

Надежность, доказанная временем.

В словаре [1] надежность цифровых устройств релейной защиты (ЦРЗА) определена как «вероятность выполнения ею требуемых функций при заданных условиях в течение заданного промежутка времени» (цитируется по [2]).

Как правило, производители ЦРЗА не публикуют данные о фактических значениях всех показателей надежности выпускаемых ими устройств. Однако в технической документации практически всех отечественных ЦРЗА можно найти информацию о *средней наработке на отказ* T_0 - показателе, включенном в номенклатуру показателей надежности в РД [3, 4].

Первые цифровые устройства релейной защиты были выполнены на отечественной элементной базе. Доступность информации о надежности отечественных комплектующих элементов позволяла определить те или иные показатели надежности расчётным методом.

В настоящее время в цифровых устройствах релейной защиты и автоматики используются импортные комплектующие элементы, официальная информация о надежности которых отсутствует.

С момента ввода в эксплуатацию первых отечественных ЦРЗА прошло более 10 лет, что позволило накопить достаточный объём статистических данных о числе и видах отказов устройств. Наличие статистики позволяет оценить значения *наработки на отказ* по статистическим данным, как это рекомендовано в разделе 3.6 руководящего документа [3]. Аналогичный подход обоснован в статье [5].

Для проведения контрольных испытаний на надежность на основании информации, получаемой по данным эксплуатации, был выбран план испытаний [**NMS**] по стандарту [6] при экспоненциальном распределении наработок на отказ (табл. 1).

Таблица 1 План контроля средних показателей надежности по одноступенчатому методу для экспоненциального распределения

$\alpha = \beta = 0,05$		$\alpha = \beta = 0,10$		$\alpha = \beta = 0,20$		$r_{пр}$
$\frac{T_\alpha}{T_\beta}$	$\frac{T_{max}}{T_\alpha}$	$\frac{T_\alpha}{T_\beta}$	$\frac{T_{max}}{T_\alpha}$	$\frac{T_\alpha}{T_\beta}$	$\frac{T_{max}}{T_\alpha}$	
4,651	1,970	3,289	2,432	2,174	3,089	5
2,898	5,425	2,283	6,221	1,718	7,289	10
2,369	9,246	1,953	10,300	1,553	11,680	15
2,096	13,200	1,792	14,520	1,460	16,170	20
1,942	17,300	1,672	18,840	1,398	20,720	25

В табл. 1 использованы такие условные обозначения:

α, β – риски поставщика и потребителя соответственно;

$r_{пр}$ – 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.

Следуя выбранному плану испытаний последовательно вводят в эксплуатацию **N** блоков. После отказа (получения замечаний по работе) блок ремонтируют на предприятии-изготовителе (обозначено буквой **M** в плане испытаний) и продолжают эксплуатировать. По результатам расчетов показателя надежности принимают решение (в плане испытаний обозначено буквой **S**) о его соответствии значению, указанному в документации на блок.

Согласно приведенным в стандарте [6] рекомендациям, при испытаниях с восстановлением объектов объем выборки (в данном случае – количество находящихся в эксплуатации объектов) не регламентируется. Однако для контроля полученных результатов было определено минимальное количество блоков, которое должно находиться в эксплуатации в тот или иной момент времени. Для этого использовалось соотношение:

$$N_{min} = T_{max}/t_i \quad (1)$$

где T_{max} - предельная суммарная наработка
 t_i - продолжительность испытаний.

Значение T_{max} определяли по данным, приведенным в табл. 1 для разных значений $T_\beta = T_n$ при разных рисках поставщика и потребителя $\alpha = \beta$, а также предельного числа отказов $r_{пр}$.

На диаграмме (рис. 1) показано изменение значений T_{max} , мес, в зависимости от предельного числа отказов $r_{пр}$ при $T_\beta = T_n = 100000$ час (~ 139 мес) для $\alpha = \beta = 0,05$ (верхняя линия) и $\alpha = \beta = 0,20$ (нижняя линия).

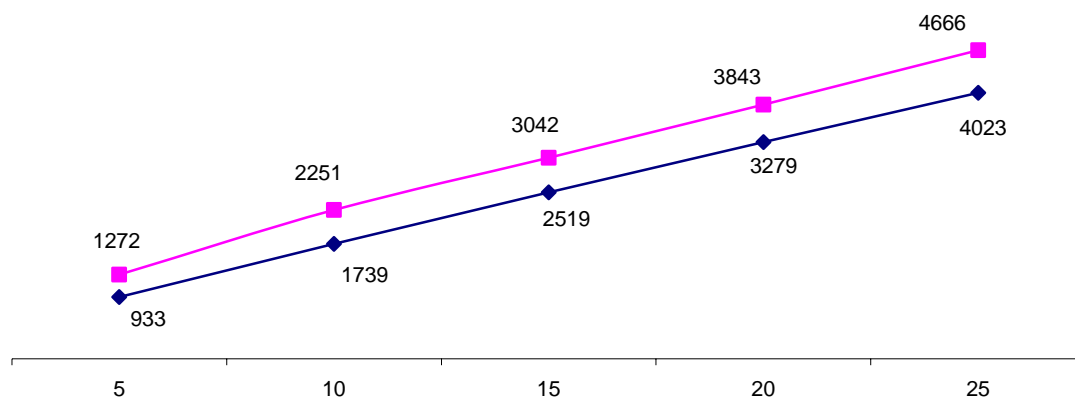


Рис. 1 Значения T_{max} , мес в зависимости от $r_{пр}$ при разных $\alpha = \beta$

Продолжительность испытаний блоков t_i была определена по формуле:

$$t_i = D_{от1} - D - (t_{вэ} + t_{рем}) \quad (2)$$

где $D_{от1i}$ – дата отгрузки первого блока типа **A**¹ или **B**;

¹ Буквами **A** и **B** обозначены блоки, отличающиеся конструктивно и имеющие разные наборы алгоритмов защиты, автоматики, управления и сигнализации.

D - дата (09.09.2009) окончания испытаний;

tvэ - промежуток времени, прошедший от даты отгрузки до даты ввода в эксплуатацию;

tрем – среднее значение времени, затрачиваемого на транспортировку блока к изготовителю и обратно, а также на ремонт².

Более сложно было получить сведения о дате ввода в эксплуатацию каждого блока. Для получения этой информации использовалось три источника.

Первый из них - «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.

Использование этого источника позволило получить сведения о дате ввода³ в эксплуатацию и месте установки для 6% процентов от общего числа выпущенных предприятием блоков ЦРЗА типа **A** и для 8,1% для блоков ЦРЗА типа **B**. Сравнивая эти цифры, следует учитывать, что в документацию этих блоков вкладыш «Уведомление о вводе блока» был введен в разное время. Следует отметить, что по полученной непосредственно от потребителя информации, количестве блоков, введенных в эксплуатацию, многократно превышает значение *N min*, рассчитанное по формуле (1).

Вторым источником получения информации о месте и дате ввода в эксплуатацию стали те или иные претензии потребителей к работе блоков.⁴

И, наконец, третьим источником информации о месте и дате ввода блоков в эксплуатацию были ответы на рассылаемые в эксплуатирующие предприятия запросы.

Учитывая, что согласно формуле (1) сокращение продолжительности испытаний *ti* приводит только к увеличению количества блоков, которые должны находится в эксплуатации, то при определении продолжительности испытаний использовались большие значения *tvэ*, а именно 8,5 мес для блоков типа **A** и 3,7 мес для блоков типа **B**.

Результаты расчетов *ti* по формуле (2) следующие:

$$tiA = 119 - 8,5 - 2 = 108,5 \sim 108 \text{ мес (3)}$$

$$tiB = 35 - 3,7 - 2 = 29,3 \sim 29 \text{ мес (4)}$$

где *tiA*, *tiB* – продолжительность испытаний блоков типа **A** и **B** соответственно.

² На основании информации о датах отгрузки и получения потребителями блоков, по работе которых были претензии, значение *tрем* = 2 мес.

³ Среднее значение времени от отгрузки до ввода в эксплуатацию блоков в этом случае составило 8,5 мес для блоков типа **A** и 3,7 мес для блоков типа **B**.

⁴ Среднее значение времени от отгрузки до ввода в эксплуатацию блоков, по работе которых были высказаны замечания, составило 2,5 мес для блоков типа **A** и 2,8 мес для блоков типа **B**.

При проведении испытаний минимальное количество объектов, находящихся в эксплуатации, было рассчитано для всех значений переменных величин – рисков потребителей, наработки на отказ и т.п.

Для экономии места в данной статье приведены результаты для одного случая – наработки на отказ $T_n = 100000$ ч, значения рисков потребителя и поставщика $\alpha = \beta = 0,05$, соответствующего наибольшим значениям N (рис. 2). Верхний график соответствует блокам типа **Б**, нижний – блокам типа **А**.

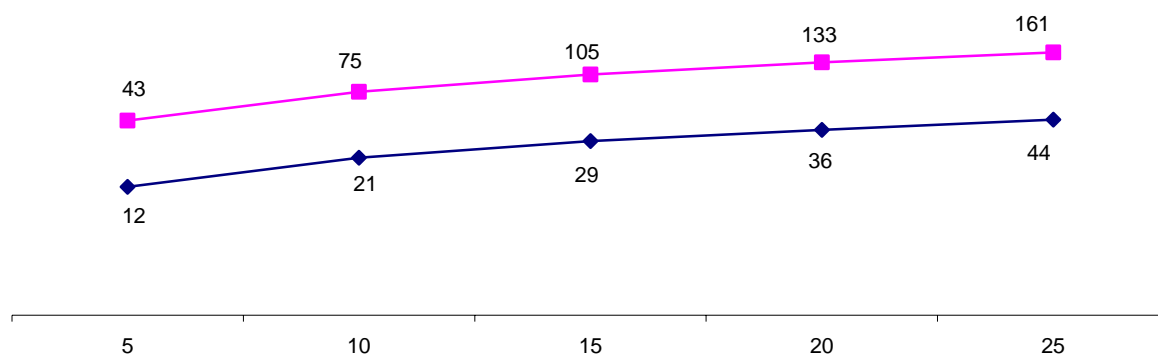


Рис. 2 Зависимость числа блоков N , находящихся в эксплуатации, от предельного числа отказов $r_{пр}$ для $\alpha = \beta = 0,05$, $T_n = 100000$ ч

Из диаграммы следует, что даже для предельного числа отказов $r_{пр} = 25$ минимальное количество блоков, которое должно находиться в эксплуатации, не превышает 161 шт.

Фактическая наработка каждого блока, по работе которых не было претензий от потребителя, но была информация о дате ввода в эксплуатацию, определялась по выражению:

$$T_i = D - D_{от i} - t_{вэ1} \quad (5),$$

где D – дата (09.09.2009), на которую рассчитывалось значение наработки i -го блока;

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

$t_{вэ1}$ – среднее время от отгрузки до ввода в эксплуатацию блоков по работе которых не было высказано замечаний до момента D .

Эта же формула использовалась для определения фактической наработки блоков, для которых отсутствует информация о дате ввода в эксплуатацию, и по работе которых не было замечаний

Фактическая наработка блоков, по работе которых у потребителей были претензии, определялась по формуле, в которой учтены затраты времени на его транспортировку к изготовителю и ремонт:

$$T_i = D - D_{от i} - (t_{вэ2} + t_{рем}) \quad (6)$$

где $t_{вэ2}$ – среднее время от отгрузки до ввода в эксплуатацию блоков по работе которых были высказаны замечания до моменту D .

Остальные обозначения приведены выше.

Результаты, полученные по формулам (5) и (6) для каждого i -го блока одного и того же типа, использовались для определения суммарной наработки по формуле:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N t_i \quad (7)$$

В соответствии с рекомендациями стандарта [6] все замечания потребителей по работе блоков, находящихся в эксплуатации, были разделены на две группы – признанные производителем и не признанные производителем. При дальнейшем рассмотрении учитывались только замечания по работе блоков, признанные производителем.

На рис. 3 верхний график показывает изменения суммарной наработки блоков типа **A**. При наступлении первого отказа суммарная наработка t_{Σ} составила 1999 месяцев, а в эксплуатации находилось 17 блоков (вторая линия снизу).

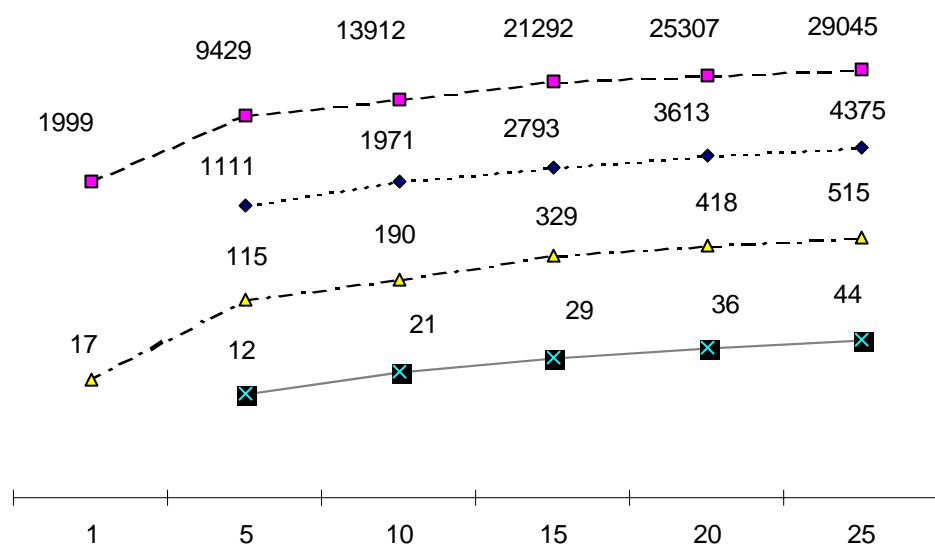


Рис. 3 Расчетные и фактические значения характеристик для блоков типа **A**

Из приведенных характеристик видно, что значение суммарной наработки t_{Σ} при наступлении 5, 10, 15, 20, 25 отказа всегда оказывается больше, чем значение t_{\max} , рассчитанное по данным табл. 1 (третья линия снизу).

Одновременно можно утверждать, что количество находящихся в эксплуатации блоков всегда больше минимального значения N (первая линия снизу), вычисленного по формуле (1).

На рис. 4 приведены аналогичные величины, рассчитанные по данным, полученным от предприятий, эксплуатирующих блоки типа **B**.

Из графиков видно, что при получении первой претензии значение суммарной наработки t_{Σ} (верхняя линия на рис. 4,а) существенно превышает значение $t_{\max} = 1111$, рассчитанное по данным, приведенным в табл.1.

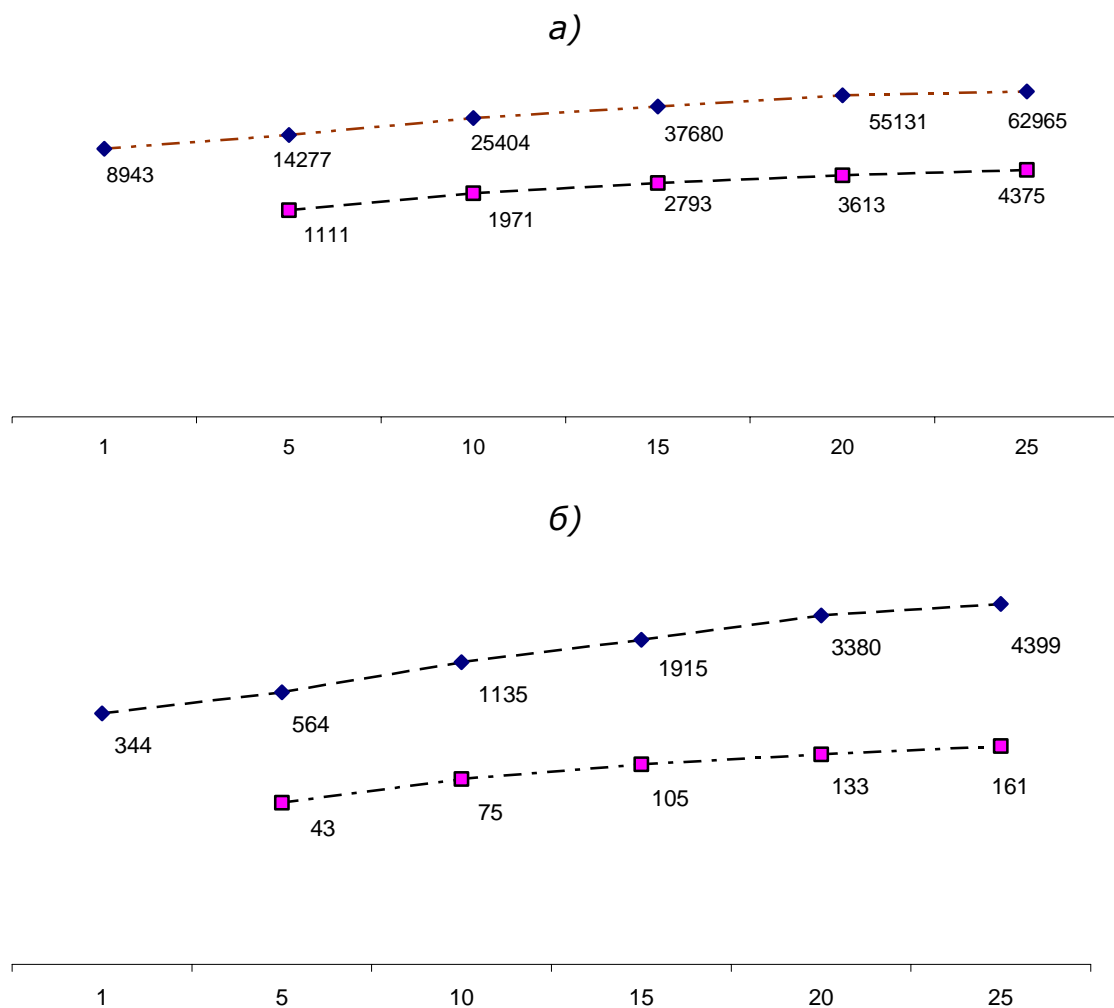


Рис. 4 Расчетные и фактические значения характеристик для блоков типа **Б**

На момент получения первого замечания по работе, в эксплуатации находилось 344 блока, тогда как согласно формуле (1) в эксплуатации может быть всего 43 блока.

Согласно рекомендациям, приведенным в стандарте [6], если первым достигается значение $t_{\Sigma} = t_{\max}$ при $r < r_{\text{пр}}$, принимают решение о соответствии требованиям к показателю надежности – наработки на отказ.

Проведенная по методике, изложенной в стандарте [6], обработка данных, полученных от эксплуатирующих предприятий, позволила сделать обоснованный вывод – наработка на отказ блоков типов **А** и **Б** соответствует значению 100000 ч.

В технических условиях на блоки **А** и **Б** [7] в разделе «Периодические испытания» предусмотрено проведение контрольных испытаний на надежность.

Результаты расчетов средней наработки на отказ, полученные с помощью метода, описанного в данной статье, были представлены на рассмотрение в экспертные организации и получили их одобрение, что позволило внести соответствующие изменения в технические условия и увеличить значение средней наработки на отказ до 100000 ч.

Литература

1. Международный электротехнический словарь. Глава 448. Защита энергетических систем. IEC 60050-448.
2. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007, 549 с.
3. РД 34.35.310-97. Общие требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. М.: ОРГРЭС, 1997 (с изменением №1).
4. Захаров О.Г. Корректировка требований к надежности цифровых устройств релейной защиты, автоматики и сигнализации// Материал размещен по адресу: <http://olgezaharov.narod.ru/RD/nadezhnostj.pdf>
5. Дворин В.М. Оценка показателей надежности радиоэлектронных систем.//Радиотехника, 1999, №1, С. 87.
6. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. М.: Издательство стандартов, 2000
7. Захаров О.Г. Опыт выпуска технических условий – стандарта организации.//Электротехнический рынок, №5 (29), сентябрь-октябрь, 2009, С. 56.