

Контрольные испытания на надежность по результатам эксплуатации

Олег ЗАХАРОВ
olgezaharov@yandex.ru

Введение

Расчетные методы используют в период проектирования, что позволяет оценить надежность будущего изделия. Однако эти методы неприменимы для изделий, выпускаемых в промышленных объемах, ведь далеко не всегда возможна разработка адекватного макета, отражающего особенности конкретного про-

изводственного процесса, которые во многом задают фактическую надежность изделия.

Серийно изготавливаемые изделия подвергают натурным испытаниям, для проведения которых в разумные сроки приходится одновременно тестировать значительное количество изделий, что существенно увеличивает затраты на такие процедуры. При небольшом объеме выпуска затраты на осуществление натурных испытаний могут негативно повлиять на экономические показатели предприятия.

Учитывая изложенное, рассмотрим применение экспериментально-расчетного метода для проведения контрольных испытаний на надежность.

Данные методы основаны на использовании информации о количестве эксплуати-

руемых изделий, их наработке, количестве возвращенных потребителем изделий.

Практическое применение этого метода рассмотрим на примере комбинированных блоков питания двух типов — БПК-3 и БПК-4.

Конструкция блоков

Блоки БПК-3(4) (рис. 1) предназначены для обеспечения бесперебойного питания цифровых устройств РЗА и схем релейной защиты на переменном оперативном токе¹ [1].

Внутри блоков БПК-3 и БПК-4 установлены два входных трансформатора напряжения TV1 и TV2, а также трансформатор тока

¹ См. раздел «Переменный оперативный ток» [2].



Рис. 1. Блок БПК-4

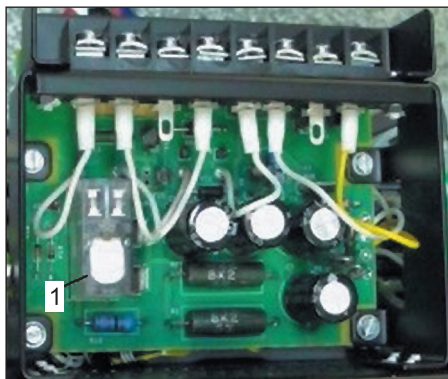


Рис. 3. Плата заряда и сигнализации:
1 — реле сигнализации о заряде конденсатора

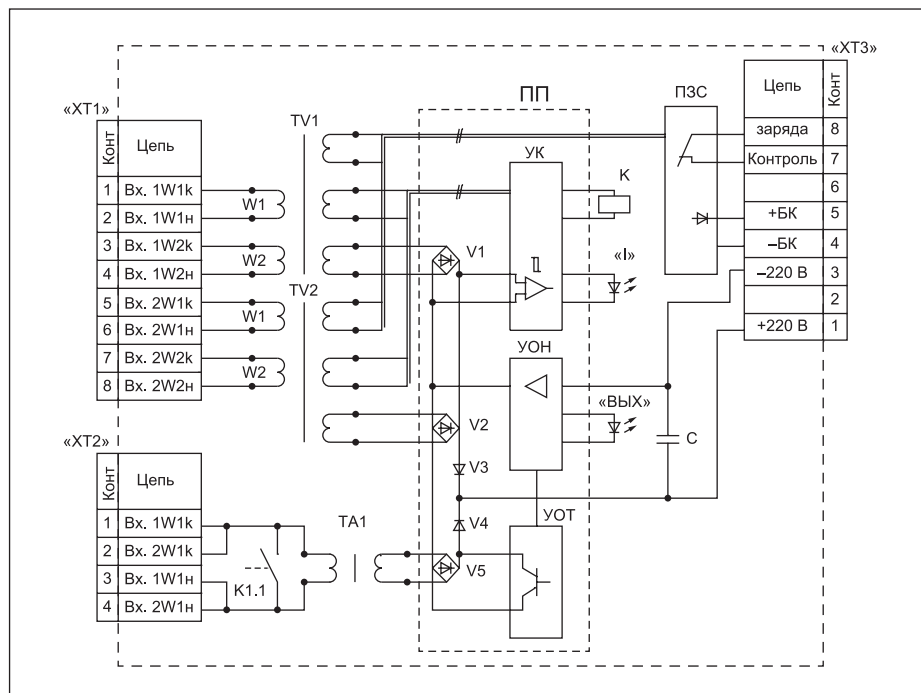


Рис. 2. Упрощенная схема блока БПК-4

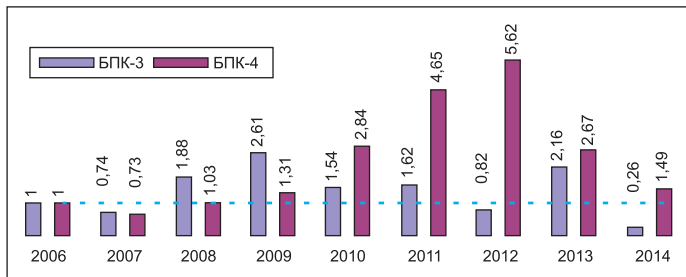


Рис. 4. Выпуск блоков BPK-3 и BPK-4 за 2006–2014 гг. (за единицу принят объем выпуска в 2006 году)

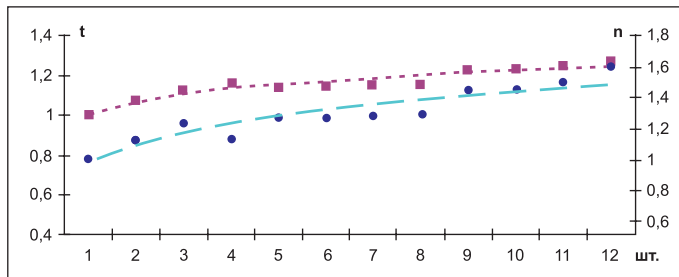


Рис. 5. Изменение суммарной наработки и количества эксплуатируемых блоков BPK-3 на момент поступления i-го возвращенного блока

ТА1 (рис. 2). В блоке BPK 3 отсутствует плата заряда и сигнализации (рис. 3), обеспечивающая заряд внешнего конденсатора, подключаемого к зажимам +БК и –БК.

Энергию, запасенную в этом конденсаторе, используют для управления выключателем. Подробное описание данных блоков приведено в [3].

Анализ информации о выпуске изделий и их возвратах

Серийное производство блоков BPK-3(4), заменивших выпускавшиеся ранее блоки BPK-1(2), началось в 1999 году (рис. 4).

Как известно, ритмичность производства изделий существенным образом влияет на их качество и надежность. Поэтому необходимо отметить, что длительное время объем выпуска BPK-3(4) был незначительным, например в 2005 году изготовлено всего 11 блоков BPK-4 и 51 блок BPK-3.

Тем не менее к концу 2014 года в эксплуатации находится количество изделий, соответствующих:

- 21,34 годового выпуска изделий BPK-4 в 2006 году (за единицу принято количество изделий, изготовленных в 2006 году);
- 12,63 годового объема изделий BPK-3 в 2006 году.

К концу 2014-го в эксплуатации находятся блоки BPK-3(4), произведенные еще в 1999 году и отработавшие более 15 лет.

В 2011 году были проведены контрольные испытания на надежность комбинированных блоков питания этой серии, в результате которых установлено, что с начала выпуска по май 2011 года возвращено на предприятие 14 блоков BPK-3, причем 2 из них возвращено необоснованно².

С начала выпуска по май 2011 года на предприятие возвращено 63 блока BPK-4, причем 26 из них возвращены необоснованно.

При возвращении i-го блока BPK-3(4) было определено количество блоков n, находящихся в эксплуатации, и их наработка t.

Графики, характеризующие процесс изменения этих величин, построены в от-

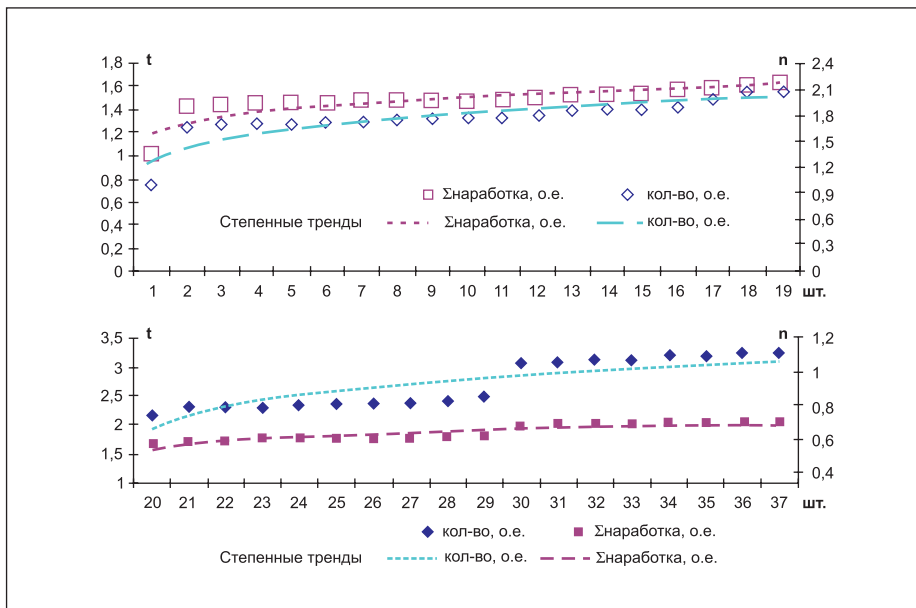


Рис. 6. Изменение суммарной наработки и количества эксплуатируемых блоков BPK-4 на момент поступления i-го возвращенного блока

носительных единицах, за единицу принято количество блоков и их наработка на момент возвращения первого блока (рис. 5, 6).

В связи с тем что получить достоверную информацию о дате ввода всех без исключения блоков в эксплуатацию оказывается невозможно, то для всех возвращенных блоков было рассчитано время $T_{ср}$, прошедшее от отгрузки до возврата для каждого из возвращенных блоков BPK-3 (табл. 1).

Можно предположить, что наличие платы заряда и сигнализации (рис. 3) снижает надежность блока BPK-4 по сравнению с блоком BPK-3, так как помимо изделий, возвращенных с общими для обоих типов блоков неисправностями, на предприятие-изготовитель вернулись и блоки BPK-4 с отказавшими платами заряда и сигнализации.

Для доказательства данного предположения проанализируем информацию, приведенную на рис. 5 и 6 для первых 12 возвращенных блоков каждого типа (рис. 7). Количество блоков, находящихся в эксплуатации в момент возврата i-го блока, показано в о.е., причем за единицу принято количество блоков BPK-4, находившихся в эксплуатации на момент возвращения первого блока этого типа.

Таблица 1. Время возврата блоков BPK-3(4) с 1999 по 2011 год

Характеристика	BPK-3	BPK-4
Среднее время возврата $T_{возвр.ср}$, мес.	3,3	4,6
Медиана $T_{возвр.мед}$, мес.	0	0
Дисперсия времени возврата, $\sigma_{возвр}^2$	29,15	34,05
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_{возвр}$	5,16	5,75

Из диаграммы видно, что на момент возврата первого блока типа BPK-3 в эксплуатации находилось в 1,72 раза больше блоков этого типа, чем на момент возврата первого блока BPK-4.

Последующие, со 2-го по 12-й блоки BPK-4 были возвращены при незначительном увеличении относительного количества изделий данного типа, находящихся в эксплуатации (от 1,66 до 1,79), то есть блоки этого типа потребитель возвращал чаще.

В то же время возврат со 2-го по 12-й блоков BPK-3 происходил при значительном росте относительного числа устройств, находящихся в эксплуатации (с 1,72 по 2,78), следовательно, блоки этого типа потребитель возвращал реже.

² Изделие считают возвращенным необоснованно, когда при проверке в условиях предприятия-изготовителя оно оказывается соответствующим всем требованиям, установленным в технической документации [7].

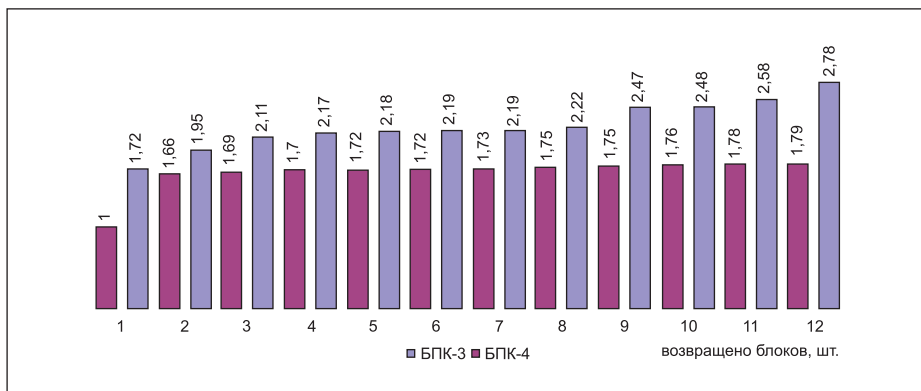


Рис. 7. Изменение относительного количества блоков, находящихся в эксплуатации, от числа возвращенных блоков каждого типа (количество изделий, находящихся в эксплуатации в момент возврата первого из блоков типа БПК-4 принято за единицу)

На момент проведения контрольных испытаний на надежность количество блоков БПК-4, находящихся в эксплуатации, в 1,83 раза превысило количество эксплуатирующихся блоков БПК-3, а суммарная наработка блоков БПК-4 оказалась больше суммарной наработки блоков БПК-3 в 1,23 раза.

Все это позволяет предположить, что количество блоков БПК-4, возвращенных из-за дефекта платы заряда и сигнализации, может находиться в диапазоне от 15 (при сравнении количества блоков в эксплуатации) до 22 (при сравнении наработок блоков) штук.

Анализ информации о причине возврата, содержащейся в актах исследования, показал, что из-за отказа платы заряда и сигнализации было возвращено 16 блоков БПК-4.

Предположение о влиянии платы заряда и сигнализации на надежность блока подтверждается и тем, что отношение числа блоков, по работе которых были высказаны обоснованные замечания (замечания, признанные производителем), к общему числу блоков, находящихся в эксплуатации, на 2011 год составило 1,2% для БПК-3 и 2,1% для БПК-4.

Оценка наработки и вероятность безотказного функционирования

Для дальнейшего анализа распределим признанные замечания к работе блоков по 10 группам, созданным для каждого типа блоков в соответствии с датой их выпуска³ (рис. 8).

Из-за различий в объеме выпуска блоков каждого типа (рис. 4) количество изделий, входящих в группу, зависит от типа блока. Если принять количество блоков типа БПК-3 в группе равным 1, то каждая группа блоков БПК-4 содержит в 1,83 раза больше изделий соответствующего типа.

Диаграмма на рис. 9 показывает, что замечания по работе блоков типа БПК-4 были

высказаны уже начиная со второй группы, то есть сразу же после старта их серийного выпуска.

К работе блоков типа БПК-3 замечания были высказаны значительно позже — только к блокам, объединенным в шестую группу.

На этой же диаграмме видно, что максимальное количество замечаний поступило к работе блоков:

- БПК-4, объединенных в 4-ю группу;
- БПК-3, объединенных в 7-ю группу.

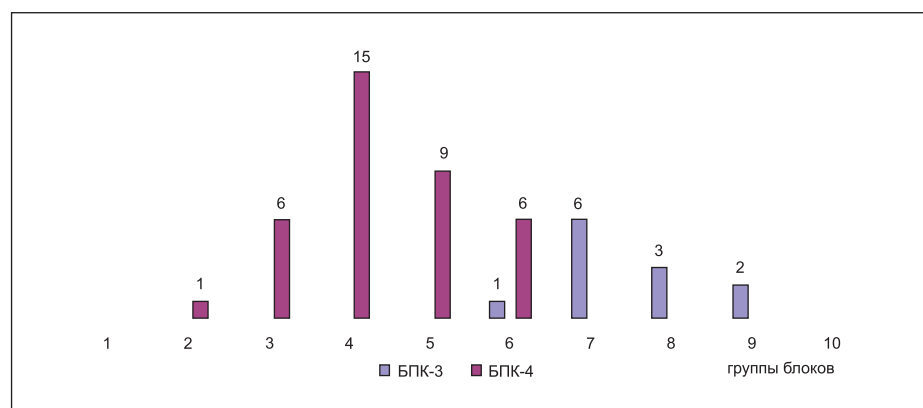


Рис. 8. Распределение замечаний к работе блоков питания БПК-3(4)

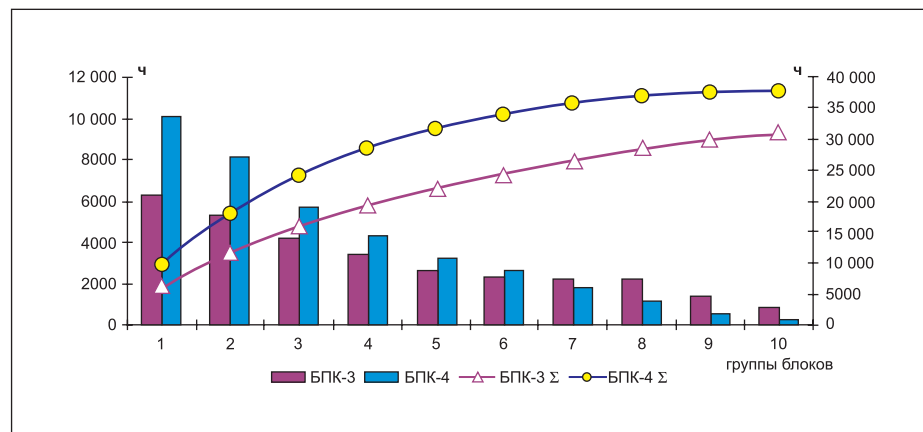


Рис. 9. Нарботка блоков БПК-3 в группах и суммарная

Необходимо отметить, что в это время количество блоков разных типов, находящихся в эксплуатации, отличалось менее чем на 5%.

Оценим наработку блоков каждого типа в каждой из групп на момент проведения контрольных испытаний (рис. 9).

Определение наработки на отказ блоков БПК-3 и БПК-4 проводилось способом, описанным в [4, 5].

Продолжительность контрольных испытаний на надежность (время от даты ввода первого блока в эксплуатацию до декабря 2011 года) составила 64 месяца для блоков БПК-3 и 63 месяца для блока БПК-4.

Контрольные испытания на надежность были проведены по одноступенчатому методу в предположении экспоненциального распределения средней наработки на отказ. При таком подходе испытания прекращают в том случае, когда будет достигнуто одно из значений — предельное количество неисправных изделий $r_{пр}$ или максимальное значение наработки t_{max} .

Так как эксплуатация изделий не прекращается, то при достижении одного из указанных значений делают вывод о соответствии или несоответствии декларированного значения средней наработки на отказ фактически полученному значению при обработке данных эксплуатации.

³ В первую группу входят блоки с заводскими номерами от 1 до N , во вторую — от $N+1$ до M , в третью — от $M+1$ до P и т. д.

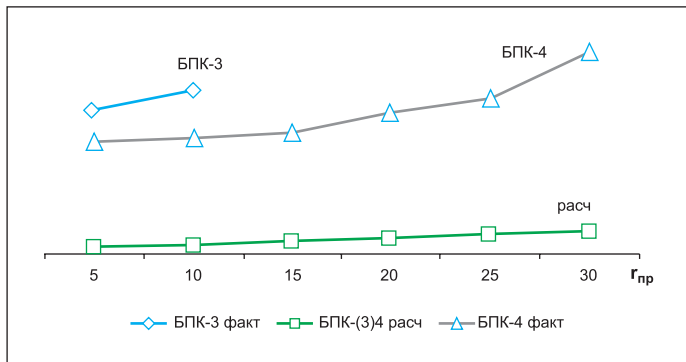


Рис. 10. Расчетное (нижняя линия) и фактическое (БПК-3 — верхняя, БПК-4 — средняя линии) количество образцов для испытаний при T₀ = 125 000 ч

Действующими стандартами [6] объем выборки не регламентирован, но для контроля полученных результатов необходимо определить минимальное количество объектов испытаний N по формуле:

$$N = t_{max}/t_{и} \tag{1}$$

где t_и — продолжительность испытаний.

Для блоков БПК-3 — t_и = 64 мес., для блоков БПК-4 — t_и = 63 мес. Результаты вычислений сведены в таблице 2.

На рис. 10 показано соотношение между расчетным (минимально необходимым) и фактическим количеством блоков, находящихся в эксплуатации при возврате 5-го, 10-го, 15-го и т. д. изделия.

Таким образом, в любой момент проведения контрольных испытаний на надежность в эксплуатации находилось такое количество блоков, которое превышает минимально необходимое по требованиям стандарта [6].

Поскольку в статье невозможно представить все промежуточные расчеты, выполненные по рекомендациям стандарта, приведем только графики, иллюстрирующие изменение суммарной наработки блоков, находящихся в эксплуатации. Нижний график, построенный по табличным данным, указанным в стандарте [6], показывает изменение значения t_{max} в зависимости от количества замечаний по работе блоков при одинаковых рисках потребителя и поставщика β = α = 0,05 (рис. 11).

Графики показывают, что значение t₂ всегда превышает значение t_{max} при любом количестве возвращенных изделий.

Доказанное таким образом значение наработки на отказ T₀ = 125 000 ч позволяет рассчитать вероятность безотказной работы за 2000 ч по формуле:

$$P = e^{-(t_0/T_0)} = e^{-0,016} = 0,98. \tag{2}$$

Оценка показателей сохраняемости

Полученная во время контрольных испытаний на надежность информация позволяет оценить и гамма-процентный срок сохраняемости.

Метод оценки этой характеристики — непосредственное хранение — установлен в стандарте [7].

Для испытаний по указанному методу было отобрано девять блоков из партии изделий, хранившихся на складе входного контроля одного из потребителей.

Хранение блоков на складе осуществлялось с соблюдением всех требований, установленных в документации. Фактически срок хранения составил 18 месяцев.

После окончания хранения блоки были осмотрены и подвергнуты приемосдаточным испытаниям, которые подтвердили правильное функционирование блоков и их соответствие всем установленным нормам.

В связи с отсутствием неисправных блоков использовать формулу, приведенную в стандарте [7], нецелесообразно, поскольку опытное значение гамма-процента независимо от числа испытываемых бло-

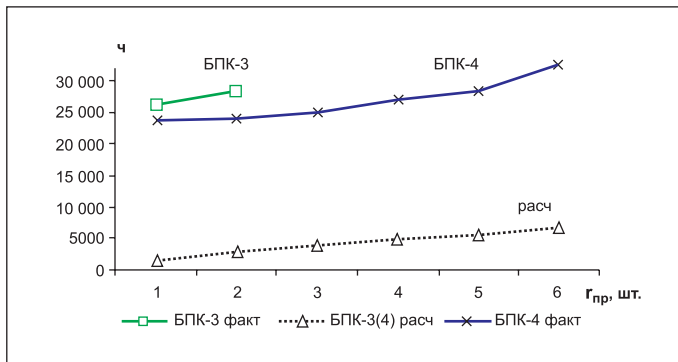


Рис. 11. График изменения t_{max} (нижняя линия) и t₂ (средняя и верхняя линии) для разных значений г_{пр}

Таблица 2. Минимально необходимое количество образцов для испытаний при T_и = T_β = 125 000 ч

	блоков БПК-3		блоков БПК-4					
	г _{пр} = 5	г _{пр} = 10	г _{пр} = 5	г _{пр} = 10	г _{пр} = 15	г _{пр} = 20	г _{пр} = 25	г _{пр} = 30
N = t _{max} /t _и	~22	~39	~22	~39	~56	~72	~87	~103

ков n при отсутствии неисправных изделий, то есть при d = 0, всегда будет равно 100%:

$$\gamma = (1 - d/n)100 = (1 - 0/9)100 = 100\%. \tag{3}$$

Поэтому воспользуемся таблицей 26 из [8], где для минимальной выборки из 8 изделий (испытывалось 9 изделий), в которой не было выявлено отказов (d = 0), определено, что значение гамма-процента при доверительной вероятности q = 0,8 соответствует γ = 80%.

Вывод

Экспериментальный метод оценки надежности по результатам эксплуатации позволил оценить такие показатели надежности, как наработка на отказ, вероятность безотказной работы и гамма-процентный срок сохраняемости.

Литература

1. Распределительные устройства 6 (10) кВ с микропроцессорными терминалами БМРЗ-100. Схемы вторичных цепей релейной защиты на переменном оперативном токе. www.rza.org.ua/article/read/Raspredelitelnye-ustrojstva-610-kV-s-mikroprocessornymi-terminalami-BMRZ-100-Shemy-vtorichnyh-cepej-releynoj-zachity-na-peremennom-operativnom-toke-8.html
2. Чернобровов Н. В., Семенов В. А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998.
3. Захаров О. Г. Источники питания для схем с цифровыми устройствами релейной защиты. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2011.
4. Блоки серии БПК 3 (4). www.rza.org.ua/article/read/Bloki-serii-BPK-3-4_115.html
5. Захаров О. Г. Надежность цифровых устройств релейной защиты. Показатели. Требования. Оценки. М.: Инфра-Инженерия, 2014.
6. Гондуров С. А., Захаров О. Г. Способ оценки наработки на отказ по результатам эксплуатации для устройств релейной защиты и автоматики // Современные технологии автоматизации. 2010. № 3.
7. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.
8. ГОСТ 21493-76. Изделия электронной техники. Требования по сохраняемости и методы испытаний.
9. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.