)$$

где D – дата окончания испытаний;

$D_{от1j}$ – дата отгрузки первого блока типа j ;

$t_{вэ1j}$ – промежуток времени, прошедший от даты отгрузки до даты ввода в эксплуатацию первого блока типа j (логистическая задержка по [25]).

Для того, чтобы при расчетах можно было использовать программы, определяющие количество дней, прошедшее между двумя датами (датами отгрузки и окончания испытаний), их следует представлять в формате, предусмотренном выбранной программой расчета¹.

Из графиков, приведенных на рис. 2, следует, что даже для предельного числа отказов $r_{пр} = 25$ в эксплуатации на этот момент должно находиться не более 161 блока.

Фактически же на момент окончания контрольных испытаний на надёжность в эксплуатации находилось 1300 блоков типа **A** и более 8000 блоков типа **B**.

Дату отгрузки первого по счету блока типа j устанавливают по отгрузочным документам или по записям в паспорте изделия.

В тех случаях, когда предприятие изготовитель ведёт базу данных по всем изделиям, установить дату $D_{от1j}$ отгрузки первого блока типа j не представляет труда.

Более сложным представляется определение даты ввода изделия в эксплуатацию. В нашем случае для этих целей были использованы три источника информации.

Первый источник – «Уведомления о вводе блока» (вкладыш в паспорте блока). Заполнение вкладыша потребителем с указанием места и даты ввода блока в эксплуатацию предусматривает увеличение срока гарантии на изделие, что должно стимулировать потребителя заполнять эти вкладыши и направлять их изготовителю.

Второй источник информации – уведомления о несоответствии изделий, получаемые от потребителя.

И, наконец, третий источник информации о месте и дате ввода блоков в эксплуатацию – ответы на запросы, регулярно рассылаемые в эксплуатирующие предприятия.

Использование всех этих источников информации позволило установить, что независимо от типа устройства, эксплуатирующего предприятия и многих других случайных факторов, среднее время ввода изделия в эксплуатацию уменьшилось с 17 месяцев в 2005 году до 4,5 месяцев в 2013 году.

¹ См., например, <http://www.planetcalc.ru/274/>

Здесь необходимо отметить, что некоторые производители оснащают цифровые устройства счетчиком моточасов, что позволяет просто узнавать наработку изделия в любой момент времени.

В соответствии с рекомендациями стандарта [17] все замечания потребителей по работе блоков, находящихся в эксплуатации, следует разделять на две группы:

- признанные производителем;
- не признанные производителем.

Изделия, причины возврата которых не признаны производителем, не учитывают при оценке показателей надежности как отказавшие.

При определении наработки изделия, замечания по работе которого признаны производителем, следует учитывать затраты времени на транспортировку изделия (к производителю и обратно на место эксплуатации), а также затраты времени на ремонт

$$T_{ij} = D - D_{от\ ij} - (t_{вв2j} + t_{ремj}), \quad (4)$$

где T_{ij} – наработка i -го изделия j - типа;

$D_{от\ ij}$ – дата отгрузки i блока j го типа.

$t_{вв2j}$ – среднее время от отгрузки до ввода в эксплуатацию блоков j го типа;

$t_{ремj}$ – среднее время диагностирования и ремонта блока j -го типа у производителя.

Фактическую наработку каждого из блоков, по работе которых не поступило претензий от потребителя, но была информация о дате ввода в эксплуатацию, определяют по выражению:

$$T_i = D - D_{отi} - t_{вв1} \quad (5)$$

где D – дата, на которую находят значение наработки i го блока;

$D_{отi}$ – дата отгрузки i го блока потребителю;

$t_{вв1}$ – среднее время от отгрузки до ввода в эксплуатацию блоков, по работе которых не было высказано замечаний до даты D .

Аналогичная формула была использована для определения фактической наработки блоков по работе которых не было замечаний и отсутствовала информация о дате ввода их в эксплуатацию.

Результаты, полученные по формулам (4) и (5) для каждого i го блока одного и того же типа, использовались для определения суммарной наработки всей выборки блоков типа **A** и **B** по формуле:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N T_i \quad (6)...$$

При обработке полученных данных учтено, что, независимо от места установки, все цифровые устройства релейной защиты во время эксплуатации находятся в одинаковых условиях в отношении электрических нагрузок на входы и выходы.

Превышение уровня нагрузок на входы и выходы сверх номинальных значений происходит всего несколько раз за всё время эксплуатации и поэтому не может оказать воздействия на надёжность изделия (отсутствует эффект

старения из-за воздействия повышенных электрических нагрузок). В силу этого при проведении контрольных испытаний на надёжность оказалось возможным учитывать только время наработки изделий и не регистрировать текущие значения электрических параметров защищаемых установок.

График изменения суммарной наработки $t_{\Sigma} = f(r_{\text{пр}})$ для блоков типа **A** (рис. 3) показывает, что при наступлении первого отказа суммарная наработка t_{Σ} блоков этого типа составила 1999 месяцев, что превышает значение T_{max} , рассчитанное по данным, приведённым в табл. 3 для 5 отказов.

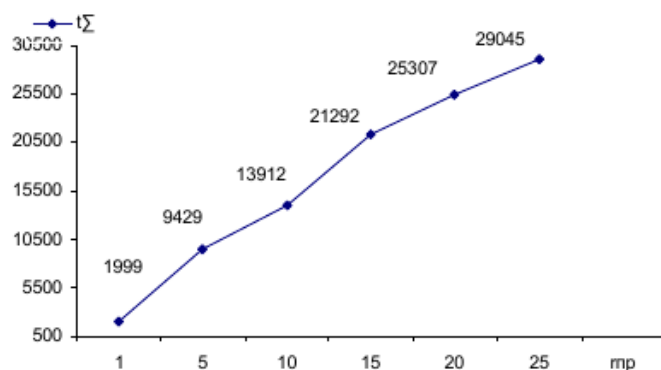


Рис. 3 Расчетная наработка для массива блоков типа А

Более того, значение суммарной наработки t_{Σ} при наступлении 5, 10, 15, 20, 25 отказов всегда оказывается больше, чем значение T_{max} , рассчитанное по данным табл. 3 (см. рис. 1).

Одновременно можно утверждать, что количество блоков, находящихся в эксплуатации в эти моменты времени, всегда больше минимального значения N , вычисленного по формуле (2).

На рис. 4 приведён график $t_{\Sigma} = f(r_{\text{пр}})$, который рассчитан по данным, полученным от предприятий, эксплуатирующих блоки типа **B**.

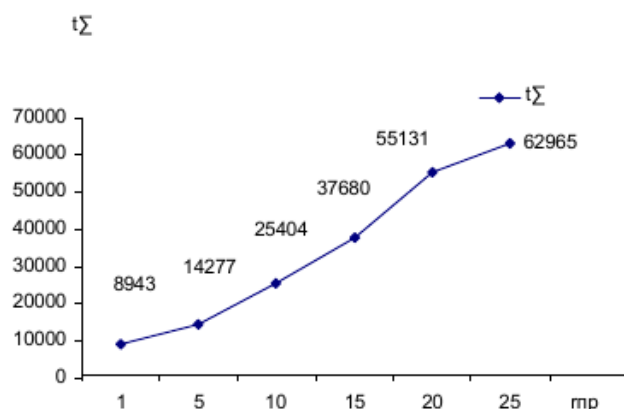


Рис. 4 Расчетная наработка для массива блоков типа Б

Из графика видно, что и для блоков данного типа при получении первой претензии значение суммарной наработки t_{Σ} существенно превышает значение $T_{\max} = 1111$, рассчитанное по данным, приведённым в табл. 8 для 5 отказов.

На момент получения первого замечания по работе блоков типа **Б** в эксплуатации находилось 344 блока, тогда как согласно формуле (2) достаточно, чтобы в работе находилось 43 блока.

Сравнивая расчётные и фактические характеристики изменения суммарной наработки, необходимо обратить внимание на схожий характер изменения от числа замечаний по работе блоков (отказов).

На рис. 5 показано изменение интенсивности отказов λ , рассчитанное по соотношению:

$$\lambda = r / T_i \times 10^{-3} \text{ [1/месяц]}, \quad (7)...$$

где r – количество претензий, шт.;

T_i – общая наработка блоков к дате предъявления претензии, месяцы.

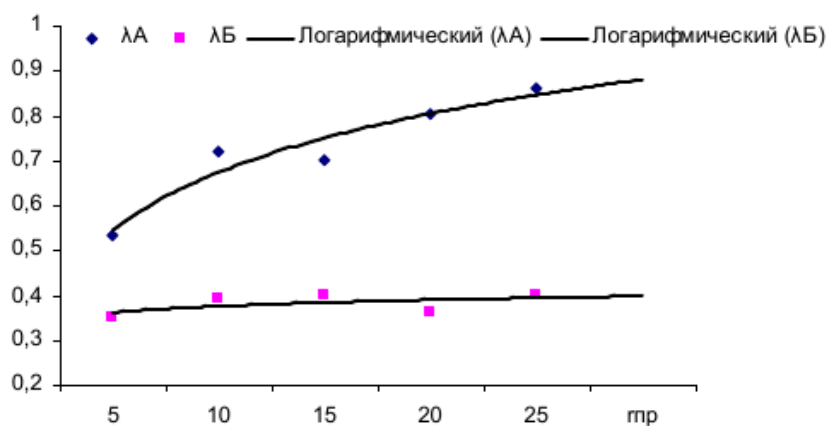


Рис. 5 Изменение интенсивности отказов λ

Согласно рекомендациям, приведённым в стандарте [26], если первым достигается значение наработки $t_{\Sigma} \geq T_{\max}$ при одновременном выполнении условия $r < r_{\text{пр}}$, то принимают решение о соответствии требованиям к наработке на отказ.

Поэтому можно с вероятностью β утверждать, что наработка на отказ T_0 блоков типов **А** и **Б** не менее 100 000 ч, выбранного нами ранее в качестве браковочного значения.

В связи с тем, что устройства релейной защиты и автоматики эксплуатируют в разных климатических условиях и подвергаются разным механическим воздействиям, зависящим от места эксплуатации, необходимо оценить влияние этих внешних воздействующих факторов, следует описанным выше образом определить наработку на отказ для частичных выборок изделий.

Для выявления влияния климатических условий частичные выборки блоков каждого типа следует формировать по нескольким климатическим регионам.

Влияние механических воздействий следует оценить для нескольких выборок, в зависимости от места установки блоков – трансформаторные подстанции, промышленные предприятия, электростанции, тяговые подстанции железных дорог, метрополитены и т.д.

Полученные для перечисленных выборок оценки наработки на отказ превысили значение 100 000 часов, что позволяет утверждать следующее:

При соблюдении условий эксплуатации, соответствующих установленным изготовителем, отличия внешних механических и климатических воздействующих факторов на разных объектах практически не оказывают влияния на значение наработки на отказ цифровых устройств релейной защиты.

Основываясь на том, что в стандарте [12] в качестве эквивалента термину средняя наработка на отказ приведен английский эквивалент *Mean operating time between failures* (MTBF), в литературе можно найти такую «методику» оценки этого показателя:

«Схематически эти расчеты выглядят так. Допустим, в течение года тестировалось 1000 изделий.

За время теста 10 вышло из строя. Отсюда MTBF будет равно 1 год \times (1000 шт/10 шт) = 100 годам или, округленно, 900 000 часам. Эту цифру со многими нулями потребитель и увидит в технической документации или рекламном проспекте ...».

Прежде всего следует отметить, что такой методики «расчета» наработки на отказ нет ни в одном из отечественных стандартов или руководящих документах, регламентирующих методы оценки надежности.

Кроме того, данный «схематический расчет» неприменим для такого простого случая, когда не будет зафиксировано ни одного отказа. Ведь тогда в знаменатель расчетного выражения придется записать цифру «0», деление на которую не имеет физического смысла. Или же придется предположить, что наработку на отказ партии тестируемых изделий придется принимать равной бесконечности.

При использовании такого «схематического расчета» изменение числа отказавших изделий или объема выборки приводит к соответствующему изменению «значения MTBF», что не может быть признано достоверным.

На самом же деле, ни одно из приведенных в примере и оставшихся исправными изделий не проработало более 1 года, а 10 отказавших изделий могли проработать от 0 часов (отказ при первом включении) до 8759 часов 59 минут 59 секунд, «испортившись» за секунду до окончания срока тестирования.

Если говорить о **суммарной** наработке выборки из 1000 изделий, то она определяется **суммой** наработок 990 оставшихся исправными изделий и **суммой** наработок 10 изделий, отказавших за период тестирования, а не 100 годами, как указано в примере «схематического расчета».

Таким образом, при «схематическом расчете» незаметно происходит перенос **«суммарной наработки»** выборки из некоторого количества изделий, на **одно** изделие.

Именно поэтому при оценке средней наработки на отказ следует применять описанную в данном разделе методику, основанную на стандартизированных методах расчета.

4. Оценка сохраняемости

В документе [28] требования к показателям сохраняемости цифровых устройств РЗА не установлены, поэтому многие изготовители ЦРЗА в технических условиях указывают только назначенный срок хранения [21] в заводской упаковке, например так:

«Срок хранения блока в упаковке и консервации изготовителя – 2 года со дня упаковывания».

В приведенном примере указан срок сохраняемости (временное понятие надежности) без указания вида показателя, предусмотренных в [14]:

- средний срок сохраняемости – $T_{с.ср}$;
- гамма-процентный срок сохраняемости – $T_{с.γ}$.

Для выбора одного из двух показателей сохраняемости в этом документе рекомендовано оценивать **«возможные последствия достижения предельного состояния или отказа при хранении и (или) транспортировании».**

Если отказ (достижение предельного состояния) изделия при хранении (транспортировании) изделия не приводит к катастрофическим последствиям, то рекомендуется использовать показатель $T_{с.ср}$.

В том случае, когда после отказа или достижения предельного состояния изделия возможны катастрофические последствия, используют показатель $T_{с.γ}$, предполагая при этом возможность контроля технического состояния изделий..

В другом стандарте ГОСТ 23216 – 78 [20] основанием для выбора одного из двух названных показателей служит срок сохраняемости.

При сроке сохраняемости до 5 лет стандарт рекомендует выбирать в качестве показателя допустимый срок сохраняемости (термин отсутствует в [14]), а при сроке сохраняемости свыше 5 лет – гамма-процентный или допустимый срок сохраняемости.

Тем не менее, некоторые организации, проводящие аттестацию продукции или экспертизу документации на них, требуют включать в технические условия оба показателя сохраняемости, независимо от срока хранения изделия, установленного в технических условиях.

Согласно требованиям [20] в технических условиях должны быть также заданы условия хранения в части воздействия механических (обычно – условия хранения С) и климатических факторов (обычно – нижнее значение температуры – минус 45⁰С, верхнее значение температуры – плюс 60⁰С).

При хранении потребителем изделий в условиях хранения, отличающихся от заданных изготовителем, срок хранения может быть увеличен, если условия хранения облегчены, или уменьшен, при хранении в более тяжелых условиях.

Методика определения срока при изменении условий хранения описана в стандарте [20]:

«Например, изделие категории размещения 4 по ГОСТ 15150-69 было предназначено изготовителем для хранения в течение двух лет под навесом в районах с умеренным и холодным климатом в атмосфере любых типов (условия 5 по ГОСТ 15150-69) и соответственно упаковано (упаковка категории КУ-3 в соответствии с обозначением, принятым в стандарте [20]). В таких условиях изделие фактически хранилось 1,5 года, после чего было перенесено в отапливаемое помещение (условия 1 по ГОСТ 15150-69).

Степень облегчения по сравнению с условиями 5 составляет $2,5^1$.

Следовательно, в новых условиях 1 изделие можно хранить ещё в течение $(2-1,5) \cdot 2,5 = 1,25$ года вместо оставшегося 0,5 года.»

Кроме самого показателя, в документации на изделие должны быть заданы условия и режимы хранения (транспортирования) по [20].

Как было сказано выше, значение любого показателя, зафиксированное в технических условиях, должно быть тем или иным способом подтверждено во время испытаний.

Из известных методов оценки показателей сохраняемости обратим внимание на метод **непосредственного хранения**, установленный стандартом [19], а также рекомендованный в стандартах [18, 24] и ряде других нормативных документов.

Этот метод предполагает закладку на длительное хранение испытуемых изделий на складе завода-изготовителя изделий. В [26] для оценки показателей сохраняемости рекомендованы такие планы испытаний:

- для гамма-процентного срока сохраняемости

План испытаний [NUr] План [NUr]	План испытаний, согласно которому испытывают <u>одновременно</u> N объектов, отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливают и не заменяют, испытаний прекращают, когда число отказавших объектов достигло r
------------------------------------	---

- для среднего срока сохраняемости

План испытаний [NUT] План [NUT]	План испытаний согласно которому <u>одновременно</u> испытывают N объектов, отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливают и не заменяют, испытания прекращают по истечении времени испытаний или наработки T для каждого неотказавшего объекта
------------------------------------	---

Буквами в планах испытаний обозначены:

- **N** - объем выборки;
- **U** - изделия в случае отказа не восстанавливают и не заменяют;
- **T** - продолжительность испытаний;
- **r** - число отказов или отказавших объектов.

Из описания планов испытаний [NUT] и [NUr] видно, что их принципиальное отличие от плана испытаний [NMS], использовавшегося для оценки наработки этих же изделий на отказ [13], заключается в том, что в последнем случае изделия испытывались последовательно (и не обязательно одновременно), а отказавшие изделия ремонтировались.

Метод непосредственного хранения [19] - самый простой способ проведения таких испытаний экономически нецелесообразен, так как для его реализации необходимо одновременно вывести из оборота значительное количество изделий на срок не менее 24 месяцев.

Учитывая сказанное, для испытаний на сохраняемость были использованы складские остатки изделий у изготовителя, и у потребителя.

В том случае, когда на складе есть некоторое количество изделий одного и того же типа, которые хранились не менее 24 месяцев, процесс испытаний на

¹ Таблица изменений жесткости условий приведена в стандарте [20].

сохраняемость заключается только в проверке их состояния и документальном оформлении результатов.

Рассмотрим процесс испытаний в более сложном случае, когда на складе хранятся различное время изделия разных типов.

Например, пусть после проверки складских остатков предприятия по состоянию на день начала испытаний было выявлено, наличие 14 изделий двух типов, переданных на хранение сразу после прохождения приемо-сдаточных испытаний (табл. 9).

Таблица 9 Информация об изделиях, хранившихся на складе изготовителя на день начала испытаний

Тип изделия	Количество изделий	Срок хранения
А	5	16 месяцев
	3	38 месяцев
Ж	1	44 месяца
	5	32 месяца

Отметим, что изделия типов А и Ж изготовлены по одному и тому технологическому процессу, состоят из одинаковых модулей и имеют одно и то же функциональное назначение. Для изготовления изделий этого типа применены одни и те же материалы и комплектующие электрорадиоэлементы.

Все это позволяет рассматривать совокупность изделий двух типов как выборку из 14 блоков и в дальнейшем распространить результаты испытаний изделий типа А на изделия типа Ж и наоборот.

Все перечисленные в табл. 9 изделия были сняты с хранения и переданы в ОТК для проведения приемо-сдаточных испытаний (ПСИ) по той же самой программе, по которой испытывают все новые изделия.

Результаты ПСИ показали, что после хранения в течение указанного в табл. 9 промежутка времени все контролируемые параметры и характеристики этих изделий соответствуют требованиям технических условий. Поэтому отобранные изделия можно использовать для экспериментальной оценки показателей сохраняемости.

Как следует из табл. 9 все изделия хранились на складе разное время – от 16 до 44 месяцев. Однако согласно требованиям стандарта [19] при непосредственном методе хранения продолжительность испытаний, т.е. фактически время хранения, должна быть не менее срока сохраняемости, который составляет 24 месяца.

Для того, чтобы не сокращать объем выборки, отсчет времени хранения изделий начнем не с даты закладки первого блока типа Ж (рис. 6), а с даты закладки на хранение 5 блоков типа А (линия Е на рис. 6).



Рис. 6. Нормализация продолжительности испытаний на сохраняемость

В этом случае время хранения 8 блоков до даты закладки 5 блоков типа А (линия *E* на рис. 6) в дальнейшем не будет учтено.

Такая процедура позволит обеспечить выполнение главного условия выбранных выше планов испытаний [*NUT*] и [*NUr*] – одновременность испытаний всех *N* объектов выборки.

В связи с тем, что в данном случае продолжительность хранения всех блоков составила всего 16 месяцев, принимаем решение возратить все проверенные изделия на дальнейшее хранение (линия *D* на рис. 6 соответствует дате проведения первых ПСИ всей выборки из 14 блоков).

В соответствии с рекомендациями стандарта [19] в дальнейшем испытания этих изделий будем проводить 1 раз в квартал до тех пор, пока срок хранения 5 изделий типа А (заложены на хранение в момент времени *E*) не превысит 24 месяца (линия *K* на рис. 6). Напомним, что продолжительность хранения 24 месяца установлена в технических условиях на эти изделия.

После завершения таких испытаний необходимо оценить полученные результаты. Согласно [26], исходными данными при плане испытаний [*NUr*] служат:

- выборочные значения срока сохраняемости t_1, t_2, t_r ;
- число отказов r ;
- объем выборки N .

По результатам испытаний проведенных в момент времени *D* стали известны выборочные значения сроков сохраняемости каждого из 14 изделий, т.е. - $t_1 = t_2 = t_n = 16$ месяцев. Для этой даты известны также число отказов ($r = 0$) и объем выборки ($N = 14$)

Как известно, стандарты дают разные рекомендации относительно объема выборки, различающейся от вида изделий и отрасли, в которой их используют. Чтобы не увеличивать затраты на экспериментальное определение показателей сохраняемости, стандарт [19] допускает уменьшать количество изделий в выборке, если её объем превышает 1% годового выпуска изделий.

Так как отобранные для испытаний 14 изделий (объем выборки) существенно меньше 1% годового выпуска изделий данного вида, то сокращать её объем нет необходимости.

При оценке гамма-процентного срока сохраняемости и неизвестном законе распределения этот же стандарт [19] рекомендует выбирать допустимое число отказов r по табличным данным, предполагая заданным число испытываемых объектов *N*, что в нашем случае соответствует объему выборки (табл. 10).

Таблица 10 . Фрагмент табл. 26 из [17]

$\gamma\%/100$ или $P(t)$	q	N или r		
		0	1	2
0,50	0,80	-	-	-
	0,90	-	-	6
	0,95	-	-	8
	0,99	6	10	10
0,80	0,80	8	8	13
	0,90	10	10	15
	0,95	13	13	20
	0,99	20	20	25
0,90	0,80	15	15	32
	0,90	20	20	32

На основании данной таблицы можно заключить, что как при отсутствии отказавших блоков ($r = 0$), так и при одном отказавшем блоке ($r = 1$) для выборки данного объема $N = 14 > 13$ при продолжительности испытаний 24 месяца (см. линию K на рис. 6)., гамма-процентный ресурс сохраняемости $\gamma = 0,80$.

Риск потребителя при любом исходе испытаний ($r = 0, r = 1$) составит:

$$B = 1 - q = 1 - 0,95 = 0,05. \quad (8)$$

Если же во время хранения произойдет отказ двух блоков ($r = 2$), значение гамма-процентного срока сохраняемости останется неизменным ($\gamma = 0,80$), но согласно табличным данным доверительная вероятность уменьшится до 0,80, а риск потребителя B вырастет до 0,2.

Если за время испытаний (при непосредственном хранении) будет выявлен один или несколько отказов, стандарт [19] рекомендует использовать для опытного вычисления γ -процентов такую формулу:

$$\gamma = \left(1 - \frac{r}{N}\right) \cdot 100\% \quad (9)$$

Отметим, что при нулевом количестве отказов r при любом объеме выборки N результат определения γ – процентов по формуле (9) будет один и тот же, т.е. $\gamma = 100\%$.

Для вынесения окончательной оценки данного показателя сохраняемости в табл. 11 сведены:

- результаты вычислений γ -процента по формуле (8) при трёх значениях r для $N = 14$;
- оценки, сделанные на основании табличных данных, приведенных в стандарте [19] для $N = 13$.

Таблица 11. Сравнение опытных и табличных значений γ -процентов

Источник	γ -процент для r		
	0	1	2
Формула (7)	100,0	92,8	85,7
Таблица 2 по [18]	80,0	80,0	80,0

Отметим, что увеличение количества хранящихся изделий до 15 ($N=15$), повысит табличное значение гамма-процента до 90 (при доверительной вероятности $q = 0,8$), если за время хранения откажет не более одного изделия.

Расчетное значение этой же величины, найденное по формуле (9), при $r = 1$ и $N = 15$ будет $\gamma = 93,3\%$.

Проведенная оценка данного показателя позволяет утверждать, что значение γ – процентного ресурса сохраняемости для выборки из 14 изделий, в которой был зафиксирован один отказ, находится в диапазоне:

$$93,3 > \gamma > 80,0 \quad (10)$$

Для дополнительной оценки гамма-процентного срока сохраняемости были сформированы ещё две выборки из изделий, хранящихся на складах потребителей. Для составления этой выборки был проанализирован весь массив «уведомлений о вводе в эксплуатацию»², поступивших изготовителю в 2011 – 2012 годах.

Срок хранения изделий у потребителя определялся как разность между датой отгрузки и датой ввода в эксплуатацию. Для испытаний отбирались блоки, поступившие на один и тот же объект и хранящиеся в одинаковых условиях.

Информация о среднем сроке ввода в эксплуатацию наибольшей по количеству изделий выборки (81 изделие), поставленных на один и тот же объект сведены в табл. 12.

Табл. 12 Сроки ввода в эксплуатацию изделий

Тип изделия	Срок ввода в эксплуатацию, месяцев										Среднее значение
	1	3	4	5	6	7	9	12	13	14	
Б	5	6	17	5	3	4	1	-	1	1	4,4 мес
Д	-	-	12	13	10	-	-	1	2	-	5,6 мес

Отметим, что 74% поставленных изделий (заштрихованные графы в табл. 12) были введены в эксплуатацию в срок от 4-х до 6-ти месяцев (рис. 7) после отгрузки их потребителю.

² Вкладыш в паспорт изделия при получении которого изготовитель устанавливает увеличенный гарантийный срок

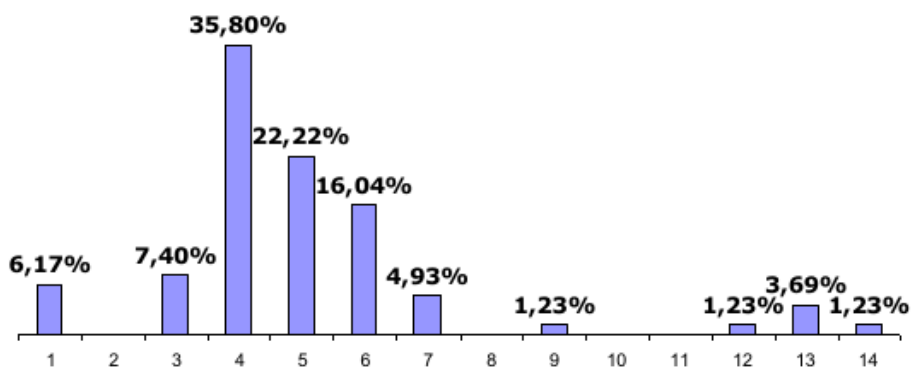


Рис. 7 Сроки ввода изделий в эксплуатацию

Данное исследование подтвердило:

- наличие тенденции сокращения срока ввода в эксплуатацию изделий;
- невозможность использования выборки из 81 изделия для испытаний на сохраняемость из-за небольшого срока их хранения у потребителя.

Отметим, что проведенные ранее исследования показали, что средний срок ввода изделий в эксплуатацию (в зависимости от типа и исполнения блока) составлял в среднем не более 10-ти месяцев со дня отгрузки, что также не позволяет использовать эти изделия для оценки показателей сохраняемости.

Тем не менее, анализ всего массива «уведомлений о вводе в эксплуатацию», полученных изготовителями в 2011 -2012 годах, позволил выявить 15 блоков типа А, поставленных потребителю в 2006, 2007 и 2008 годах тремя партиями на один и тот же объект и хранившиеся до момента их ввода в эксплуатацию не менее 24 месяцев:

- 12 блоков (поставка 2006 года, от отгрузки 17.11.2006 до ввода в эксплуатацию прошло 66 месяцев.);
- 1 блок (поставка 2007 года, от отгрузки 04.10.2007 до ввода в эксплуатацию прошло 56 месяцев.);
- 2 блока (поставка 2008 года, от отгрузки 25.03.2008 до ввода в эксплуатацию прошло 50 месяцев.).

Эти блоки хранились на складе потребителя в течение срока, превышающего 24 месяца. Условия хранения соответствовали заданным в документации на них. Всё это позволяет использовать эти 15 изделий для проведения контрольных испытаний на сохраняемость. Таким образом, объём первой выборки для дополнительных испытаний $N_2 = 15$.

Приемосдаточные испытания 15-ти блоков типа А после снятия их с хранения (см. линию К на рис. 6) проводились в условиях эксплуатирующего предприятия с участием специалистов изготовителя.

При определении срока хранения изделий для этой выборки в качестве определяющего был выбран наименьший срок хранения двух блоков типа А, составивший – 50 месяцев.

Из этого срока была исключена продолжительность логистической задержки [13], составляющей 2 месяца. Отметим, что стандарт [19] допускает такую задержку длительностью до 3 месяцев.

Таким образом, срок хранения выборки из 15 блоков составил 48 месяцев, что соответствует удвоенному сроку сохраняемости, зафиксированному в технических условиях на данное ЦРЗА.



Рис. 8 Нормализация времени хранения блоков у потребителя

После снятия с хранения и получения положительных результатов испытаний было установлено, что отказавших изделий в этой выборке нет, т.е. $r = 0$.

На основании этого можно утверждать, что сделанные ранее выводы по результатам испытаний на сохраняемость при хранении на складе изготовителя остаются в силе.

Значение γ -процента на основании табличных данных для этих 15 блоков равно 0,90 при доверительной вероятности $q = 0,8$, как при $r = 0$, так и при $r = 1$. Таким образом, подтверждена нижняя граница данного показателя.

Третья выборка для дополнительной оценки γ -процентного показателя сохраняемости была составлена из изделий типа К, возвращенных изготовителю после хранения на складе потребителя в течение 17 месяцев.

Не смотря на то, что эти изделия не были введены в эксплуатацию после хранения из-за возникших у потребителя замечаний к этим изделиям, однако все замечания потребителя касались только их внешнего вида, что не влияло на их электрические характеристики.

Причина возврата изделий была признана необоснованной и в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 2.2.3 стандарта ГОСТ 21493-76 [19], все возвращенные изделия были допущены к контрольным испытаниям на сохраняемость.

Испытания третьей группы изделий, возвращенных изготовителю, подтвердили их соответствия требованиям технических условий, исключая замечания по внешнему виду.

Используя данные из табл. 10, принимаем для девяти изделий типа К значение γ -процента равным 0,8 при доверительной вероятности $q = 0,8$ и $r = 0$.

Таким образом, контрольные испытания трёх групп блоков позволили одинаково оценить нижнюю границу γ -процентного показателя сохраняемости.

Обратимся теперь ко второму показателю сохраняемости - среднему сроку сохраняемости $T_{с.ср}$, оценку которого произведем на примере двух выборок.

Первая выборка состоит из 14 изделий типов А и Ж. После хранения этих 14 изделий в течение 16 месяцев (см. линии Е и Д на рис. 6) ни одного отказа не наступило и все изделия сохранили работоспособность.

В соответствии с рекомендациями, изложенными в [26] для плана испытаний **[NUT]** при оценке среднего срока сохраняемости необходима такая исходная информация:

- выборочные значения срока сохраняемости t_1, t_2, t_d ;
- продолжительности испытаний T ;
- объем выборки N .

Выборочные значения срока сохраняемости для всех испытываемых изделий одинаковы, т.е $t_1 = t_2 = t_n = 16$ месяцев.

Продолжительность испытаний $T = 16$ месяцев, а объем выборки $N_1 = 14$. Воспользуемся табл. 28 из стандарта [26] при известном значении N (заштрихованная ячейка в табл. 13).

Таблица 13 . Фрагмент табл. 28 из [26]

d	q	$P(t)$				
		0,800	0,850	0,900	0,950	0,975
0	0,80	7	10	15	31	64
	0,90	10	14	22	45	91
	0,95	13	18	28	58	118
	0,99	21	28	44	90	182
1	0,80	14	19	29	59	119

Стандарт [26] рекомендует вычислять точечные оценки показателей надежности только при $r > 5$.

В связи с тем, что в нашем случае отказы изделий при хранении не зафиксированы, то при оценке среднего срока сохраняемости $T_{ср}$ используем нижнюю доверительную границу вероятности $\underline{P}(T)$.

При объеме выборки $N_1 = 14$ изделия, $q = 0,9$ и $d = 0$ принимаем значение $\underline{P}(T) = 0,85$ (заштрихованная ячейка в табл. 13).

Так как выборка из 14 изделий (см. табл. 9) хранилась 16 месяцев, то суммарный срок хранения этих изделий составил

$T_{\Sigma 1} = 16 \cdot 14 = 224$ месяца (более 150 000 часов)	(11)
---	------

Отметим, что в технических условиях на одно из устройств ЦРЗА средняя наработка на отказ этих изделий составляет 125 000 часов.

На дату проведения испытаний (линия D на рис. 6) подтвержденное значение среднего срока сохраняемости $T_{ср}$ составило 16 месяцев. Если за оставшееся до даты окончания испытаний на сохраняемость время (см. линию K на рис. 6) не будет зафиксировано ни одного отказа ($d = 0$), то средний срок сохраняемости $T_{ср} = 24$ месяца при $\underline{P}(T) = 0,85$.

Если же за этот период времени произойдет отказ одного изделия ($d = 1$), то значение среднего срока сохраняемости $T_{ср}$ останется прежним, но изменятся значение q (уменьшится до 0,8), а $\underline{P}(T)$ станет равным 0,80.

Изделия из второй выборки (см. рис. 14, $N_2 = 15$) хранились у потребителя 48 месяцев.

За время хранения отказов изделий не было зафиксировано. Поэтому средний срок сохраняемости изделий из этой выборки $T_{ср} = 48$ месяцев при $q = 0,8$ и $d = 0$ и $\underline{P}(T) = 0,9$ (см. табл. 13)

Суммарный срок хранения этой выборки составил $T_{\Sigma 2} = 15 \cdot 48 = 720$ месяцев или более 500000 часов, что более чем в три раза превышает значение наработки на отказ, установленное в технических условиях.

5. Оценка надежности на этапе технологического прогона

Для обеспечения надежности выпускаемых изделий в процессе их изготовления предусматривают *технологический прогон* (далее ТП), во время которого изделие работает в соответствии с его назначением.

Этап ТП для изделий бытового назначения регламентирован в стандарте [21], но многие предприятия¹, выпускающие специальные изделия также включают этап технологического прогона в производственный процесс.

Как правило, ТП цифровых устройств осуществляют при повышенной температуре окружающей среды, что позволяет ускорить выявление скрытых дефектов

Наблюдение за изделиями во время проведения ТП позволяет оценить некоторые показатели надежности изделий [26].

При выборе плана испытаний необходимо учитывать, что продолжительность испытаний T каждого изделия задана в технологической инструкции по выполнению этапа ТП, а объём выборки N – планом выпуска изделий. Также необходимо учитывать, что все изделия, проходящие ТП, отнесены к *восстанавливаемым*, ведь после обнаружения дефекта изделие ремонтируют.

Всё сказанное обусловило выбор плана испытаний $[NMT]$, рекомендованный стандартом [17] для восстанавливаемых изделий:

План испытаний $[NMT]$ План $[NMT]$	План испытаний, согласно которому одновременно испытывают N объектов, после каждого отказа объект восстанавливают, каждый объект испытывают до истечения срока испытаний T .
--	--

Буквы в обозначении плана указывают степень и характер восстановления изделия по время испытаний:

- M – объекты, восстанавливаемые во время испытаний;
- N – объём выборки;
- T – время испытаний.

В качестве основной экспериментальной исходной информации для оценки показателей надежности используются данные о наработке и отказах изделий, полученные на этапе ТП.

В связи с тем, что перед началом испытаний неизвестен закон распределения отказов, показатель надежности оценивается с помощью непараметрического метода и непосредственной оценкой показателей надежности.

Такая оценка показателей надежности допустима потому, что все оцениваемые изделия находятся в одинаковых условиях при проведении этапа ТП, а номенклатура показателей надежности всех изделий полностью совпадают.

По результатам наблюдений все проверенные на этапе ТП за этот период изделия были разделены на две большие группы.

В первую группу включены блоки типов **B** и **E**, которые отвечают двум требованиям:

¹ См., например сайты <http://www.avtomatika-d.omskcity.com/Usluge/mo.htm>, <http://www.zao4c.ru/about/>, <http://www.trei-gmbh.ru/k5b04.htm>.

- в изделиях не было обнаружено ни одного дефекта в период ТП;
- в изделиях использованы модули, не применяемые в изделиях других типов.

Определим суммарную наработку этих блоков на этапе ТП за прошедший период, учитывая, что через некоторый промежуток времени после начала наблюдений произошло сокращение продолжительности ТП изделий типа **Е** до 72 часов, а типа **В** до 48 часов.

Информация по этим блокам сведена в табл. 14, где в числителе приведена информация о количестве блоков, проходивших этап ТП в данный промежуток времени. Цифра 0 в знаменателе говорит об отсутствии в изделиях дефектов, выявленных на этом этапе.

Таблица 14. Изделия, в которых не было выявлено дефектов во время ТП

Изделие	$T_{BE} = 96$ ч		$T_B = 48$ ч, $T_E = 72$ ч		Итого	
	шт	T_{Σ} , ч	шт	T_{Σ} , ч	шт	T_{Σ} , ч
В	300/0	28800	192/0	9216	492/0	38016
Е	36/0	3456	5/0	360	41/0	3816
сумма	336/0	32256	197/0	9576	533/0	41832

Наблюдения за работой изделий на этапе ТП позволяют утверждать, что суммарная наработка на отказ всех изделий типа **В** составила не менее 38016 часов, что превосходит указанное в технических условиях значение этой величины.

За указанный период времени не было выявлено ни одного отказа в этих изделиях.

Из-за небольшой программы выпуска изделий типа **Е** их суммарная наработка не достигла значения, указанного в технических условиях. Но отказов изделий этого типа также не было выявлено.

Вторая группа составлена из изделий, в которые вошли устройства несколько типов.

Главное отличие изделий, объединенных в эту группу – во время проведения этапа ТП в изделиях был обнаружен хотя бы один дефект. Информация по количеству изделий и их наработке на этапе ТП сведена в табл. 15. В числителе приведено количество блоков, проходивших ТП в данный промежуток времени, а в знаменателе – количество выявленных на этап ТП дефектов.

Таблица 15. Изделия, в которых были выявлены дефекты на этапе ТП

Изделие	$T_{AJ} = 96$ ч		$T_{AJ} = 96$ ч, $T_{BD} = 72$ ч		Итого	
	шт	T_{Σ} , ч	шт	T_{Σ} , ч	шт	T_{Σ} , ч
АЖ	1670/0	160320	1047/3	100512	2717/3	260832
Б	615/1	59040	227/1	16344	842/2	75384
Д	81/2	7776	80/1	5760	161/3	13536
сумма	2366/3	227136	1354/5	122616	3720/8	349752

Изделия типов **А** и **Ж** собирают из однотипных модулей, поэтому при оценке их показателей надежности они рассматривались как одно изделие типа **АЖ**.

Изделия типа **Б** независимо от исполнения собирают из однотипных модулей, конструкция которых отличается от модулей, используемых в изделиях **АЖ**.

Изделия типа **Д** отличаются тем, что в них не применяют модули, используемые в изделиях типов **АЖ** и **Б**.

Согласно данным, приведенным табл. 15, в изделиях типа **АЖ** на этапе ТП за весь период наблюдений выявлено 3 отказа, в том числе:

- модуля пульта;
- выходного реле;
- одной из клавиш.

Реле и модуль пульта были заменены на исправные. Причиной отказа клавиши (внешнее проявление - устройство не реагировало на нажатие на клавишу) послужило попадание влагозащитного покрытия на соединитель, через который проходит сигнал от клавиши на блок.

Согласно информации, приведенной в табл. 15, суммарная наработка изделий типа **АЖ** всех исполнений на этапе ТП, составила:

$$T_{\Sigma 1} = N1 \cdot T_{np} = 2717 \cdot 96 = 260832 \text{ ч} \quad (12)...$$

При таком значении суммарной наработки $T_{\Sigma 1}$ интенсивность отказов изделий типа **АЖ** составит:

$$\lambda_1 = d1/T_{\Sigma 1} = 3/260832 = 0,012 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} \quad (13) ..$$

Средняя наработка на один отказ:

$$T_{1cp} = 260832/3 = 86944 \text{ ч} \quad (14) ...$$

Значение средней наработки на отказ T_{1cp} получилось несколько меньше, чем определенное по результатам эксплуатации (100000 ч).

Процентная доля отказов для изделий типа **АЖ** всех исполнений, прошедших ТП, равна:

$$\delta_1 = d1/N1 = 3/2717 = 0,11\% \quad (15)...$$

Согласно данным табл. 15, в изделиях типа **Б** на этапе ТП за весь период наблюдений выявлено 2 дефекта, в том числе:

- непрой вывода трансформатора;
- неправильная установка конденсатора при ручном монтаже (несоблюдение полярности).

В связи с тем, что в период наблюдений произошло сокращение продолжительности испытаний на этапе ТП с 96 до 72 ч, суммарная наработка изделий типа **Б** на этапе ТП, составила:

$$T_{\Sigma 2} = T_{\Sigma 21} + T_{\Sigma 22} = 59040 + 16344 = 75384 \text{ ч} \quad (16) ..$$

Так как на этапе ТП изделий типа **Б** выявлено только два отказа, то средняя наработка на отказ для этих изделий составила:

$$T_{2cp} = 75384/2 = 37692 \text{ ч} \quad (17)...$$

Суммарной наработке $T_{\Sigma 2}$ соответствует такая оценка интенсивность отказов изделий типа **Б**:

$$\lambda_2 = d_2/T_{\Sigma 2} = 2/75384 = 0,027 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} \quad (18)...$$

Процентная доля отказов для изделий типа **Б** всех исполнений, прошедших ТП, составляет:

$$\delta_2 = d_2/N_2 = 2/842 = 0,24\% \quad (19)...$$

Суммарная наработка изделий типа **В** на этапе ТП составила:

$$T_{\Sigma 3} = T_{\Sigma 31} + T_{\Sigma 32} = 28800 + 9216 = 38016 \text{ ч} \quad (20)...$$

Отсутствие отказов на этапе ТП не позволяет сделать таких оценок, как это сделано для изделий типов **АЖ** и **Б**. Единственный вывод, который можно сделать по результатам наблюдений – суммарная наработка на отказ изделий типа **В** не менее 38000 ч.

Суммарная наработка изделий типа **Д** на этапе ТП:

$$T_{\Sigma 4} = T_{\Sigma 41} + T_{\Sigma 42} = 7776 + 5760 = 13536 \text{ ч} \quad (21)...$$

Согласно данным, приведенным в табл. 15, в изделиях типа **Д** на этапе ТП за весь период наблюдений выявлено 3 отказа, в том числе:

- конденсатора;
- дисплея (2 случая);

Поэтому при суммарной наработке $T_{\Sigma 4} = 13536$ ч интенсивность отказов изделий типа **Д** составит:

$$\lambda_4 = d_4/T_{\Sigma 4} = 3/13536 = 0,22 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} \quad (22)...$$

Средняя наработка на один отказ изделий типа **Д** составила:

$$T_{4cp} = 13536/3 = 4512 \text{ ч} \quad (23)...$$

Процентная доля отказов для изделий типа **Д** всех исполнений, прошедших ТП, составляет:

$$\delta_4 = d_4/N_4 = 3/161 = 1,9\% \quad (24)...$$

Суммарная наработка изделий типа **Е** на этапе ТП составила:

$$T_{\Sigma 5} = T_{\Sigma 51} + T_{\Sigma 52} = 3456 + 360 = 3816 \text{ ч} \quad (25)...$$

Отсутствие отказов изделий типа **Е** на этапе ТП не позволяет сделать таких оценок, как это сделано выше для изделий типов **АЖ**, **Б** и **Д**.

Единственный вывод, который можно сделать – суммарная наработка на отказ изделий типа **Е** за период наблюдения составила не менее 3816 ч, что обусловлено небольшим объемом выпуска изделий данного типа, испытанных на этапе ТП.

Результаты проведенных расчетов сведены в табл. 16

Таблица 16 Оценка показателей надежности на этапе ТП

Показатель	Изделие				
	АЖ	Б	В	Д	Е
T_{Σ} , ч	260832	75384	38016	13536	3816
Λ , ч ⁻¹	$0,012 \cdot 10^{-3}$	$0,027 \cdot 10^{-3}$	-	$0,22 \cdot 10^{-3}$	-
δ , %	0,11	0,24	-	1,90	-
$T_{ср}$, ч	86944	37692	38016	4512	3816
d , шт	3	2	-	3	-

Следует отметить, что небольшая программа выпуска ряда изделий и отсутствие отказов во время этапа ТП, в особенности изделий типов **В** и **Е**, не позволяет произвести оценку некоторых характеристик, поэтому в некоторых строках табл. 16 поставлен прочерк.

По данным, приведенным в табл. 16, построены диаграммы (рис. 9), наглядно иллюстрирующие некоторые характеристики надежности разных изделий.

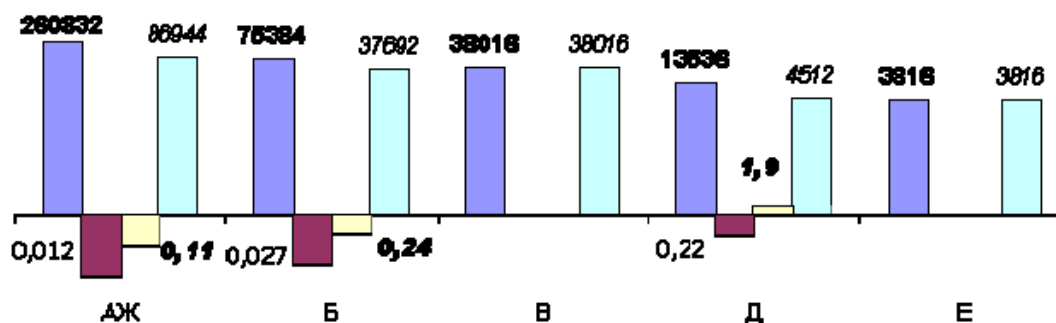


Рис. 9 Расчетные и экспериментальные оценки показателей надежности

Во время наблюдений за изделиями, проходящими этап ТП, особое внимание было уделено определению времени обнаружения дефекта. С этой целью осмотр изделий после установки на стенд ТП в первые сутки проводился через 1 час после включения, а затем через каждые 2 часа после включения. Во вторые и последующие сутки наблюдения проводились каждые 2 часа. Во вторую смену и в выходные дни наблюдения за работой изделий не проводилось.

В результате наблюдения было установлено, что 8 дефектов (см. табл. 16) по времени их выявления от начала этапа ТП распределялись следующим образом:

- 3 дефекта были выявлены через 1 час;
- 2 дефекта были выявлены через 2 часа;
- 2 дефекта были выявлены через 4 часа;
- 1 дефект был выявлен через 30 часов.

Небольшое количество дефектов и различный их характер не позволяют отнести их к **приработочным**.

Ведь три дефекта из восьми вызваны ошибками исполнителей - неправильной установкой элемента, несоблюдением режима пайки, небрежностью при нанесении влагозащитного покрытия.

Поэтому определение продолжительности этапа ТП по методикам, рекомендованным стандартом ГОСТ 23502-79 [21], не проводилось.

Новые значения продолжительности этапа для изделий разных типов были определены на основе информации, полученной от эксплуатирующих предприятий.

Отсутствие претензий от эксплуатирующих организаций и дефектов на всех этапах производства изделий типа **В** позволило предложить радикальное сокращение продолжительности их испытаний на этапе ТП до 24 часов.

Из-за наличия единичных претензий от эксплуатирующих организаций и выявления одного дефекта после 30 часов испытаний на этапе ТП, было предложено сократить продолжительность этапа ТП изделий типов **Б, Д, Е** до 48 часов.

В связи со значительным расширением объема производства изделий типа **АЖ** и сменой контрагента, поставляющего основные модули данных изделий, продолжительность этапа ТП для оставлена прежней – 96 час.

Оценим экономию, которая будет получена в результате такого сокращения длительности ТП для выборки из 4253 изделий (см. табл. 15, 16).

Суммарная продолжительность пребывания всех 4253 изделий на стенде во время проведения этапа ТП при стандартной продолжительности прогона $T = 96$ ч составила бы:

$$T_1 = (533+3720) \cdot 96 = 408288 \text{ ч} \quad (26)...$$

Фактически же для ТП этого числа изделий потребовалось $(41382 + 349752) = 391134$ часа. Таким образом, экономия времени составила:

$$\Delta T = (408288 - 391134) = 17154 \text{ ч} \quad (27)...$$

За данный промежуток времени в зависимости от продолжительности ТП можно дополнительно испытать не менее:

- 170 изделий (при продолжительности ТП 96 часов);
- 238 изделий (то же, 72 часа);
- 357 изделий (то же, 48 часов).

На этапе ТП в цифровые устройства релейной защиты устанавливаются специальные технологические программы, обеспечивающие подачу сигналов с выходов устройств на их входы (рис. 10), что позволяет имитировать работу входных ячеек, выходных реле, и других элементов устройства. Для «усиления» воздействия внешних факторов ТП проводят при повышенной температуре окружающей среды.

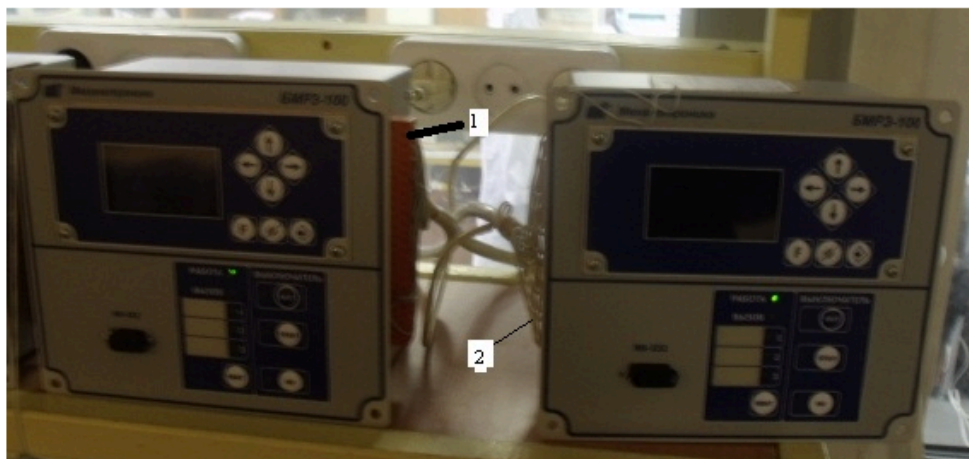


Рис. 10 Цифровые устройства на испытательном стенде ТП:
1, 2 – жгуты, соединяющие входы и выходы устройства

Для обеспечения непрерывного контроля за состоянием изделий, проходящих этап ТП, разработана и внедрена программа наблюдения за изделиями, рассчитанную на применение многопортовых интеллектуальных плат RS-232/422, обеспечивающих установку до 128 последовательных портов в один компьютер и не требующих организации сети (рис. 11).

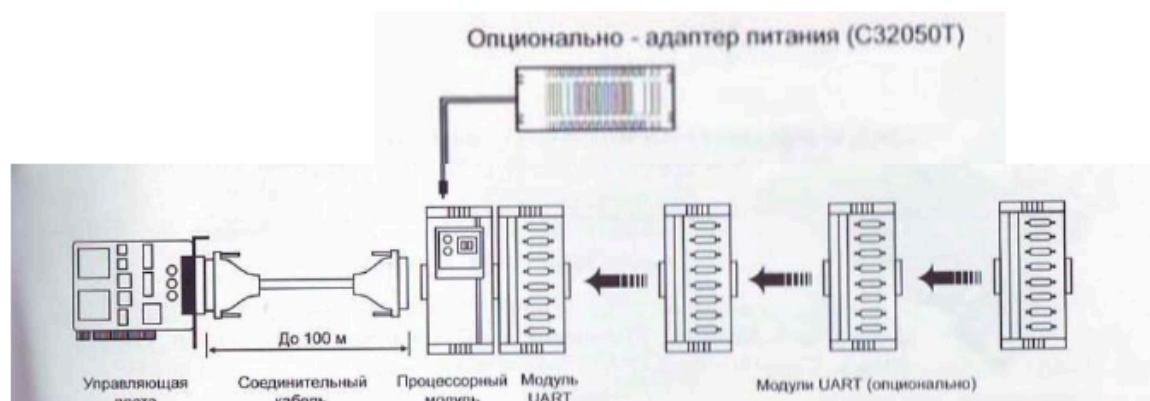


Рис. 11. Дополнительное оборудование для стенда ТП

Переход на программный контроль блоков, находящихся на стенде ТП, позволяет не только задавать необходимую частоту опроса блока, но и фиксировать результаты опроса, а также хранить их в виде электронного файла, освобождая исполнителя от необходимости вести записи параметров.

Для того, чтобы не загружать исполнителей вводом сетевого номера блока и не организовывать на стенде ТП сеть АСУ через порты RS-485 или ВОЛС (в зависимости от исполнения блока), на стенде использованы многопортовые интеллектуальные платы RS-232/422 производства Moxa Technologies.

Программа контроля для этапа ТП предусматривает процедуру, исключающую запись сетевого адреса в память блока. После установки на стенде ТП блока и подключения соединителя к порту RS-232 в

соответствующем окне программы появляется надпись с просьбой ввести заводской номер блока (рис. 12).

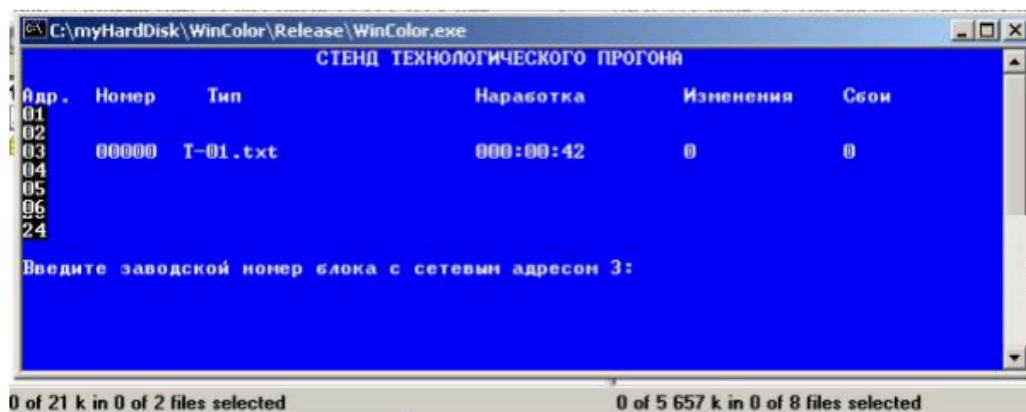


Рис. 12 Окно для записи сетевого адреса блока

После введения заводского номера окно изменяется и в нем в строке, соответствующей месту установки блока появляется соответствующая запись (рис. 13). Кроме этого, в строке появляется запись о наличии изменения и времени наработки блока после его подключения.

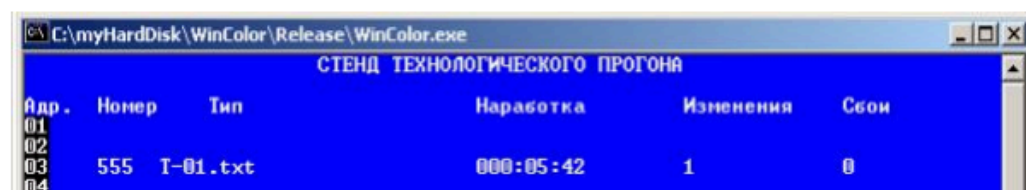


Рис. 13. Запись заводского номера блока в строке сетевого адреса

После регистрации заводского номера блока программа организует соответствующую страничку, на которой содержится информация о блоке – время, показываемое часами блока, накопительная информация, состояние блока, состояние выключателя, положение выключателя, вид управления, информация по состоянию дискретных входов и выходов и др. .Здесь же записана информация о переводе блока в режим дистанционного управления.

Для иллюстрации работы программы принудительно переведем изделие в режим дистанционного управления и выдвинем модуль аналоговых сигналов МАС. После этого в основном окне программы появилась запись о сбое с указанием времени (рис. 14).

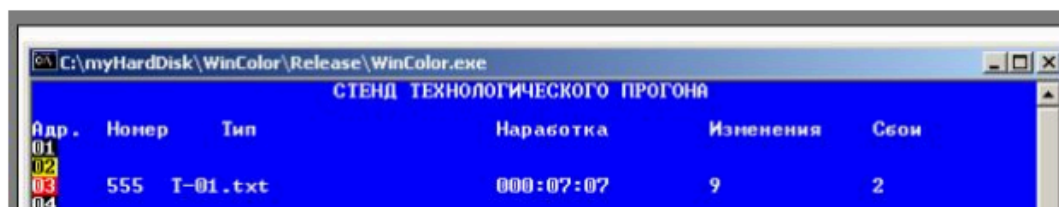


Рис. 14 Информация о наработке, изменениях и сбоях

При очередном опросе данного блока программа записывает в блокнот соответствующую информация об изменениях, произошедших в блоке, занимающем позицию 3 на стенде ТП (рис. 15).

```

555 ЭТ-01 - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Справка
Наработка  000:07:28

                РЕГИСТРАЦИЯ
Блок          555 ЭТ-01.txt
Время блока  12.12 22:57:38
Время сети   23.03 09:42:28
Накопительная информация  018:244
Состояние блока      Исправен
Состояние выключателя Исправен
Положение выключателя Неопределенное
Работа защит
Сигнал вызов        Есть
Управление          Местное
Дискретные входы    00000000 00000000 10000000
Дискретные выходы   00000000 00000000 00000000
Аппаратные сбои

23.03 09:47:07  Управление дистанционное

23.03 09:49:29  Блок: Отказ
23.03 09:49:29  Дискретные входы: 00000000 00000000 11111111
23.03 09:49:29  Дискретные выходы: 00000000 10000000 00000000
23.03 09:49:29  Сбой МАС
23.03 09:49:29  Неисправность МАС

23.03 09:49:35  Блок: Исправен
23.03 09:49:35  Дискретные входы: 00000000 00000000 10000000
23.03 09:49:35  Дискретные выходы: 00000000 00000000 00000000

```

Рис. 15 Информация, содержащаяся в блокноте

После установки модуля МАС на место в блокноте будет записана соответствующая информация о новом состоянии блока – блок исправен.

Таким образом, если блок снимали со стенда для ремонта отказавшего модуля, то без участия исполнителя в блокноте будет зафиксирована соответствующая информация.

Лист 1 из 11

6. Оперативный контроль надежности цифровых устройств

Контроль надежности цифровых устройств не ограничивается оценкой тех или иных показателей надежности при проведении контрольных испытаний согласно требованиям, установленным в стандарте [13].

В промежутках между контрольными испытаниями на надежность на предприятии-изготовителе ЦРЗА анализируют информацию, получаемую от эксплуатирующих организаций за разные промежутки времени:

- месяц;
- квартал;
- полугодие
- календарный год (при составлении годовых отчетов по качеству);
- весь период выпуска изделий, производство которых прекращено.

Одновременно анализируется информация о дефектах, выявленных в процессе производства, а также при проведении приёмосдаточных испытаний цифровых устройств.

Цифровые устройства релейной защиты, информация о работе которых анализируется в данном разделе, можно разделить на две большие группы:

- блоки типа А;
- блоки типа Б.

В блоках типа А использованы модули кассетного типа, замена которых доступна пользователю. Логику работы блоков этого типа может изменить только производитель (так называемые блоки с жесткой логикой).

Конструктивным отличием блоков типа Б является этажерочное расположение модулей. Для блоков этого типа производитель разрешает потребителю самостоятельную замену только модуля трансформаторов и модуля пульта (со светодиодами или дисплеем). Логику работы блоков этого типа может изменить пользователь (так называемые блоки с гибкой логикой).

За первый месяц одного из кварталов было возвращено 10 блоков типа А (рис. 16, а) и 15 блоков типа Б (рис. 16, б).

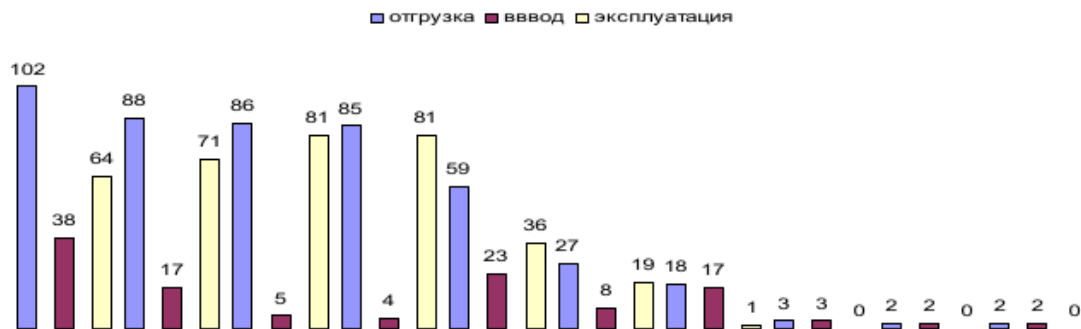
Предварительная оценка¹ надежности устройств позволяет определить, что суммарное количество возвращенных за первый месяц изделий соответствует 0,03 обращения на 100 блоков, находящихся в эксплуатации и 0,14 обращения на 100 блоков, выпущенных за предыдущий год.

При анализе причин возвращения блоков на основании информации о дате отгрузки, времени хранения у потребителя до момента ввода изделия в эксплуатацию и продолжительности эксплуатации изделия перед его возвращением изготовителю можно определить:

- срок хранения изделия у потребителя;
- средний срок ввода изделий в эксплуатацию после отгрузки;
- наработку до отказа данного изделия;
- наработку между отказами (при наличии повторного возврата);
- наработку на отказ и другие характеристики.

¹ См. [Способ оценки надежности цифровых устройств релейной защиты](http://www.rza.org.ua/blog/a-43.html)// [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.rza.org.ua/blog/a-43.html>

а)



б)

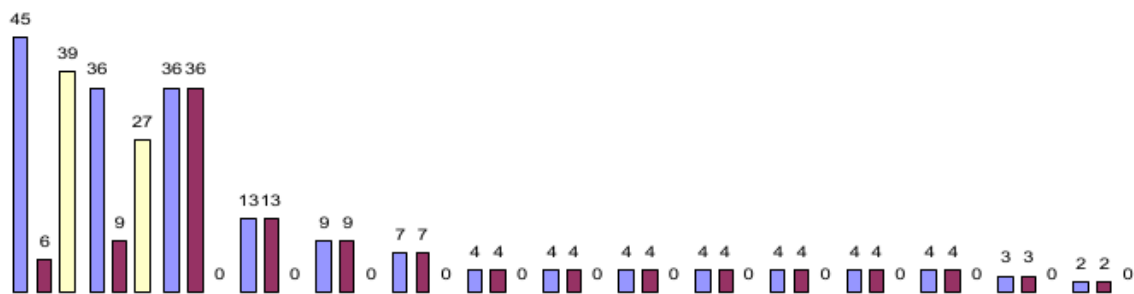


Рис. 16 Информация об отгрузке, хранении и эксплуатации блоков типа А (а) и Б (б), возвращенных в первом месяце квартала

В дальнейшем полученная информация о сроках хранения изделий у потребителя от даты отгрузки до даты ввода в эксплуатацию может быть использована для оценки показателей сохраняемости изделий.

Для 25 блоков, возвращенных в первый месяц квартала, среднее время, прошедшее с даты отгрузки изделия до момента его ввода в эксплуатацию составило 11,9 месяца для изделий типа А и 7,53 месяца для изделий типа Б (рис. 17).

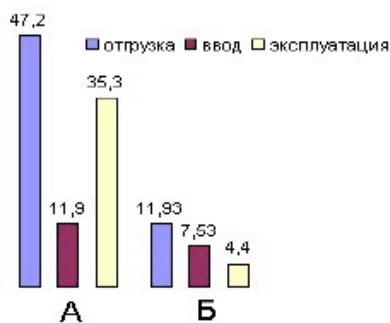


Рис. 17 Первый месяц квартала. Средние значения времени:
 - от отгрузки до возврата;
 - от отгрузки до ввода в эксплуатацию;
 - эксплуатации.

Лист 3 из 11

Если в первый месяц квартала значения характеристик блоков типа А и Б существенно отличались, то к концу квартала их значения сравнялись (рис. 18).

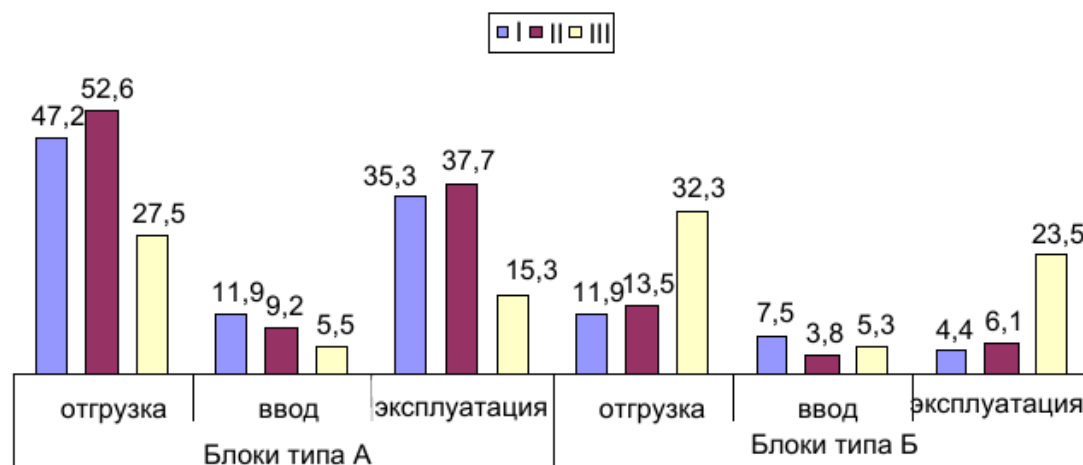


Рис. 18 Изменение средних значений в течение квартала:

Отгрузка – время, прошедшее от отгрузки до возврата;

Ввод – время от отгрузки до ввода в эксплуатацию;

Эксплуатации – продолжительность эксплуатации.

I, II, III – месяцы квартала

При определении времени, прошедшего от момента отгрузки до ввода в эксплуатацию, было установлено, что потребители успевают ввести изделие в эксплуатацию за время, практически в 5 раз меньше среднего срока сохраняемости, установленного в технических условиях на эти изделия.

Несколькими годами ранее среднее время ввода данных изделий в эксплуатацию составляло не менее 17 месяцев.

Помимо указанных выше временных характеристик, для каждого из возвращенных изделий на предприятии-изготовителе выясняют причину его возврата.

Например, в первый месяц квартала из десяти блоков типа А один был возвращен спустя 1 месяц после ввода блока в эксплуатацию из-за механического повреждения эксплуатирующим персоналом печатной платы (рис. 19).

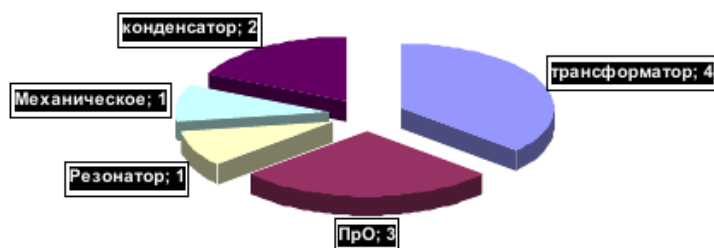


Рис. 19 Причины возврата блоков типа А в первом месяце квартала

Причинами возврата шести блоков за этот же месяц стали:

- отказ двух конденсаторов в одном из блоков через 64 месяца эксплуатации;
- отказы трансформаторов одного и того же типов в двух блоках, установленных на одной подстанции, после 81 месяца их эксплуатации;
- отказы трансформаторов в цепях измерения аналоговых сигналов двух блоков (через 19 в одном и через 36 – в другом), эксплуатировавшихся на разных подстанциях;
- отказ резонатора в одном из блоков после 71 месяца его эксплуатации².

Наконец, ещё 3 блока были возвращены из-за выявленной потребителем ошибки программного обеспечения ПрО.

При анализе ошибок ПрО, выявленных в 3 возвращенных блоках было установлено, что фактически это оказалась одна ошибка ПрО, «повторенная» во всех блоках этой модификации.

Для устранения этой ошибки во всех отгруженных блоках, потребителям было отправлено исправленное ПрО с инструкцией по его замене.

Причины возврата блоков типа Б имеют несколько иной характер. Например, 7 блоков из 15 (46%) были возвращены из-за повреждения резисторов после подачи пользователем на измерительный вход напряжения, превышающего 300 В (рис. 20).

² От использования резонаторов этого типа предприятие отказалось несколько лет назад, сразу же после получения первых претензий к работе блоков с элементами этого типа.

Лист 5 из 11

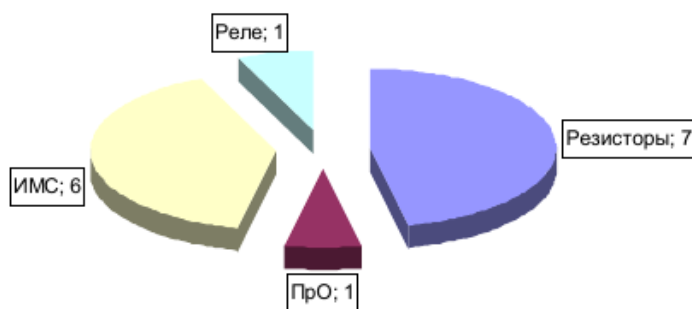


Рис. 20 Причины возврата блоков типа Б в первом месяце квартала

Причина повреждения программного обеспечения пользователем в одном из возвращенных за первый месяц квартала блоков не установлена.

В одном из возвращенных блоков отказало реле, шесть из 15 блоков были возвращены из-за отказа интегральных микросхем. При этом две из шести интегральных микросхем отказали после 27 и 39 месяцев эксплуатации, а четыре – во время пуско-наладочных работ.

Информация о времени отгрузки и возвращения блоков (см. рис. 16) позволила определить характер распределения отказов для блоков типа А во времени. При построении диаграммы (рис. 21) из рассмотрения исключены

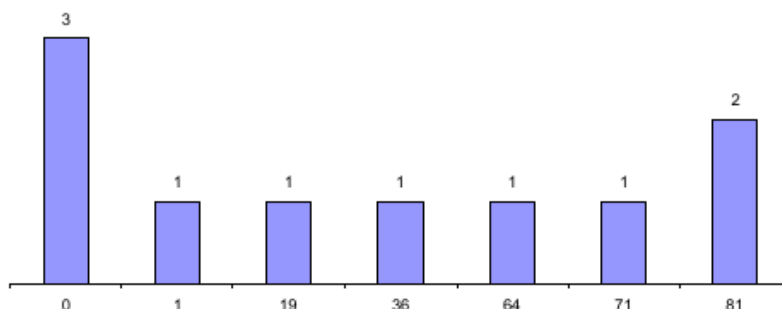


Рис. 21 Распределение во времени отказов в блоках типа А, возвращенных в первом месяце квартала

четыре случая возврата блоков, не связанные с их надежностью:

- механическое повреждение печатной платы (виновник эксплуатирующее предприятие);
- ошибка ПрО (виновник – разработчик изделия).

При построении аналогичной диаграммы для блоков типа Б из рассмотрения исключены возвраты блоков, в которых по вине эксплуатирующего предприятия повреждены резисторы (7 случаев) и одного блока с поврежденным по неустановленной причине программным обеспечением (рис. 22).

Лист 6 из 11

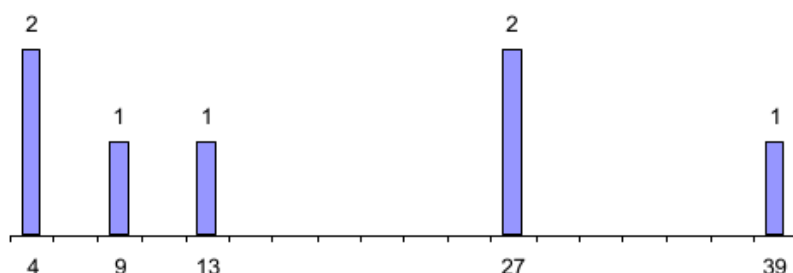


Рис. 22 Распределение во времени отказов в блоках типа Б, возвращенных в первом месяце квартала

Сравнение диаграмм, приведенных на рис. 21, 22 подтверждает случайный характер распределения отказов во времени для блоков, возвращенных изготовителю за первый месяц квартала.

Причинами возврата 23 блоков типа А за следующие два месяца квартала стали отказы 18 элементов, в том числе (рис. 23):

- 5 конденсаторов;
- 6 трансформаторов;
- 1 резонатора;
- 2 реле;
- 3 ИМС;
- 1 варистор.

Ещё два блока были возвращены из-за механических повреждений по вине потребителя.

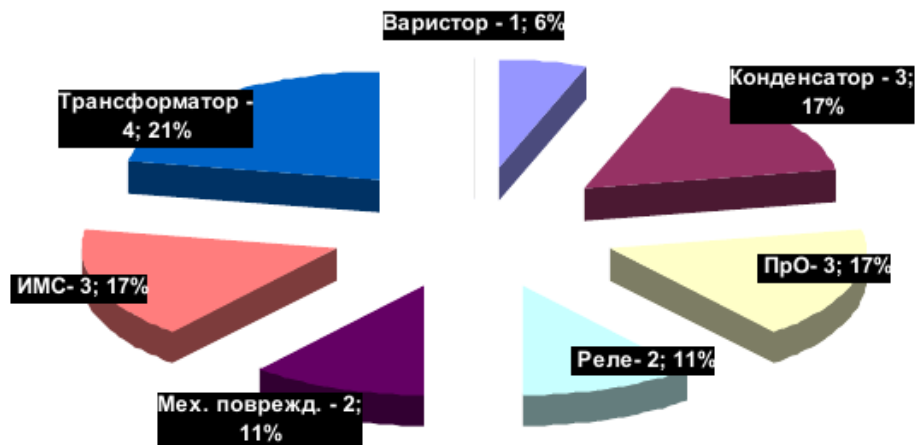


Рис. 23 Причины возврата блоков типа А во втором и третьем месяцах квартала

Причинами возврата блоков типа Б за следующие два месяца квартала стали отказы 4 элементов, ошибки ПрО и термическое повреждение блока (рис. 24).

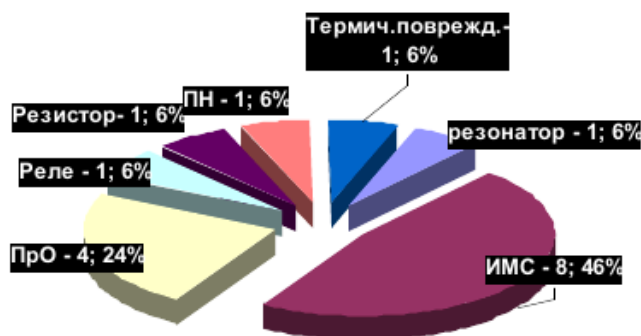


Рис. 24 Причины возврата блоков типа Б во втором и третьем месяцах квартала

Всего за этот квартал были возвращены в результате неправильных действий потребителя:

- один блок, поврежденный потребителем в результате термического воздействия на него;
- восемь блоков на аналоговый вход которых было подано напряжение, превышающее 300 В (допустимое напряжение 264 В).

Причинами возврата 19 блоков типа Б стали отказы 17 элементов, в том числе:

- 2 реле;
- 14 ИМС;
- 1 резонатора.

В связи с тем, что ПрО блоков типа Б может быть изменено потребителем, необходимо учесть, что в 4 блоках были выявлены различные ошибки ПрО, возникшие по вине пользователя.

Проведенный анализ показал, что отказы в изделиях происходят в основном после длительной эксплуатации (из 25 возвращенных изделий четыре находились в эксплуатации более 80 месяцев, а доля так называемых приработочных отказов совсем невелика, что вызвано проведением технологического прогона [21] изделий в процессе их изготовления.

Значительная часть блоков (до 36% для блоков типа Б) была необоснованно возвращена изготовителю, так как причиной их неправильной работы на месте эксплуатации были признаны ошибки, неправильные действия и нарушения правил эксплуатации цифровых изделий пользователем.

Описанная выше методика была применена для анализа замен комплектующих элементов, произведенных при изготовлении, настройке и испытаниях, а также ремонте возвращенных изделий за одно полугодие (табл. 17).

Табл. 17 Информация о замене комплектующих элементов на 100 выпущенных блоков

ЭРЭ	Месяц							ИТОГО
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	
Варисторы (+вставки плавкие)	-	0,33	1,01	0,40	0,33	0,60	0,04	0,42
Диоды разные	0,46	0,41	0,14	0,32	0,12	0,94	0,26	0,36
Моточные изделия	0,54	0,52	0,22	0,87	0,42	0,60	0,60	0,53
Индикаторы	0,85	0,17	0,08	0,15	0,12	0,25	0,17	0,21
Конденсаторы	1,32	1,05	1,05	0,47	1,70	0,35	0,69	0,93
Микросхемы	2,64	1,57	2,88	2,34	3,81	2,97	2,09	2,52
Оптопары разные	0,15	0,03	0,04	0,36	0,13	-	0,04	0,10
Резисторы разные	1,16	0,66	0,75	0,08	1,70	0,99	2,35	1,19
Резонаторы	0,15	-	0,07	0,11	0,04	0,10	0,04	0,06
Реле	1,32	0,44	0,45	0,61	0,42	0,30	0,08	0,47
Транзисторы	1,48	1,81	0,63	0,98	0,68	2,72	-	1,17
Всего на 100 изделий	10,08	6,99	7,30	7,65	9,47	9,82	6,39	7,94

Лист 9 из 11

Для сокращения объема таблицы некоторые элементы объединены в группы. Так, в одну группу объединены конденсаторы и ионисторы (за рассматриваемый период было заменено всего 2 ионистора), варисторы и плавкая вставка (при отказе варистора перегорает плавкая вставка), резисторы и резисторные сборки.

Также в одну группу «моточные изделия» объединены трансформаторы и дроссели.

Динамика замен для элементов всех типов на 100 выпущенных изделий в процессе производства, настройки и испытаний представлена на рис. 25.

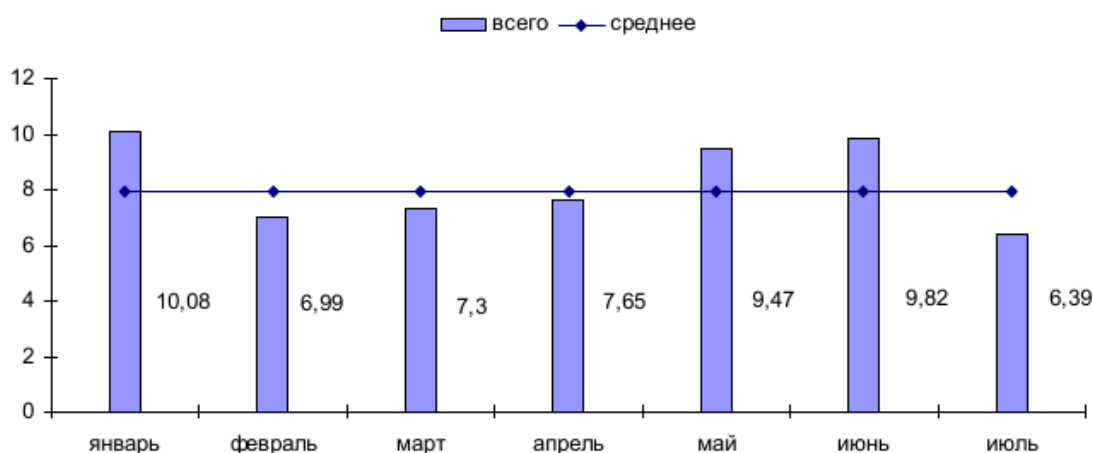


Рис. 25 Количество замен элементов на 100 выпущенных цифровых устройств

Среднее значение замен за рассматриваемый период составило 7,95 элемента на 100 выпущенных изделий.

Для удобства графического представления все элементы разделены на две группы по количеству замен.

Первую группу составили микросхемы, резисторы, транзисторы и конденсаторы (рис. 26)

Лист 10 из 11

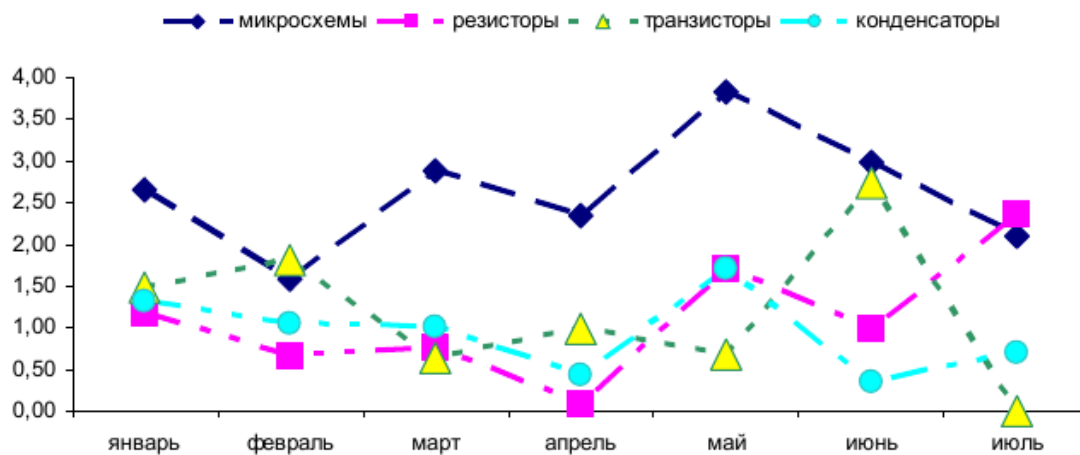


Рис. 26 Замены элементов первой группы

Вторую группу (рис. 27) – реле, моточные изделия, диоды, индикаторы и варисторы (+плавкие вставки).

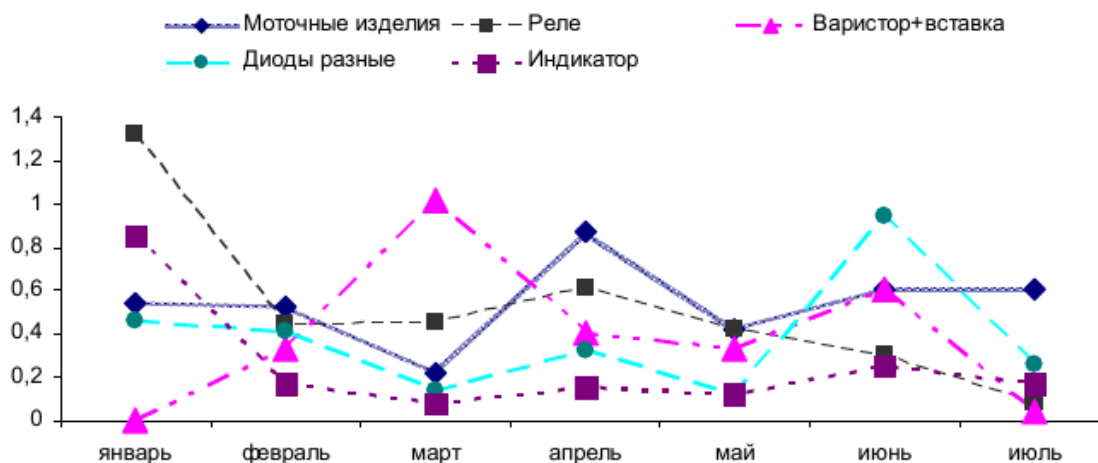


Рис. 27 Замены элементов второй группы

Вопреки распространенному мнению, наибольшее количество замененных в процессе производства, настройки и испытаний элементов в первой группе пришлось на микросхемы различных типов – 2,52 элемента на 100 изделий. Относительное число замен конденсаторов существенно меньше – 0,93 на 100 блоков.

Во второй группе элементов наиболее заменяемыми оказались моточные изделия (0,53 на 100 блоков) и реле (0,47 на 100 блоков).

Меньше всего заменено таких элементов как резонаторы (0,06 на 100 блоков), оптопар и оптронов (0,10 на 100 блоков).

Лист 11 из 11

Непрерывный анализ заменяемых элементов позволяет оперативно контролировать их качество и принимать превентивные меры для замены поставщиков или наименее надежных элементов.

Одной из предпосылок для организации такого контроля послужил предусмотренный системой менеджмента качества порядок выдачи комплектующих для их замены в изделиях, отбракованных на участках сборки, настройки, приемо-сдаточных испытаний и ремонта.

В соответствии с процедурой элементы со склада выдают только на основании специального талона, в котором указывают наименование и заводской номер изделия, заменяемый в нем элемент и участок, где был выявлен элемент, подлежащий замене.

Приведенные на рис. 26, 27 графики позволяют выявить характер (случайный или систематический) отказов элементов тех или иных типов и номиналов, выпущенных различными предприятиями или приобретенными у разных поставщиков.

Для точечных изделий, поставляемых по кооперации, данный способ контроля позволяет обратить внимание изготовителей на те или иные скрытые недостатки выпускаемых ими изделий, которые нельзя выявить на входном контроле.

Раздел 7

7. Анализ причин возврата цифровых устройств

Одним из самых неприятных моментов для любого производителя является возврат потребителями изделий, успешно прошедших приемосдаточные испытания в условиях предприятия.

В настоящее время практически только автомобильные заводы широко информируют потребителей о причинах возврата и количестве возвращенных (отозванных) автомобилей. Эксперты прогнозируют, что масштабы отзывных кампаний будут только расти - из-за ужесточения позиции регуляторов и усложнения технологий производства, при которых одни и те же компоненты используются по всему модельному ряду.

Например, производя за год около 10 млн автомобилей в год, концерн Toyota согласно сообщениям¹ отзывает 885 тысяч машин, выпущенных в 2011 и 2012 годах, что составляет 4,17% от общего объема выпуска за это время.

Понятно, что чем больше объем выпуска изделия, тем более масштабным может стать возврат изделий даже из-за одной-единственной тиражированной ошибки производителя.

Для исключения таких «отзывных» компаний предприятия должны самым тщательным образом контролировать возврат потребителем каждого изделия.

Диаграмма, показывающая динамику возвращения изделий в 2009-2013 годах на одном из предприятий, выпускающих ЦРЗА приведена на рис.28.

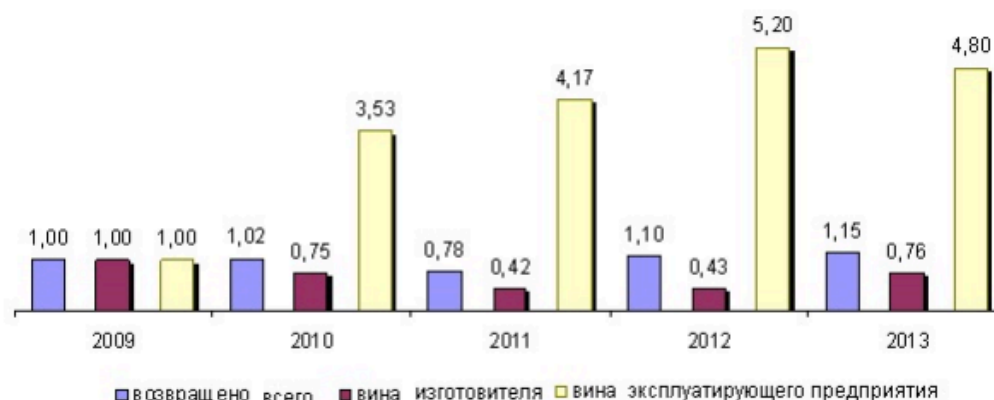


Рис. 28 Изменение причин возврата изделий за 2009 – 2013 годы

Количество возвращенных изделий оставалось неизменным в 2009 и 2010 годах, в 2011 году отмечено снижение количества возвращенных изделий на 22%, а в 2012 и 2013 годах отмечено увеличение числа возвращенных изделий на 10% и 15% соответственно.

При исследовании возвращенных изделий для простоты и удобства на предприятии выделяют три причины возврата:

- по вине изготовителя (в том числе из-за отказа электронных компонентов, поставляемых контрагентами);
- по вине эксплуатирующего предприятия;

¹ Toyota отзывает 885 тысяч автомобилей // [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.dni.ru/auto/2013/10/18/262165.html>

Раздел 7

- необоснованный возврат.

Изделие считают возвращенным необоснованно, когда оно при проверке в условиях предприятия-изготовителя оказывается соответствующим требованиям, установленным в технической документации.

Такая классификация причин возврата разделяет весь поток возвращенных изделий на несколько потоков, позволяет оценить их характеристики и объективно решает вопрос о том, кто должен возмещать затраты, понесенных предприятием-изготовителем из-за:

- необоснованного возврата изделий эксплуатирующим предприятием;
- возврата изделий, поврежденных эксплуатирующим предприятием.

При анализе причин возврата изделий в 2013 году было установлено, что по вине изготовителя было возвращено в среднем 40% изделий, а возврат остальных 60% произошел по вине эксплуатирующих предприятий (рис. 29, правый столбик «Все возвращенные блоки»).

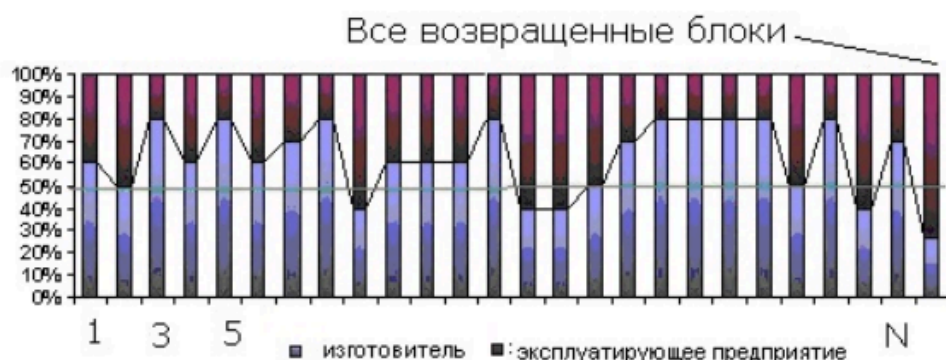


Рис. 29 Виновники возврата блоков в 2013 году
[1,3, 5, N – группы блоков]

Все возвращенные в 2013 году блоки разделены на N групп, составленных из одинакового количества блоков. Для каждой из таких групп определены доли возврата по вине изготовителя и по вине эксплуатирующего предприятия.

При анализе причин возврата прежде всего устанавливают время, прошедшее от даты отгрузки изделия до его возврата предприятию-изготовителю (рис. 30). Данная диаграмма составлена для всех возвращенных в 2013 году изделий без учета их типа и исполнения.

Согласно принятой на предприятии практике гарантийный срок на изделие в общем случае отсчитывается от даты его отгрузки. При известной дате ввода изделия в эксплуатацию, гарантийный срок начинается с этой даты. В любом случае гарантийный срок не превышает 3,5 года от даты отгрузки.

Раздел 7

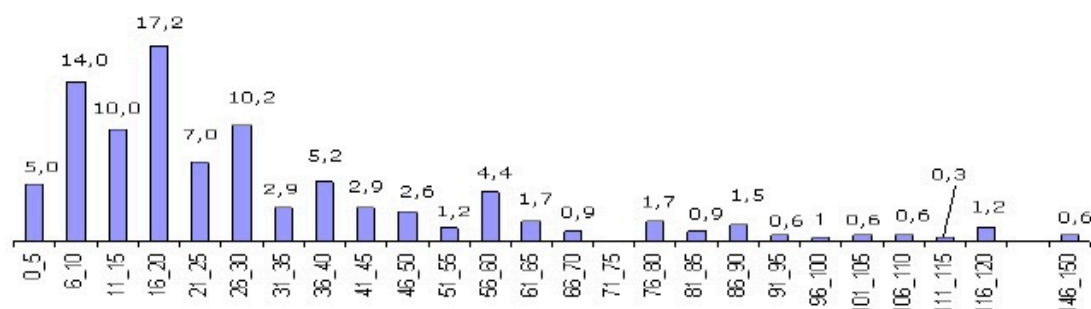


Рис. 30 Процентная доля возвращенных в 2013 году изделий в зависимости от прошедшего после отгрузки времени, мес

При исследовании причин возврата установлено, что в 2013 году для 68% возвращенных изделий от даты отгрузки до даты возврата прошло не более 30 месяцев.

Остальные 32% процента изделий были возвращены после истечения гарантийного срока.

Важной временной характеристикой возвращенных изделий является их наработка (время, прошедшее от даты ввода в эксплуатацию до даты возвращения).

Отметим, что 53% изделий, возвращенных в 2013 году, имели нулевую наработку, т.е. замечания по их работе, послужившие основанием (здесь лучше сказать – **поводом**) для возвращения, возникли во время его настройки на объекте или в лаборатории эксплуатирующей организации.

Ещё для 20% возвращенных изделий получить от эксплуатирующей организации достоверную информацию о наработке оказалось невозможным.

Около 3,5 % возвращенных в 2013 году изделий имеют наработку не превышающую 1 месяц, а время прошедшее от даты отгрузки этих изделий до их возвращения находится в диапазоне от 6 до 30 месяцев.

В то же время, 8,7% возвращенных в 2013 году проработали до возврата на предприятие не менее 75 месяцев, а 3,7% - проработали не менее 96 месяцев. Процентное распределение количества возвращенных в 2013 году изделий, наработка которых находится в диапазоне от 1 до 24 месяцев показано на рис. 31.

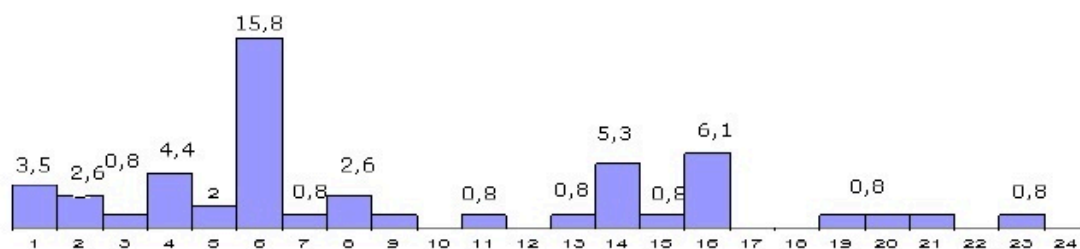


Рис. 31 Изменение процентной доли возвращенных в 2013 году изделий в зависимости от их наработки, мес

Раздел 7

«Собирание» в одну группу изделий, наработка которых находится в интервале от начала одного месяца до конца другого, может создать ложную картину изменения числа возвращенных изделий во времени.

Если выбрать другой масштаб по оси времени, например 1 неделя вместо 1 месяца, оказывается, что в среднем в неделю поступает не более 2 % от всех возвращенных в рассматриваемом году изделий (рис. 32).

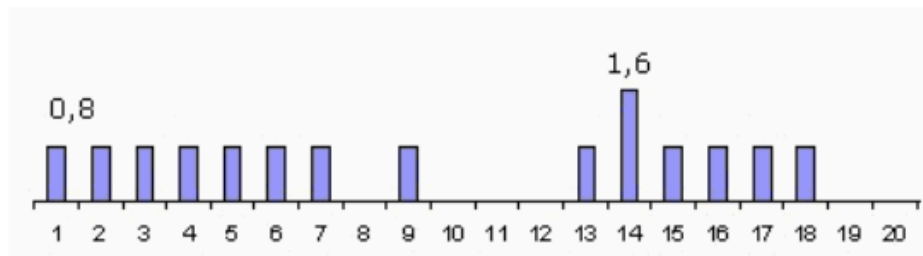


Рис. 32 Изменение процентной доли возвращенных в 2013 году изделий в зависимости от их наработки, недель

Сравнивая диаграммы, приведенные на рис. 30 и 31, можно предположить, что «приработочные» отказы изделий отсутствуют, что обусловлено наличием этапа технологического прогона [21] всех выпускаемых изделий.

Отсутствие «приработочных» отказов будет показано ниже при анализе потоков возвращенных из-за отказов тех или иных элементов устройств.

До сих пор рассматривались временные характеристики возврата всех изделий, без подразделения их на типы и исполнения, а также без учета причины возврата.

Поток всех возвращенных на предприятие изделий может быть представлен как совокупность нескольких потоков, разных для каждого типа изделий. В данном разделе рассмотрен анализ потока возврата изделий одного типа. В предыдущих разделах это изделие обозначено как изделие типа **Б**.

В общем количестве всех возвращенных в 2013 году изделий доля изделий типа **Б** составила 44,6%, тогда как доля изделий этого типа в общем количестве изделий, находящихся в эксплуатации, не превышает 30%.

По отношению ко всем изделиям типа **Б**, находящимся в эксплуатации на конец 2013 года, доля возвращенных в 2013 году составила 0,48%.

Общий поток возвращенных изделий типа **Б** разделим на несколько потоков, начав с тех изделий типа **Б**, возврат которых на предприятие-изготовитель был признан необоснованным.

После испытаний в условиях предприятия возврат 19,6% изделий типа **Б** был признан необоснованным, причем минимальное время возврата составило 2,5 месяца, а максимальное - 42 месяца после отгрузки (рис. 33).

Среднее время возврата $T_{\text{возвр ср}} = 21,5$ мес, медиана $T_{\text{возвр мед}} = 20$ месяцев, дисперсия времени возврата $\sigma'^2_{\text{возвр}} = 151,3$, а среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\text{возвр}} = 2,24$ мес.

Отметим, что около 70% необоснованно возвращенных изделий поступили на предприятие до истечения гарантийного срока, а остальные - после окончания гарантийного срока. Такое же соотношение характерно и для всей выборки возвращенных изделий типа **Б**.

Раздел 7

Как правило, необоснованный возврат изделий происходит во время выполнения пуско-наладочных работ (наработка отсутствует), однако в 2013 году были необоснованно возвращены изделия, находившиеся в эксплуатации от 16 до 38 месяцев. Для 50% возвращенных изделий типа **Б** установить наработку не удалось, так как не все предприятия фиксируют дату ввода изделий в эксплуатацию.

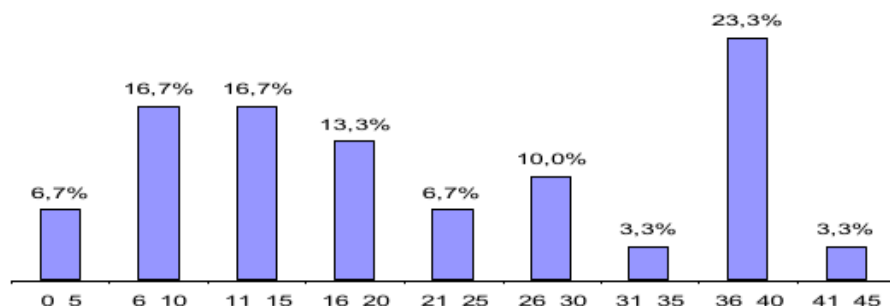


Рисунок 33. Изменение процентной доли необоснованно возвращенных изделий в зависимости от времени, прошедших после отгрузки, мес

В связи с тем, что необоснованно возвращенные изделия признаны исправными, ни о каких отказах изделий говорить не приходится.

Необходимо отметить, что, начиная с 2014 года, некоторые предприятия стали выпускать изделий со встроенными счетчиками моточасов, что позволяет точно определять наработку изделия и не зависеть от информации, находящейся в распоряжении эксплуатирующего предприятия.

Зачастую поиск дефекта в возвращенном изделии затруднен тем, что эксплуатирующее предприятие приводит информацию слишком общего характера и не затрудняет себя поиском дефекта в системе [2], где установлено цифровое устройство, во всех случаях априори полагая наличие дефекта в цифровом устройстве.

Вот пример такой информации **«...1 марта 2013 года произошло срабатывание блока 1 от внешней защиты, что привело к отключению трансформатора Т1 ПС 38. После осмотра трансформатора был включен на холостой ход. 3 марта 2013 года произошло его повторное отключение по внешней защите. 4 марта 2013 года блоки 1 и 2 были заменены. На сегодняшний день трансформатор работает без замечаний».**

После анализа осциллограмм, записанных в памяти блока и схемы электрической принципиальной, в которой использованы блоки, проведенных в условиях предприятия-изготовителя было установлено, что **«блок 1 не выдавал команд на отключение выключателя.**

...в блоках этого типа не предусмотрен дискретный вход «Внешняя защита», а отключение трансформатора на ПС 38 было зафиксировано в «Журнале событий и аварий» как «Самопроизвольное отключение» и отработало в соответствии с алгоритмом «Обнаружение самопроизвольного отключения» (рис.7).

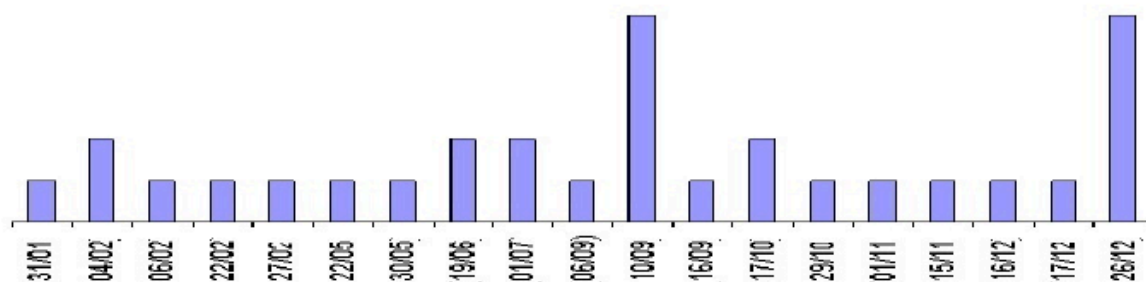
Команда на отключение трансформатора на ПС 38 поступила от блока 2, в «обход» блока 1.»

Раздел 7

Но...	Дата	Название
6	27.02.13 15:21:02.902	Ав. МТЗ>
7	27.02.13 15:21:54.398	Ав. МТЗ>>
8	27.02.13 15:23:33.066	Ав. МТЗ>
9	27.02.13 15:24:20.041	Ав. МТЗ>>
10	27.02.13 15:26:00.864	Ав. МТЗ>>
11	27.02.13 15:27:22.176	Ав. ГЗ
12	28.02.13 10:31:16.201	Ручн. откл.
13	01.03.13 11:00:36.354	Ав. ГЗ
14	01.03.13 11:57:32.890	Самопроизв. откл.
15	03.03.13 08:14:40.735	Самопроизв. откл.
16	04.03.13 11:10:59.947	Самопроизв. откл.
17	04.03.13 11:11:48.188	Самопроизв. откл.
18	05.03.13 15:01:50.363	Ручн. откл.
19	05.03.13 15:02:04.141	Ав. МТЗ>
20	05.03.13 15:02:36.779	Ав. МТЗ>
21	05.03.13 15:04:10.795	Ручн. откл.
22	06.03.13 15:18:47.749	Ав. ГЗ
23	06.03.13 15:24:57.825	Ав. ГЗ
24	06.03.13 15:24:59.895	Ав. ДгЗ
25	06.03.13 15:32:14.394	Ав. ГЗ
26	06.03.13 15:33:24.364	Ав. ГЗ
27	06.03.13 15:41:41.007	Ав. ГЗ
28	27.05.13 15:42:07.366	Ав. ГЗ
29	27.05.13 15:42:13.246	Ав. ГЗ
30	27.05.13 15:42:25.777	Ав. ГЗ

Рисунок 34. Окно «Журнал событий и аварий» блока 1

Поток событий можно рассматривать как простейший в том случае, когда в каждый момент времени происходит не более одного события. На первый взгляд поток необоснованно возвращенных устройств нельзя считать простым и стационарным, ведь в некоторые даты возвращают несколько устройств (см. даты 04.02, 19.06, 01.07, 10.09, 17.10, 26.12 на рис. 35).

Рисунок 35 Поток необоснованно возвращенных в 2013 году блоков типа **Б**

Однако возврат нескольких изделий в один и тот же день вызван в основном логистическими причинами, когда одна организация централизованно направляет устройства, претензии к которым были выявлены на разных объектах в разное время.

На рис. 35 следует обратить внимание на две даты – 10.09 и 26.12. В эти даты были одновременно возвращены несколько устройств одной и той же организацией. Всего этой организации за прошлые годы было поставлено нескольких тысяч блоков. Однако в организации не было подготовлено достаточного количества специалистов, что и вызвало значительное число необоснованно возвращенных изделий, а также изделий, поврежденных во время ввода их в эксплуатацию и последующем обслуживании.

Раздел 7

Используя имеющуюся информацию, определим интенсивность изменения потока необоснованно возвращенных изделий $\lambda_{\text{необ. возвр}}$ в каждом из кварталов и в среднем за год (рис. 36).

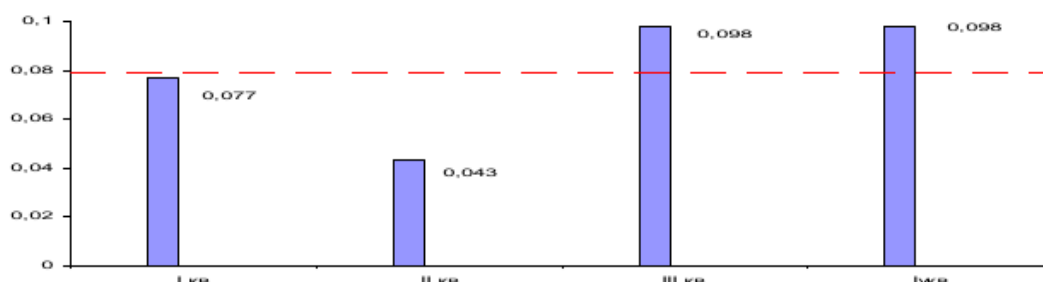


Рисунок 36 Интенсивность потока необоснованно возвращенных блоков типа **Б** в 2013 году
красная штриховая линия – среднее значение $\lambda_{\text{необ. возвр}}$

Поток возвращенных по необоснованным причинам изделиям представляет собой нестационарный поток. Нестабильность интенсивности потока вызвана тем, что эксплуатирующие предприятия возвращают блоки, по работе которых возникли претензии, партиями.

Как было сказано ранее, при анализе причин возврата устройств отказ комплектующих элементов рассматривается как вина изготовителя, кроме тех случаев, когда тот или иной элемент отказывал (был поврежден) из-за нарушений правил эксплуатации устройства.

Приведем результаты анализа возврата изделий из-за отказа комплектующих элементов, произошедших по вине их изготовителей.

Среднее время, прошедшее от отгрузки блока типа **Б** до его возврата в 2013 году из-за отказа микросхем составило $T_{\text{ср мсх}} = 26,7$ месяца, медиана – 23 месяца, дисперсия времени возврата $\sigma'_{\text{возвр}} = 212,25$, а среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\text{возвр}} = 14,6$ месяца.

Диаграмма, иллюстрирующая поток возвращенных устройств с отказавшими микросхемами, приведена на рис. 37.

Как уже было отмечено выше, отказ любого элемента устройства рассматривается как вина изготовителя.

Сопоставление указанных на рис. 35 и 37 дат поступления устройств на предприятие подтверждает, что возврат нескольких изделий в один и тот же день вызван логистическими причинами.

Раздел 7

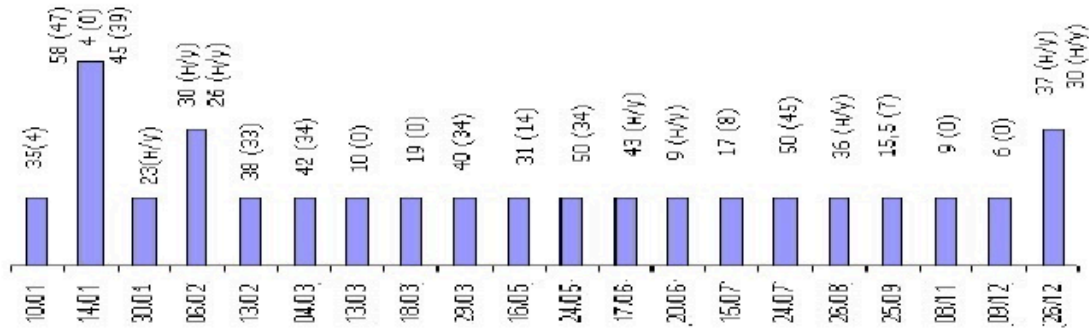


Рисунок 37. Поток блоков типа **Б**, возвращенных в 2013 году из-за отказа микросхем (вина изготовителя устройства)

Числа над столбиками показывают время, прошедшее от отгрузки до отказа, в скобках наработка до отказа в месяцах. н/у – наработка не установлена

Используя имеющуюся информацию, определим интенсивность изменения потока изделий, возвращенных из-за отказа микросхем $\lambda_{\text{возвр.мсх}}$ в каждом из кварталов и в среднем за год (рис. 38).

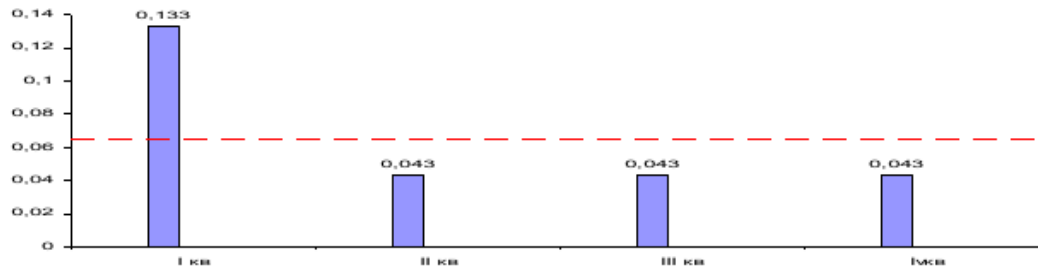


Рисунок 38 Интенсивность потока блоков типа **Б** возвращенных в 2013 году из-за отказа микросхем
красная штриховая линия – среднее значение $\lambda_{\text{возвр.мсх}}$

Интенсивность потока возвращенных из-за отказа микросхем блоков типа **Б** в I квартале возросла за счет возвращения нескольких изделий в январе и феврале месяцев. В течение остальных трёх кварталов интенсивность потока остается неизменной, что позволяет считать данный поток стационарным.

При исследовании возвращенных в 2013 году блоков установлено, что причиной возврата части блоков типа **Б** стал отказ резисторов

Диаграмма потока возвращенных по этим причинам блоков приведена на рис. 39.

Раздел 7

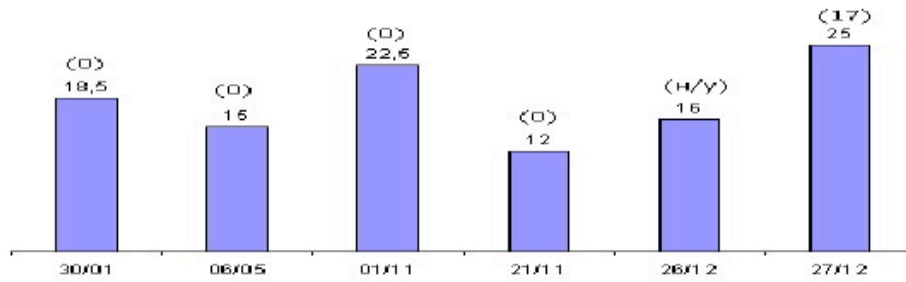


Рисунок 39 Поток возвращенных в 2013 году блоков типа **Б** из-за отказа резисторов

Цифры над столбиками указывают время в месяцах, прошедшее от отгрузки до возвращения блока.

Цифры в скобках – наработку. н/у – наработка не установлена

Среднее время, прошедшее от отгрузки блока типа **Б** до его возврата в 2013 году из-за отказа резистора составило $T_{\text{ср.мсх}} = 18,2$ месяца, медиана – 16 месяцев, дисперсия времени возврата $\sigma'_{\text{возвр}} = 19,7$, а среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\text{возвр}} = 4,4$ месяца.

Используя имеющуюся информацию, определим интенсивность изменения потока изделий, возвращенных из-за отказа резисторов $\lambda_{\text{возвр.рез}}$ в каждом из кварталов и в среднем за год (рис. 40).

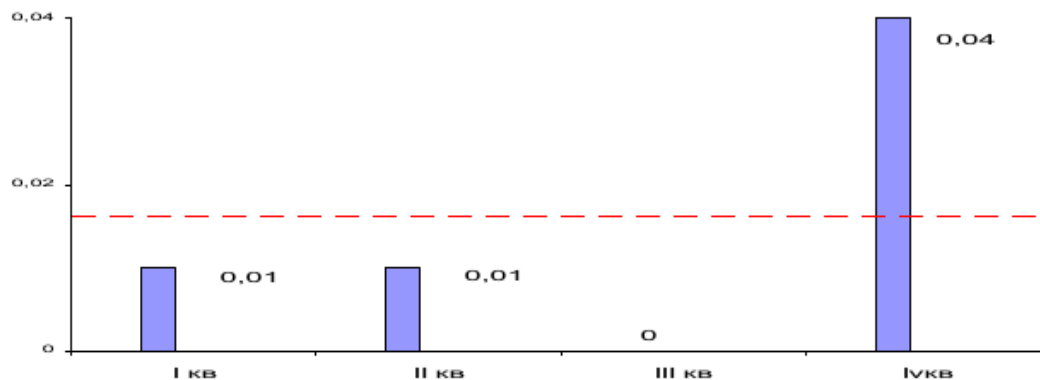


Рисунок 40 Интенсивность потока блоков типа **Б** возвращенных в 2013 году из-за отказа резисторов
красная штриховая линия – среднее значение $\lambda_{\text{возвр.рез}}$

Интенсивность потока возвращенных из-за отказа резисторов блоков типа **Б** также представляет собой нестационарный поток, для которого среднее число событий в единицу времени непостоянным.

Увеличение возвращенных по этой причине в IV квартале изделий вызвано одновременным поступлением в декабре месяце двух изделий с отказавшими резисторами.

Раздел 7

В 2013 году из-за отказа реле было возвращено 2 блока типа **Б** – 16 мая, через 18 месяцев после отгрузки, и 26 декабря, через 9 месяцев после отгрузки. Нарботка возвращенных блоков нулевая.

В связи с возвратом только двух блоков, в которых отказали реле, не будем строить диаграмму, а приведем несколько значений интенсивности потока возврата изделий по этой причине:

$$\lambda_{\text{возвр.реле I кв}} = 0,01$$

$$\lambda_{\text{возвр.реле IV кв}} = 0,01$$

$$\lambda_{\text{возвр.реле год}} = 0,005$$

В 2013 году из-за отказа различных элементов по вине их изготовителя были возвращены несколько блоков типа **Б** (рис. 41).

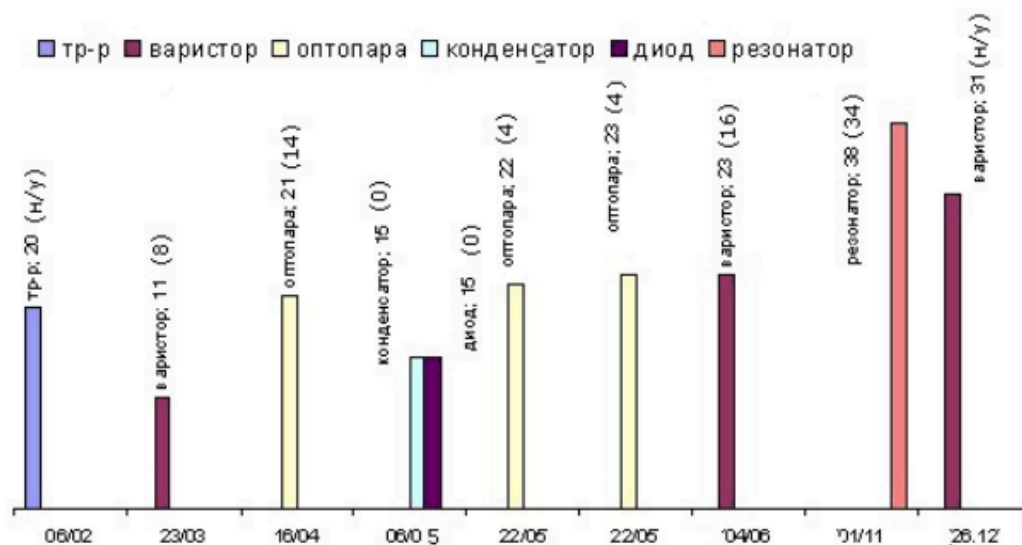


Рисунок 41 Поток возвращенных в 2013 году блоков типа **Б** из-за отказа разных элементов

Цифры над столбиками указывают время, прошедшее от отгрузки до возвращения блока, мес.

Цифры в скобках – наработку. н/у – наработка не установлена

Наибольшая наработка (34 месяца) была у блока типа **Б**, возвращенного из-за отказа резонатора через 38 месяцев после отгрузки. Хотя гарантийные обязательства по этому изделию закончились, оно было отремонтировано как гарантийное.

Среднее время, прошедшее от отгрузки блока типа **Б** до его возврата в 2013 году из-за отказа элемента этой группы составило $T_{\text{ср мсх}} = 21,9$ месяца, медиана – 21 месяц, дисперсия времени возврата $\sigma'_{\text{возвр}} = 56,3$, а среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\text{возвр}} = 7,5$ месяцев.

Особое внимание было обращено на возвращенный через 20 месяцев после отгрузки блок типа **Б** из-за обрыва обмотки трансформатора (дата 06.02 на рис. 41).

Проведенный анализ претензий к моточным изделиям позволил отказаться от некоторых поставщиков и ужесточить требования к изготовлению изделий этой группы.

Раздел 7

Используя имеющуюся информацию, определим интенсивность изменения потока изделий, возвращенных из-за отказа различных элементов $\lambda_{\text{возвр.др}}$ в каждом из кварталов и в среднем за год (рис. 42).

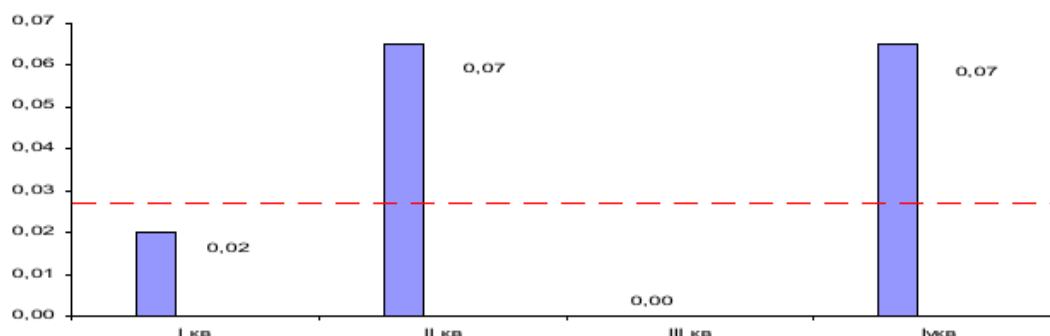


Рисунок 42 Интенсивность потока блоков типа **Б** возвращенных в 2013 году из-за отказа комплектующих красная штриховая линия – среднее значение $\lambda_{\text{возвр.др}}$

Причины рассмотренных выше возвратов изделий условно рассматривались как вина производителя, хотя вызваны они были отказами комплектующих элементов.

Для характеристики уровня технологической дисциплины и качества разработанной документации целесообразно выделять в отдельную группу дефекты в изделиях, возвращенные из-за ошибок изготовителя и разработчика (рис. 43).

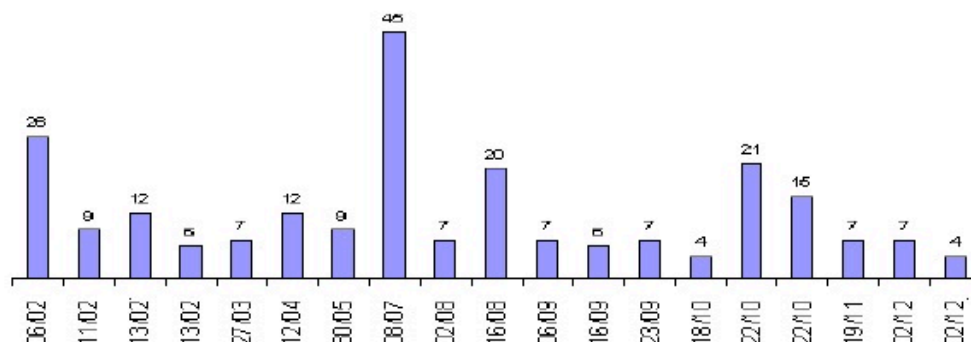


Рисунок 43 Поток возврата изделий из-за ошибок изготовителя и разработчика Цифры над столбиками указывают время, прошедшее от отгрузки до возвращения блока, мес

Самая «невинная» ошибка изготовителя, из-за которой было возвращено одно из устройств – установка на лицевой панели светодиодов одного и того же цвета для сигнализации о положении выключателя (рис. 44). Никаких других претензий к работе этого устройства потребителем не было высказано.

Раздел 7



Рис. 44 Установка светодиодов одного цвета

Более серьезной были ошибки разработчика ПрО, причем по этой причине одно из устройств было возвращено после 38 месяцев работы (через 45 месяцев после отгрузки потребителю).

Данный факт говорит о том, что при вводе в эксплуатацию данного устройства не были проверены все алгоритмы защиты и автоматики.

Стабильность технологического процесса изготовления устройств в основном характеризуется отсутствием в возвращенных изделиях дефектов пайки соединений, нарушений контакта в соединителях и т.п.

Используя имеющуюся информацию, определим интенсивность изменения потока изделий, возвращенных из-за ошибок изготовителя и разработчика $\lambda_{\text{возвр. произв}}$ в каждом из кварталов и в среднем за год (рис. 45).

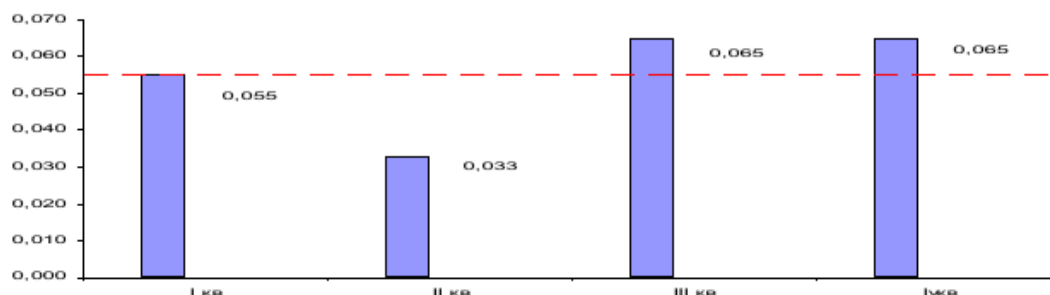


Рисунок 45 Интенсивность потока блоков типа **Б**, возвращенных в 2013 году из-за ошибок изготовителя и разработчика
красная штриховая линия – среднее значение $\lambda_{\text{возвр. произв}}$

Для оценки характеристик потока изделий, возвращенных по вине производителя, воспользуемся принципом суперпозиции и объединим выделенные ранее потоки в один (рис. 46).

Раздел 7

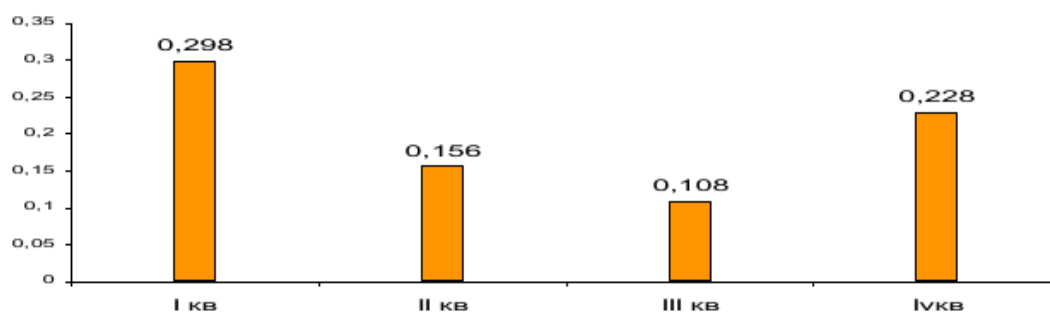


Рисунок 46 Интенсивность потока блоков типа **Б**, возвращенных в 2013 году по вине изготовителя

Приведенная диаграмма наглядно показывает нестационарный характер потока изделий, причиной возвращения которых признана вина производителя.

В тех случаях, когда эксплуатирующая организация возвращает исправное устройство, причина возврата признается необоснованной.

Вина эксплуатирующей организации в возврате изделия признается в случае нарушения правил эксплуатации, приведших к повреждению изделия или комплектующих элементов.

В 2013 году было возвращено несколько блоков типа **Б** в которых по вине эксплуатирующей организации повреждены микросхемы, в основном входящие в схему, обеспечивающей связь устройства с АСУ или ПЭВМ (рис. 47).

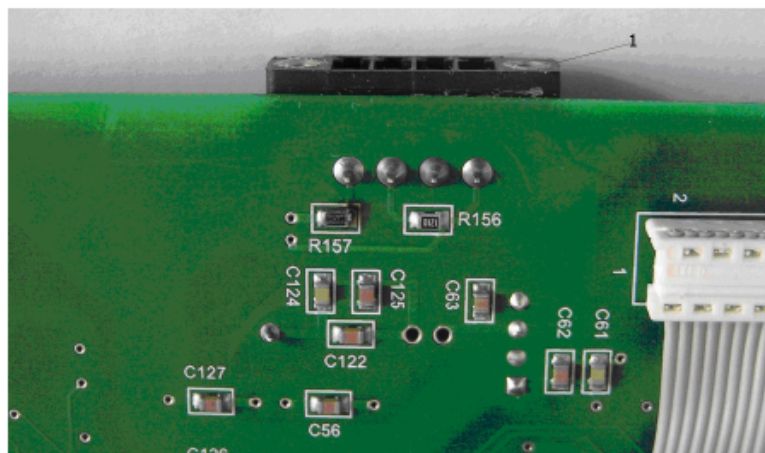


Рисунок 47 Термическое повреждение резистора
1 – соединитель для подключения к АСУ

В акте исследования причин возврата дано такое описание: «**При проверке блока типа Б на участке настройки выявлен отказ ИМС D28 типа ADSN65LBC184D «Texas Instruments» (расположен на другой стороне платы, показанной на рис. 9) и термическое повреждение резистора R157 типа RC 0805 F R – 07 100R L (0,125 – 100 Ом ± 1 % ± 100 ppm/°C) «Yageo» ..».**

Раздел 7

Второе характерное нарушение, приводящее к отказу микросхемы, управляющей работой порта RS-232 - подключение ПЭВМ к соответствующему соединителю при включенном питании ПЭВМ.

Диаграмма, описывающая поток возвращенных из-за повреждения эксплуатирующим предприятием микросхем в устройствах типа **Б**, приведена на рис. 48.

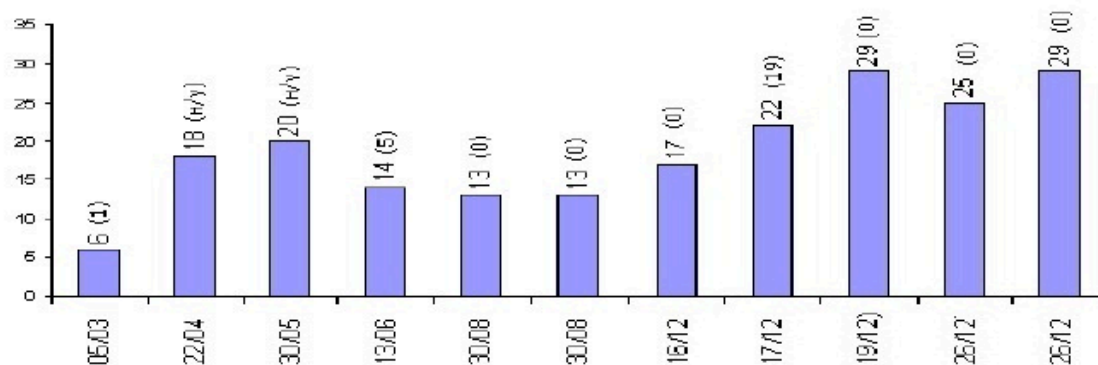


Рисунок 48 Поток возвращенных в 2013 году блоков типа **Б** из-за повреждения микросхем потребителями
Цифры над столбиками указывают время, прошедшее от отгрузки до возвращения блока, мес.
Цифры в скобках – наработку. н/у – наработка не установлена

Используя имеющуюся информацию, определим интенсивность изменения потока изделий, возвращенных из-за повреждения микросхем эксплуатирующим предприятием $\lambda_{\text{возвр. мсх.эо}}$ в каждом из кварталов и в среднем за год (рис. 49).

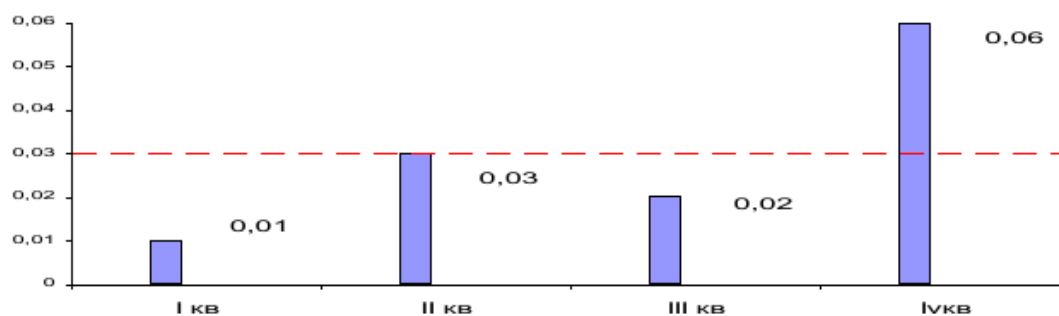


Рисунок 49 Интенсивность потока блоков типа **Б**, возвращенных в 2013 году из-за повреждения микросхем потребителями
красная штриховая линия – среднее значение $\lambda_{\text{возвр. мсх.эо}}$

Блоки типа Б, возвращенные из-за повреждения резисторов эксплуатирующим предприятием, составляют вторую по количеству изделий группу (рис. 50).

Раздел 7

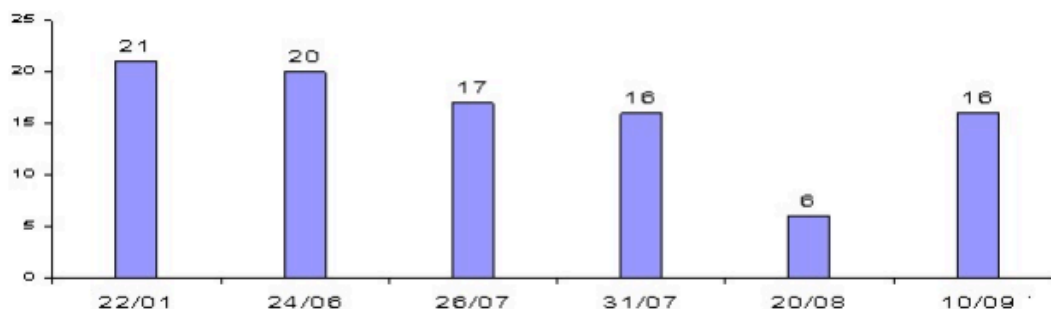


Рисунок 50 Поток возвращенных в 2013 году блоков типа **Б** из-за повреждения резисторов потребителями
Цифры над столбиками указывают время, прошедшее от отгрузки до возвращения блока, мес.

Основная причина возвращения блоков в данном случае – подача напряжения, превышающего допустимое значение 264 В (номинальное напряжение 220 В).

В ряде случаев вместе с резисторами оказываются повреждены и другие элементы – микросхемы, предохранители, диоды и др.

Используя имеющуюся информацию, определим интенсивность изменения потока изделий, возвращенных из-за повреждения резисторов эксплуатирующим предприятием $\lambda_{\text{возвр. рез.эо}}$ в каждом из кварталов и в среднем за год (рис. 51).

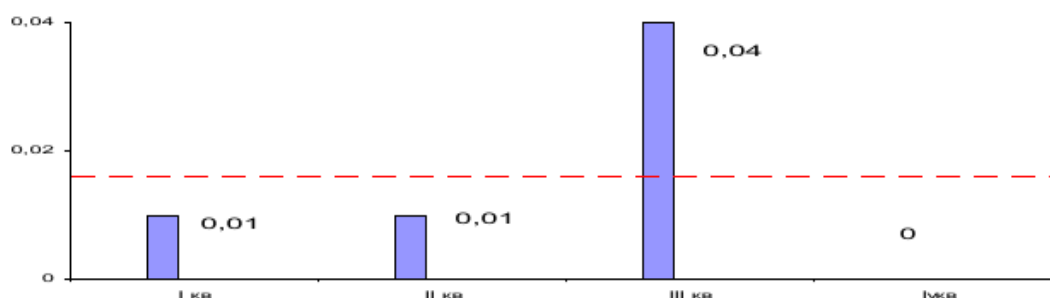


Рисунок 51 Интенсивность потока блоков типа **Б**, возвращенных в 2013 году из-за повреждения резистора потребителями
красная штриховая линия – среднее значение $\lambda_{\text{возвр.рез.эо}}$

Характерной причиной возврата блоков потребителями является их повреждение при термическом воздействии открытой дуги и пламени [45].

На корпусе возвращенного в 2013 году блока видны следы продуктов горения (рис. 52).

Раздел 7



Рисунок 52 Следы продуктов горения на корпусе блока

Причина возврата блока в сопроводительном письме описана следующим образом: **«... в ходе эксплуатации устройства 2009 года выпуска, было обнаружено, что устройство, после аварии в ячейке, перестало реагировать на какое-либо нажатие кнопок на панели».**

Основное отличие блоков возвращенных из-за термических повреждений – значительная наработка. В частности один из возвращенных блоков проработал 56 месяцев, второй – 40 месяцев. За это время претензий по работе данных блоков не возникло.

Ещё одной причиной возврата блоков по вине эксплуатирующего предприятия являются механические повреждения, возникшие при их разборке.

Пример таких повреждений приведен в одном из актов исследования причин возврата: **«...выявлено нарушение конструкции изделия, а именно модуль ИП-002 ...отделен (оторван) от модуля МПВВ-003 При осмотре модуля ИП-002 ... выявлено механическое повреждение (поломка), соединителей штыревых «Preci-Dip».**

Однако наиболее частой причиной возврата остаётся коммутация выходными реле токов и напряжений, превышающих допустимые значения.

Диаграмма, описывающая поток возвращенных устройств типа **Б** из-за повреждения их эксплуатирующим предприятием по перечисленным причинам приведена на рис. 53.

Раздел 7

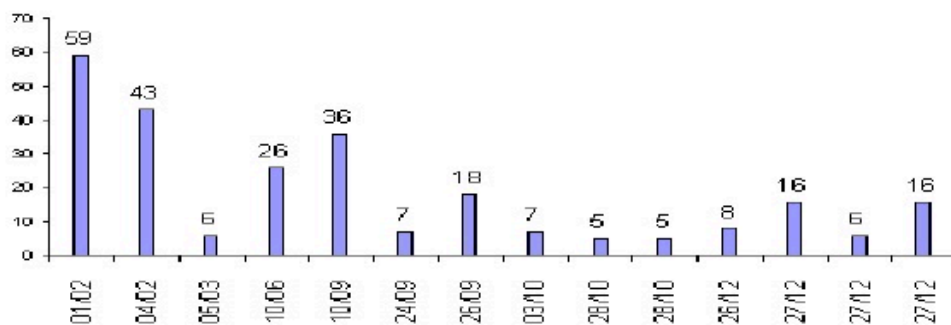


Рисунок 53 Поток возвращенных в 2013 году блоков типа **Б** из-за повреждения их потребителями
Цифры над столбиками указывают время, прошедшее от отгрузки до возвращения блока, мес.

Используя имеющуюся информацию, определим интенсивность изменения потока изделий, возвращенных из-за повреждения эксплуатирующим предприятием $\lambda_{\text{возвр. разн.эо}}$ в каждом из кварталов и в среднем за год (рис. 54).

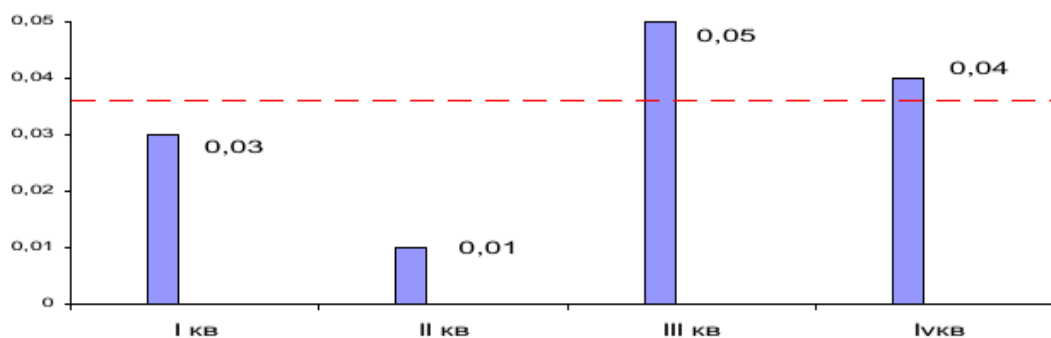


Рисунок 54 Интенсивность потока блоков типа **Б**, возвращенных в 2013 году из-за повреждений потребителями
красная штриховая линия – среднее значение $\lambda_{\text{возвр.рез.эо}}$

Для оценки характеристик потока изделий, возвращенных по вине производителя, воспользуемся принципом суперпозиции и объединим выделенные ранее потоки в один (рис. 55).

Раздел 7

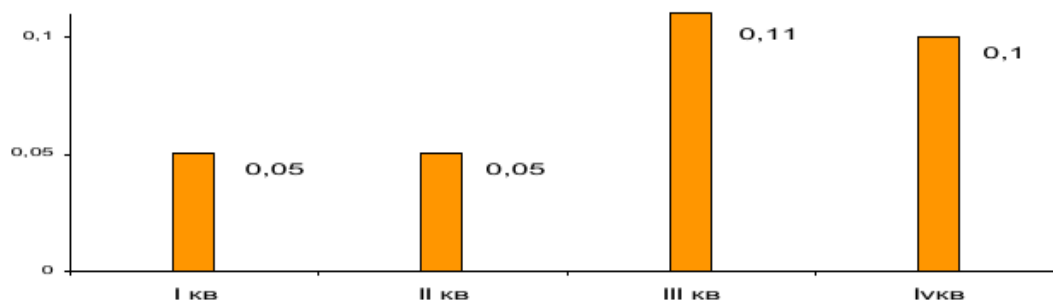


Рисунок 55. Интенсивность потока блоков **Б**, возвращенных по вине потребителей

Проанализированная информация позволяет построить диаграммы интенсивности потока возвращенных изделий в зависимости от причины (рис. 56).

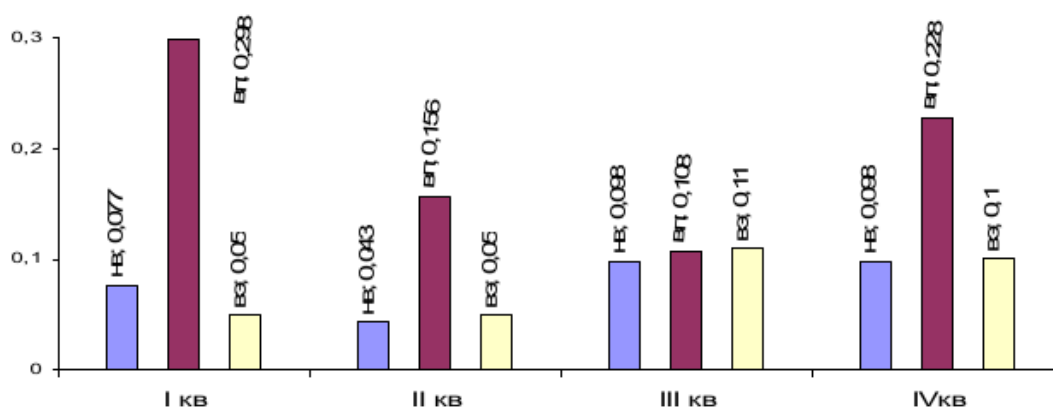


Рисунок 56. Интенсивность потоков возвращенных блоков типа **Б**

Обозначения причин возврата:

нв - необоснованный возврат;

вл - возврат по вине изготовителя ;

вэ - возврат по вине эксплуатирующего предприятия.

8. Контроль надежности за многолетний период эксплуатации

На многих объектах энергетики, промышленности, железнодорожного и другого транспорта ЦРЗА находятся в эксплуатации с 1998 года, то есть с начала их серийного выпуска.

Наблюдение же за большим количеством изделий, эксплуатируемых в схожих климатических условиях и эксплуатируемых специалистами с практически одинаковым уровнем профессиональной подготовки, позволяет дать более точную оценку надежности цифровых устройств.

В этом разделе проанализирована информация о 514 цифровых устройствах, эксплуатируемых на 29 подстанциях, обслуживаемых одной организацией.

Все эти подстанции расположены на территории, которая действующими стандартами отнесена к районам с холодным климатом (рисунок 57), характеризующимся продолжительной зимой (до 8-10 месяцев) и средней температурой января от -18°C до -24°C .

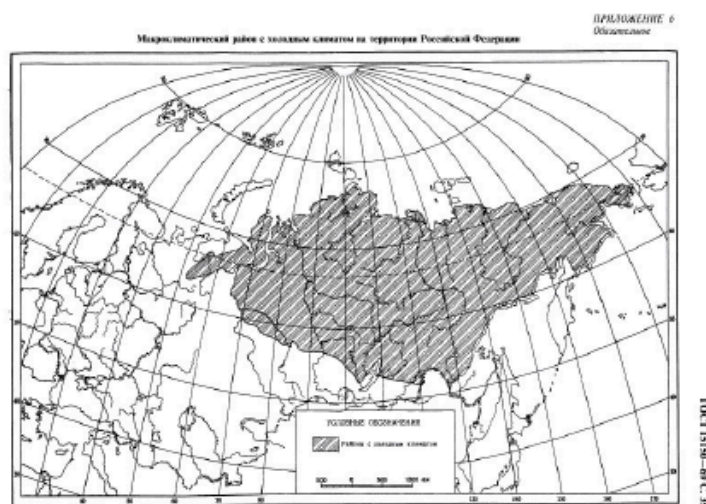


Рисунок 57 Территории с холодным климатом в России по ГОСТ 15150-69

Оснащение подстанций цифровыми устройствами рассматриваемых подстанций осуществлялось с 1998 года по 2011 год (рисунок 58).



Рисунок 58. Изменение количества блоков за период с 1998 по 2011 год

За первые четыре года на подстанциях было установлено 235 устройств (рисунок 58), что составило 45,7% от общего числа 514 изделий, находящихся в эксплуатации к 2012 году.

За последующие четыре года было установлено еще 223 устройства (43,4%). С 2006 года пополнение парка цифровых устройств происходило небольшими партиями, по несколько штук. И только в 2010 и 2011 годах поставки превысили 10 изделий в год.

Полученная от пользователя в 2013 году детальная информация о месте установки цифровых устройств и датах ввода в эксплуатацию позволила уточнить средний возраст и суммарную наработку изделий, а также получить подтверждение их работоспособного состояния после эксплуатации от 2 (последняя поставка 2011 год) до 15 лет (первая поставка 1998 год).

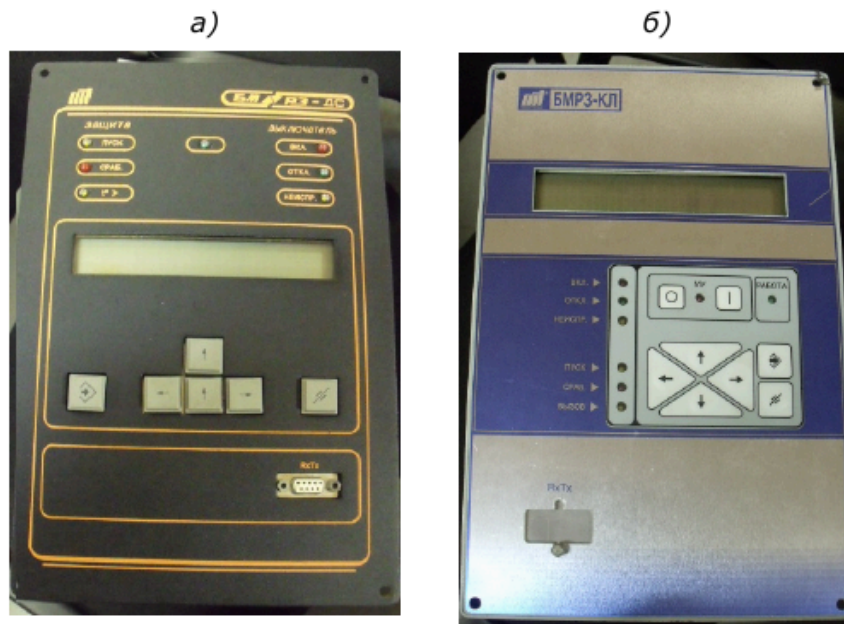


Рисунок 59 Лицевая панель устройств БМРЗ: выпущенных в 1998-2000 годах (а) и после 2004 (б)

Возраст каждого блока определялся временем, прошедшим от даты его отгрузки до даты получения информации от потребителя о его работоспособном состоянии в 2013 году.

На рис. 3 показан средний возраст блоков, установленных на каждой из 29 подстанций (столбцы), а также для всей выборки из 514 блоков (пунктирная линия, 10,2 года).

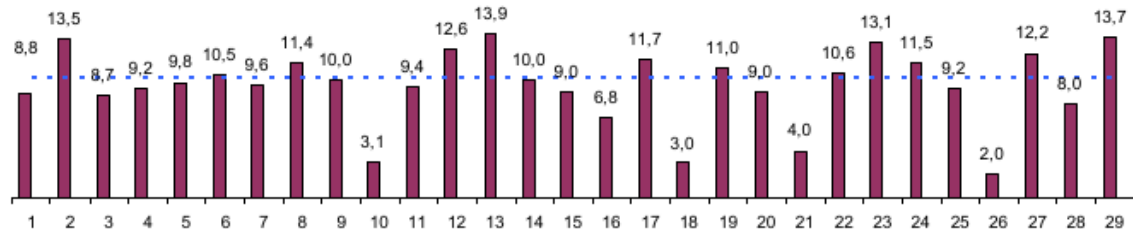


Рисунок 60 Средний возраст ЦРЗА.

Всё множество подстанций, на которых установлены 514 блоков производства НТЦ «Механотроника», можно разделить на четыре типа.

На подстанциях первого типа установлены только блоки БМЦС [5], а все защиты выполнены без применения цифровых устройств.

В зависимости от количества обрабатываемых сигналов на подстанциях других типов также использованы блоки БМЦС в количестве от 1 до 2 штук.

На подстанциях второго типа цифровые устройства установлены на вводных (БМРЗ-ВВ) и отходящих фидерах (БМРЗ-КЛ и БМРЗ-ДА). Блоки управления секционными выключателями (БМРЗ-СВ) отсутствуют.

Подстанции третьего типа отличаются использованием блоков БМРЗ-СВ для управления секционными выключателями.

Подстанции четвертого типа построены с использованием блоков БМРЗ-0,4 и БМПА -0,4.

Из общего количества 514 изделий наибольшую часть (262 или 51%) составляют блоки БМРЗ-КЛ (см. рисунок 59, б) нескольких исполнений – БМРЗ-КЛ-46-01, БМРЗ-КЛ-45, БМРЗ-КЛ-10, БМРЗ-КЛ-12, предназначенные для защиты кабельных линий (рисунок 61).

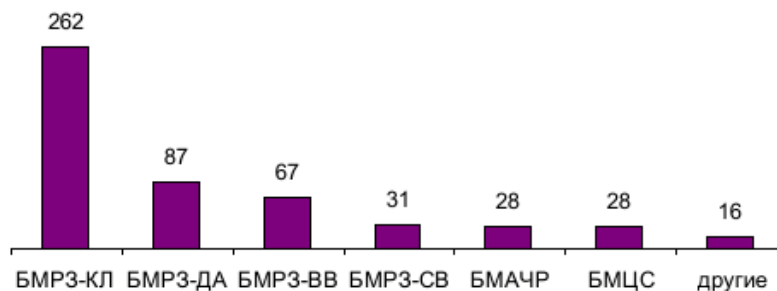


Рисунок 61 Распределение ЦРЗА по типам

Вторую по численности группу цифровых блоков составили блоки

БМРЗ-ДА нескольких исполнений (87 штук из 514 или 16,9%), предназначенные для защиты асинхронных электродвигателей.

На нескольких подстанциях вместо них применены блоки БМРЗ-ДС (4 штуки этих устройств учтены в столбце «Другие»), предназначенные для защиты синхронных электродвигателей (см. рисунок 59, а).

Третью по количеству группу образуют 67 устройств БМРЗ-ВВ (13% от общего числа 514 штук).

Для частотной разгрузки на подстанциях применены блоки БМАЧР в количестве 28 штук (5,45% от 514). На большинстве подстанций установлено по одному блоку частотной автоматики, но на шести подстанциях установлено по два блока БМАЧР.

Надежность работы блоков оценивалась по информации, полученной из двух источников:

- непосредственно от эксплуатирующего предприятия;
- из базы данных предприятия, в которой отражена вся история блока, начиная с приемосдаточных испытаний в ОТК.

В письмах, полученных от эксплуатирующего предприятия, указаны такие замечания по работе блоков:

1. на подстанции 22 (см. рисунок 60):

- отказ БМРЗ-ДА – заменен в 2011 году;
- отказ блока БМРЗ – заменен в 2011 году;
- блок БМРЗ-КЛ – заменен модуль МАС в 2011 году.

Причина одновременности замены трех блоков в одном и том же году потребителем не сообщена.

2. установленный на подстанции 28 (см. рисунок 60) блок БМРЗ-ДА был в ремонте.

3. установленный на подстанции 24 (см. рисунок 60) блок БМРЗ-ДА был заменен в 2009 году из-за отказа (наработка 2 года – с 2007 по 2009).

В базе данных предприятия дополнительно зафиксировано только четыре обоснованных замечания по работе блоков:

- БМРЗ-ВВ (подстанция 3) и БМРЗ-КЛ (подстанция 1) – в каждом из блоков отказали ионисторы;
- БМРЗ-ДА (подстанция 1) - отказали варистор, предохранитель и реле;
- в блоке БМРЗ-КЛ (подстанция 4) - отказал жидкокристаллический дисплей.

Ещё три замечания эксплуатирующего предприятия по работе блоков были признаны необоснованными, так как при их проверке в условиях предприятия-изготовителя блоки соответствовали всем требованиям, установленным в технической документации. После возвращения этих блоков замечаний по их работе пользователь не высказывал.

Каждое изделие, к работе которого у эксплуатирующего предприятия возникло замечание, после возвращения на предприятие-изготовитель подвергается специальной процедуре для установления причин его возврата.

Помимо установления причины возврата, выявления и замене отказавших элементов, результаты исследования позволяют косвенно оценить организационный и технический уровень эксплуатации изделий.

Отсутствие механических повреждений, пыли, загрязнений во многом характеризует своевременное выполнение эксплуатирующим персоналом регламентных работ, предусмотренных в эксплуатационной документации.

Среди возвращенных на предприятие блоков, перечисленных выше, не было ни одного, причиной возврата которого была бы вина эксплуатирующего персонала. Данный факт позволяет косвенно оценить уровень профессионализма обслуживающего персонала как достаточно высокий.

Для того, чтобы оценить наработку среднестатистического изделия воспользуемся диаграммой, приведенной на рисунке 58, где показано изменение количества изделий, находящихся в эксплуатации.

Первые четыре изделия, установленные в 1998 году, проработали 15 лет, что соответствует суммарной наработке 60 лет (рисунок 5). Увеличение количества установленных на подстанциях изделий приводило к соответствующему увеличению суммарной наработки всех установленных изделий, значение которой для последующих лет указано на рисунке 61.

Площадь области, ограниченной сверху графиком изменения наработки изделий за период с 1998 по 2013 год соответствует суммарной наработке всех изделий, находящихся в эксплуатации.

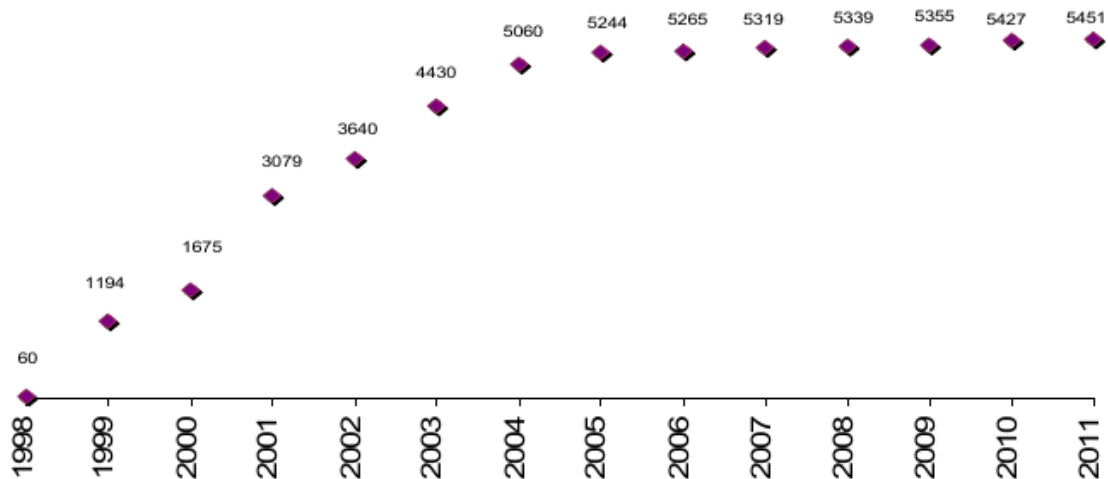


Рисунок 62 График изменения суммарной наработки блоков, начиная с даты установки первых четырех блоков в 1998 году до конца 2013 года

Для дальнейших расчетов будем использовать не общее количество установленных на подстанциях за всё время блоков (514), а их приведенное количество, которое найдем как отношение суммарной наработки $\Sigma_{нар}$, равной 5451 году (на конец 2013 года) к продолжительности эксплуатации $t_{экс}$, определяемой с даты установки первых четырех блоков в 1998 году до конца 2013 года (15 лет):

$$N_{прив} = \Sigma_{нар} / t_{экс} = 5451 / 15 = 363,4 \text{ шт} \quad (28)$$

На основании сказанного наработку среднестатистического блока можно оценить следующим образом:

$$T_{средн. \text{ блока}} = (5451 \cdot 8640) / 363,4 \approx 129600 \text{ часов} \quad (29)$$

Полученное значение хорошо коррелируется со значением наработки на отказ, полученной в ранее выполненных расчетах и равной 125000 часов.

Информация о работе рассматриваемой выборки из 514 блоков, полученная от эксплуатирующих предприятий и из базы данных предприятия-изготовителя, позволяет также оценить некоторые показатели надежности цифровых устройств.

Для обобщенной оценки надежности изделий НТЦ «Механотроника» использует показатель q , определяемый как отношение общего количества блоков, по работе которых были высказаны обоснованные замечания (замечания, признанные производителем), к общему количеству блоков, находящихся в эксплуатации.

Если этот показатель вычислить для общего количества блоков, установленных с 1998 по 2011 год на 29 подстанциях, то он будет равен:

$$q = 9/514 \cdot 100\% = 1,75\%. \quad (30)$$

Другими словами, на каждые 100 блоков, находящихся в эксплуатации было высказано в среднем 1,75 замечания за все время их эксплуатации.

В связи с тем, что приведенное количество блоков $N_{\text{прив}}$ существенно меньше, уточненное значение показателя возрастет:

$$q_y = 9/363,4 \cdot 100\% = 2,5\% \quad (31)$$

По формуле, приведенной в стандарте [17] можно получить грубую, явно завышенную статистическую оценку суммарной наработки на отказ для всего массива блоков:

$$\Phi = \frac{t}{r(t)} \quad (32)$$

где $r(t)$ - число отказов, фактически происшедших за суммарную наработку t .

Так как все изделия эксплуатируются в статистически однородных условиях, то формула (32) может быть обобщена на весь массив цифровых устройств, при этом значение t следует заменить на сумму наработок всех рассматриваемых изделий, а $r(t)$ – на суммарное число отказов этих объектов.

Учитывая все сказанное, суммарная наработка на отказ для всех изделий, эксплуатируемых на всех подстанциях составила:

$$T = 47\,096\,640/5 + 4 \approx 5233\,000 \text{ час} \quad (33)$$

где 5 – количество отказов устройств по данным эксплуатирующего предприятия;

4 – количество отказов устройств по данным предприятия-изготовителя.

Утверждение о явно завышенной оценке, получаемой с помощью этой формулы базируется на нескольких моментах, прежде всего на том, что:

- фактическая наработка ни одного из 514 блоков не превышает 129 600 часов (такое время отработали только 4 блока, эксплуатируемые с 1998 года);
- экстраполяция эмпирических результатов за пределы продолжительности испытаний (в данном случае за пределы срока эксплуатации 15 лет) приводит к значительным ошибкам;

Лист 6 из 8

- оценка, полученная по формуле (6), представляет собой показатель MTBF, который распространяется на конкретную выборку и не может быть отнесен к отдельному изделию.

Поэтому в данной работе оценка наработки на отказ была проведена с использованием плана испытаний [NMS], рекомендованном в стандарте [11]. Согласно этому плану **N** вводят в эксплуатацию последовательно, отказавшие изделия восстанавливают **M** и продолжают их эксплуатировать. После окончания испытаний принимают решение **S** о результатах испытаний.

Для наработки на отказ T_0 равной 125000 часов параметр потока отказов равен

$$\lambda = 1/T = 1/125000 \approx 8 \cdot 10^{-6} \quad (34)$$

Даже если принять за наработку на отказ фактически отработанное время 4 блоков (129600), значение этого показателя изменится несущественно (до $7,7 \cdot 10^{-6}$), т.е. в пределах погрешности расчетов.

По полученным значениям показателей можно определить такой показатель безотказности, как гамма-процентная наработка до отказа.

Этот показатель характеризует наработку цифрового устройства в течение которой отказ не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах.

В нашем случае значение гамма-процентной наработки определим графическим путем (рисунок 63) по кривой вероятности безотказной работы $P(t)$, проведя горизонтальную линию до пересечения с кривой.

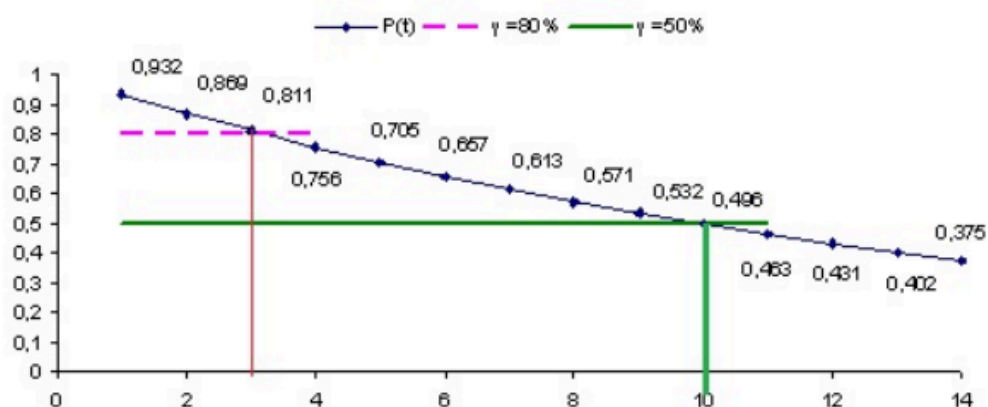


Рисунок 63 Графическое определение гамма-процентной наработки на отказ

Наработку до отказа обычно определяют для значений $\gamma > 80\%$ (верхняя горизонтальная линия на рисунке 63).

Для прогнозирования потребности в запасных частях гамма-процентную наработку определяют и при меньших значениях, например при $\gamma = 50\%$ (нижняя горизонтальная линия на рисунке 63).

Сравнение полученных графическим путем результатов с фактическим числом отказавших за все время эксплуатации блоков, показывает, что

фактическое значение гамма-процентов превышает 80%, а параметр потока отказов существенно меньше $7,7 \cdot 10^{-6}$.

Для оценки результатов 15-летней эксплуатации изделий, важно оценить и то, как во время эксплуатации проявили себя те дефекты и недостатки, которые были выявлены при приемосдаточных испытаниях изделий на предприятии-изготовителе.

Из всей информации, содержащейся базе данных предприятия-изготовителя, приведем сведения о результатах приемосдаточных испытаний (далее – ПСИ) только одного из блоков:

- в блоке БМРЗ-ВВ выпуска 2004 (подстанция 3 на рисунке 3) при проведении ПСИ был выявлен дефект – на ЖК дисплее не высвечивается строка. Дефект был устранен заменой модуля индикации. За всё время эксплуатации замечаний по работе этого блока не поступало;

Данный пример выбран потому, что после поступления нескольких претензий от потребителя данный тип дисплея был заменен на другой (сравните рисунки 59 а и 59 б), что привело к исключению:

- бракования блоков на ПСИ по причине дефектов индикаторов;
- возвратов блоков из-за отказов индикаторов.

Другие причины бракования блоков на ПСИ (ошибки монтажа, снижение сопротивления изоляции и т.п.), как показывает 15-ти летний опыт эксплуатации блоков, после их устранения предприятием-изготовителем, не служат основанием для их возврата.

В то же время, 100% выходной контроль готовых изделий ставит надежный заслон для выхода изделий с заводским браком за пределы предприятия.

Многолетняя эксплуатация ЦРЗА в условиях холодного климата подтвердила, что фактическое климатическое исполнение изделий соответствуют заявленным в технических условиях группам климатического исполнения УХЛ4 и УХЛ3.1, а проводимые предприятием периодические испытания на устойчивость к воздействию климатических факторов сообщают достоверную информацию об этой характеристике изделий.

Книги

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969, 576 с.
2. Захаров О.Г. Определение дефектов в релейно-контакторных схемах. М.: Росагропромиздат, 1991, 184 с.
3. Острейковский В.А. Теория надежности. М.: Высшая школа, 2003, 463 с.
4. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998, 800 с.
5. Черкесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. СПб, Питер, 2005, 479с.
6. А.И. Шалин. [Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем](#) //Новосибирск. Издательство НГТУ, 2002, 384
7. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007, 549.с.

Нормативные документы

8. ГОСТ Р 1.4-2004. Стандарты организаций. Общие положения
9. ГОСТ 2.113-75. Групповые и базовые конструкторские документы.
10. ГОСТ 2.114-95. Единая система конструкторской документации. Технические условия
11. ГОСТ 4.148-85. Система показателей качества продукции. Устройства комплектные низковольтные. Номенклатура показателей. М.: Издательство стандартов, 1985
12. ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний
13. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1991
14. ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.//М.: Издательство стандартов, 1991, 28 с.
15. ГОСТ 27.004-2009. Надежность в технике. Модели отказов. М., Стандартиформ, 2010
16. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. М. : ИПК Издательство стандартов, 2001
17. ГОСТ 27.410 – 87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность
18. ГОСТ 2583-92 Батареи из цилиндрических марганцево-цинковых элементов с соевым электролитом Технические условия.
19. ГОСТ 21493-76 Изделия электронной техники. Требования по сохраняемости и методы испытаний.
20. ГОСТ 23216-78. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита. Упаковка. Общие требования и методы испытаний.
21. ГОСТ 23502-79. Обеспечение надежности на этапе производства. Технологический прогон изделий бытового назначения.
22. ГОСТ 25804.2-83 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование систем управления технологическими процессами атомных электростанций. Требования по надежности

23. ГОСТ 26291-84 (СТ СЭВ 4334-83). Надежность атомных станций и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей. М.: Издательство стандартов, 1985
24. ГОСТ Р 51372-99 Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов. Общие положения
25. ГОСТ Р 53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения // М.: Издательство стандартов, 2010
26. РД 50-690-89. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. Методические указания. М.: 1989
27. РД 50-707-91. Руководящий документ по стандартизации. Методические указания. Изделия медицинской техники. Требования к надежности. Правила и методы контроля показателей надежности
28. РД 34.35.310-97 Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. // М.: ОРГРЭС, 1997, 36 с.
29. РД 34.35.516-89 Инструкция по учету и оценке работы релейной защиты и автоматики электрической части энергосистем//М.: 1990
30. Р 78.36.013-2002. Рекомендации. Ложные срабатывания технических средств охранной сигнализации и методы борьбы с ними. М.: МВД РФ, 2002
31. СТО 56947007-29.240.043-2010. Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов. М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2010, 170 с.
32. СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2010, 170 с.