



Автор:
Захаров О.Г.

г. Санкт-Петербург, Россия.

КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БЛОКОВ ПИТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

Аннотация: рассмотрено применение информации, получаемой от потребителя, для оценки показателей надежности и сохраняемости изделий

Ключевые слова: надежность, необоснованный возврат изделий, наработка на отказ, контрольные испытания на надежность, объём выборки, риск поставщика и потребителя, гамма-процентные показатели сохраняемости



Захаров

Олег Георгиевич

Год рождения: 1944.

В 1969 году окончил ЛЭТИ им В.И. Ульянова /Ленина.

Работал в судостроительной промышленности, участвовал

в настройке и испытаниях электроэнергетических и гребных электрических установок более 100 судов и кораблей, в том числе атомного ледокола «Арктика».

Автор более 150 печатных работ, среди которых книги и статьи по цифровым устройствам РЗ, сигнализации и частотной разгрузки, поиску дефектов в релейно-контакторных схемах.

Разработчик стандартов по испытаниям и настройке судового электрооборудования, терминологии электромонтажных и настроечных работ.

Персональный сайт

www.olgezaharov.narod.ru.

При разработке изделий оценку показателей их надежности производят расчетными методами, используя данные о надежности комплектующих элементов, представляемые их изготовителями.

Достоверность расчетного метода во многом зависит от того, насколько выбранная для расчета модель изделия адекватна реальному изделию, насколько полно она учитывает те или многие факторы, оказывающие влияние на надежность изделия.

Натурные испытания для оценки надежности требуют значительных затрат, в том числе и на изготовление образцов, необходимых для проведения испытаний. Эти затраты возрастают многократно, если при испытаниях будут воспроизводиться реальные условия эксплуатации.

При выпуске изделий мелкими партиями затраты на натурные испытания для оценки надежности могут сделать их производство экономически неэффективным.

В то же время, рекомендованные действующими стандартами экспериментальные методы позволяют радикально сократить затраты на оценку тех или иных показателей надежности.

В данной статье на примере комбинированных блоков питания двух исполнений описано применение стандартных методов контрольных испытаний, использующих информацию, получаемую от эксплуатирующих предприятий.

Серийное производство блоков БПК-3(4) [1], заменивших выпускавшиеся ранее блоки БПК-1(2), началось в 1999 году. Длительное время объем их выпуска был незначительным: например в 2005 году было выпущено всего 11 блоков БПК-4 и 51 блок БПК-3.

Объем выпуска изделий (рис. 1) ежегодно колебался в связи с изменением количества заказов, поступающих на предприятие.

Если принять за единицу количество изделий, выпущенных в 2006 году, то к концу 2014 года в эксплуатации находится количество изделий, соответствующих:

- 21,34 годового выпуска изделий БПК-4 в 2006 году;
- 12,63 годового выпуска изделий БПК-3 в 2006 году.

В 2014 году производство блоков БПК-3(4) прекращено, но до сих пор в эксплуатации находятся блоки, выпущенные ещё в 1999 году.

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 БПК-3, причем 2 из них – необоснованно.

Изменение общего количества блоков БПК-3, находящихся в эксплуатации и их суммарной наработки показано на рис. 2.

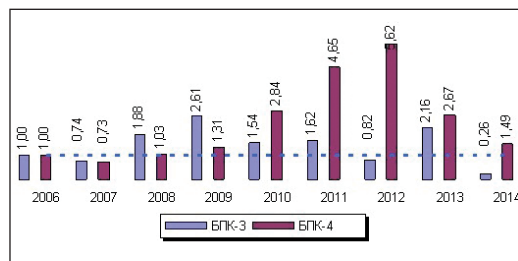


Рис. 1. Выпуск блоков БПК-3 и БПК-4 за 2006-2014 годы. За единицу принят объем выпуска в 2006 году

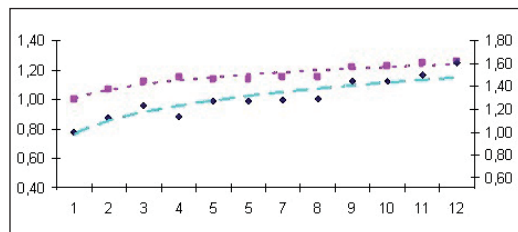


Рис. 2. Изменение суммарной наработки и количества эксплуатируемых блоков БПК-3 на момент поступления i-го возвращенного блока

Табл. 1. Время возврата блоков БПК-3 (4) с 1999 по 2011

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

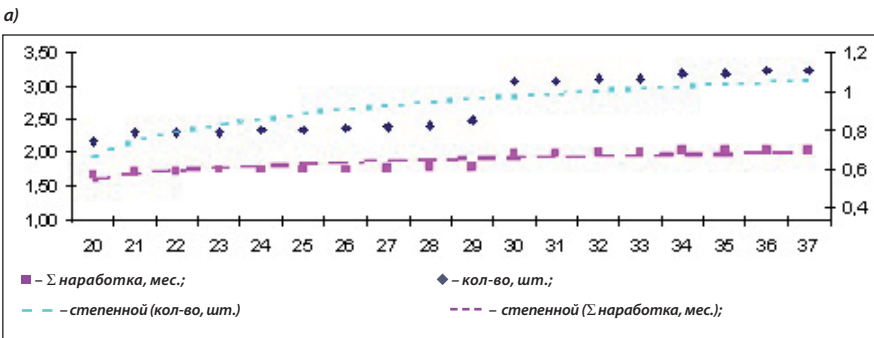
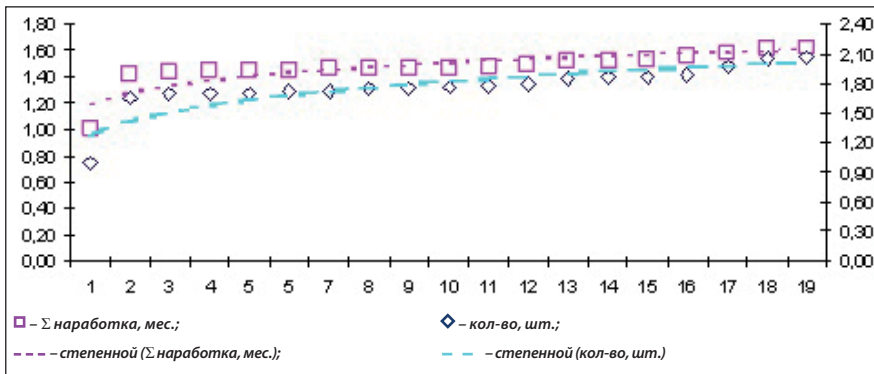


Рис. 3. Изменение суммарной наработки и количества эксплуатируемых блоков БПК-4 на момент поступления i -го возвращенного блока

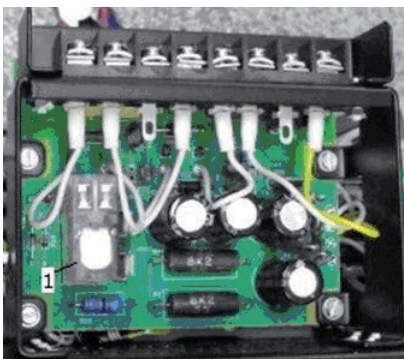


Рис. 4. Плата заряда и сигнализации 1 – реле сигнализации о заряде конденсатора

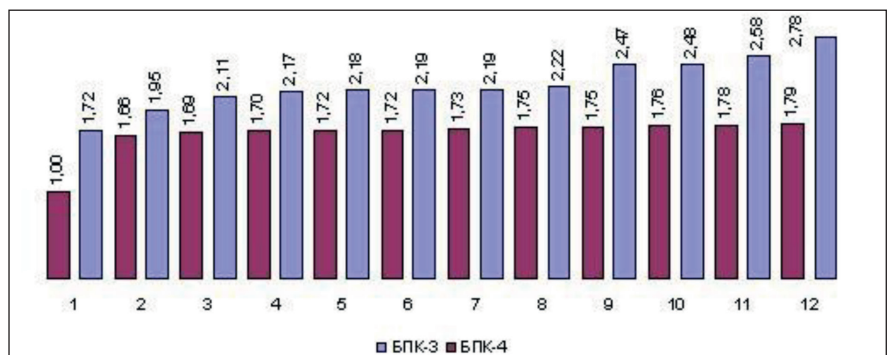


Рис. 5. Изменение относительного количества блоков, находящихся в эксплуатации от числа возвращенных блоков каждого типа
Количество изделий, находящихся в эксплуатации в момент возврата первого из блоков типа БПК-4 принято за единицу.

Наработка изделий, достигнутая к моменту первого отказа, а также количество изделий, находившихся в эксплуатации в данный момент, приняты за единицу.

Среднее время от отгрузки до возврата $T_{\text{ср}}$ для каждого из 12 возвращенных блоков БПК-3, составило 19,3 мес (табл. 1).

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

Изменение общего количества блоков БПК-4, находящихся в эксплуатации и их суммарной наработки показано на рис. 3. Наработка изделий, достигнутая к моменту первого отказа, а также количество изделий, находившихся в эксплуатации в данный момент, как и ранее, приняты за единицу.

Блоки БПК-4 отличаются от блоков БПК-3 наличием дополнительного узла – платы заряда и сигнализации (рис. 4), осуществляющей заряд внешнего конденсатора. Энергию, запасенную в этом конденсаторе, используют для управления выключателем.

Если принять за единицу (рис. 5) количество блоков типа БПК-4, находящихся в эксплуатации к моменту возврата первого неисправного блока этого типа, то в момент возврата первого неисправного блока типа БПК-3 в эксплуатации находилось в 1,72 раза больше блоков этого типа, чем блоков БПК-4.

С начала выпуска по 2011 год было возвращено только 12 блоков типа



БПК-3. Информация о 13-м и последующих возвращенных блоках БПК-4 не приведена.

Одинаковые или близкие значения относительного количества блоков, приведенные над столбиками, показывают, что в это время были возвращены блоки, заводские номера которых близки друг к другу.

Отношение числа блоков, по работе которых были высказаны обоснованные замечания (замечания, признанные производителем), к общему числу блоков, находящихся в эксплуатации на 2011 год составили:

- 1,2% – для БПК-3;
- 2,1% – для БПК-4.

Для дальнейшего анализа распределим признанные замечания по работе блоков к 10 группам, созданным для каждого типа блока.

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. Таким образом, группы блоков организованы по хронологическому принципу.

Из-за разного количества выпущенных блоков каждого типа, в группу входят разное количество изделий. Если принять количество изделий, входящих в группу типа БПК-3 равным 1, то в каждую группу блоков БПК-4 включено в 1,83 раза больше изделий соответствующего типа.

Из диаграммы, приведенной на рис. 6 видно, что максимальное количество замечаний поступило к работе блоков:

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

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

Можно предположить, что наличие этой платы заряда и сигнализации снижает надежность блока БПК-4 по сравнению с блоком БПК-3, так как помимо общих для обоих типов блоков неисправностям, в них возможны неисправности этой платы.

Оценим наработку блоков каждого типа в каждой из групп на мо-

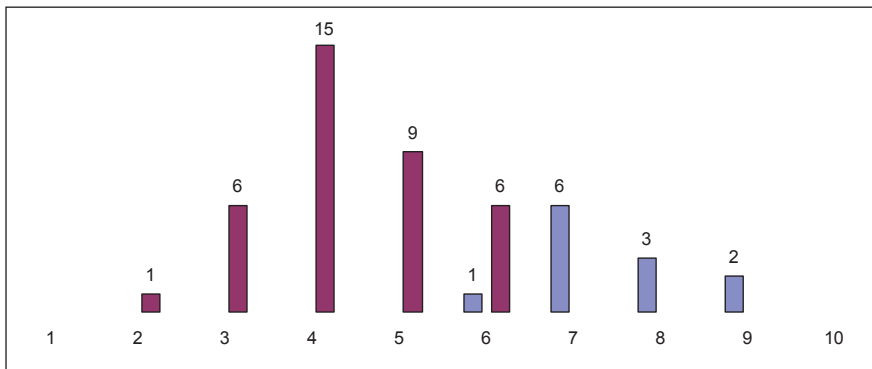


Рис. 6. Распределение замечаний к работе блоков по группам заводских номеров

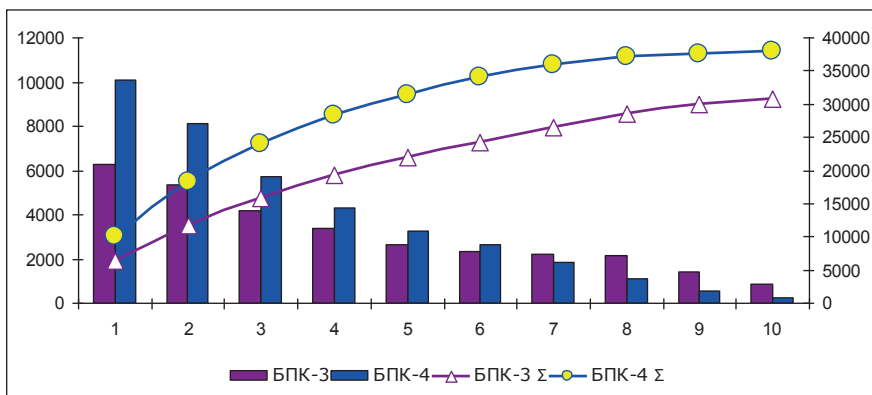


Рис. 7. Нарботка блоков БПК-3 в группах и суммарная

мент проведения контрольных испытаний (рис. 7).

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

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

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

Сказанное позволяет обоснован-

но утверждать, что количество возвращенных блоков того или иного типа зависит прежде всего от количества блоков данного типа, находящихся в эксплуатации.

Определение наработки на отказ блоков БПК-3 и БПК-4 проводилось способом, описанным в [2, 3].

Продолжительность испытаний (время от даты ввода первого блока в эксплуатацию) до даты проведения контрольных испытаний в 2011 году составило 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 – предельного количества неисправных из-

делий r_{np} 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.

Действующими нормативными документами [4, 6] объем выборки не регламентируется, но для контроля полученных результатов необходимо определять минимальное количество объектов испытаний N по формуле:

$$N = t_{max}/t_n \quad (1)$$

На рис. 8 показано соотношение между расчетным (минимально необходимым) и фактическим количеством блоков, находящихся в эксплуатации при возврате 5, 10, 15 и т.д. изделия.

Таким образом, в любой момент проведения контрольных испытаний на надежность в эксплуатации находится количество блоков, превышающее минимально необходимое, требуемое стандартом [4].

Так как в статье невозможно привести все промежуточные расчеты, выполненные по рекомендациям стандарта, приведем только графики, иллюстрирующие изменение суммарной наработки блоков, находящихся в эксплуатации.

Нижний график построенный по табличным данным, приведенным в стандарте [4], показывает изменение значения t_{max} в зависимости от количества замечаний по работе блоков при одинаковых рисках потребителя и поставщика $\beta = \alpha = 0,05$ (рис. 9)

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

Полученное таким образом значение наработки на отказ $T_0 = 125000$ часов позволяет рассчитать вероятность безотказной работы за 2000 часов по формуле

$$P = e^{-\left(\frac{t_0}{T_0}\right)} = e^{-0,016} = 0,98 \quad (2)$$

Табл. 2. Минимально необходимое количество образцов для испытаний при $T_n = T_p = 125000$

блоков БПК-3						
	$r_{np} = 5$	$r_{np} = 10$				
$N = t_{max}/t_n$	~22	~39				
блоков БПК-4						
	$r_{np} = 5$	$r_{np} = 10$	$r_{np} = 15$	$r_{np} = 20$	$r_{np} = 25$	$r_{np} = 30$
$N = t_{max}/t_n$	~22	~39	~56	~72	~87	~103

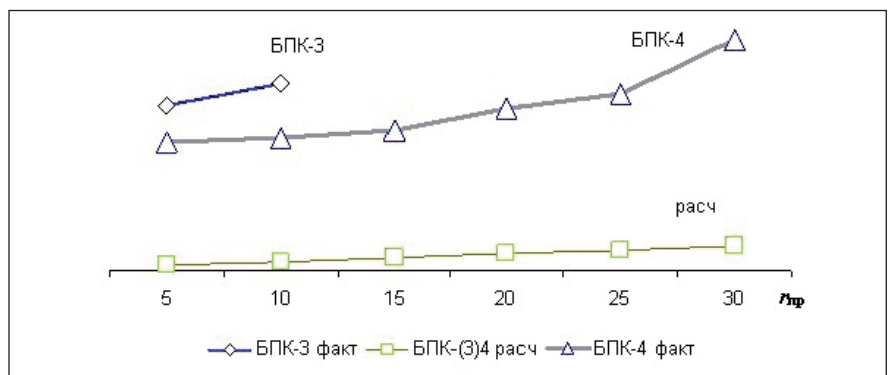


Рис. 8. Расчетное (нижняя линия) фактическое (БПК-3 – верхняя, БПК-4 – средняя линии) количество образцов для испытаний при $T_0=125000$ час

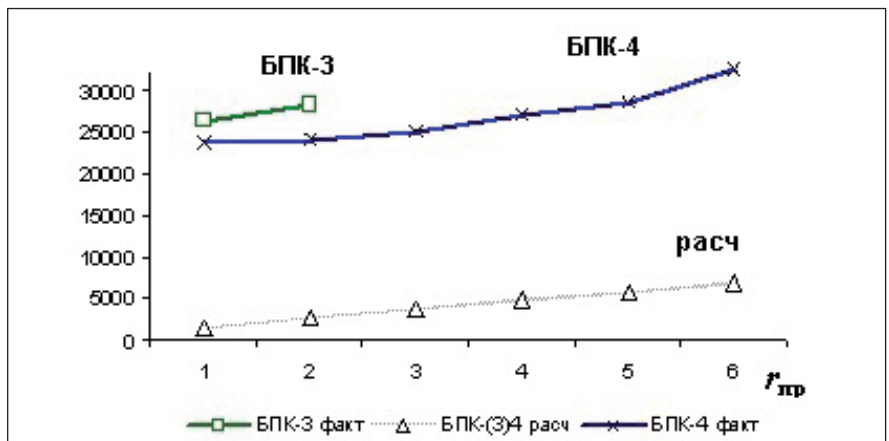


Рис. 9. График изменения t_{max} (нижняя линия) и t_{Σ} (средняя и верхние линии) для разных значений r_{np}

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

Метод оценки этой характеристики – непосредственное хранение - установлен в стандарте [5].

Девять блоков для испытаний по этому методу были отобраны из партии изделий, хранившиеся на складе входного контроля одного из потребителей.

Хранение блоков на складе осуществлялось с соблюдением всех требований, установленных в документа-



ции. 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 требованиям.

В связи с отсутствием неисправных блоков использовать формулу, приведенную в стандарте [5] нецелесообразно, так как опытное значение гамма-процента независимо от числа испытываемых блоков n при отсутствии неисправных изделий, т.е. при $d = 0$ всегда

будет равно 100%:

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

Поэтому воспользуемся таблицей 26 из [6], где для минимальной выборки из 8 изделий (испытывалось 9 изделий), в которой не было выявлено отказов ($d = 0$), соответствует значение гамма-процента $\gamma = 80\%$ при доверительной вероятности $q = 0,8$.

Перед прекращением производства блоков БПК-3 (4) в связи с переходом на выпуск нового блока был произведен анализ информации о производстве, испытаниях и результатах

эксплуатации за 2014 и 2013 годы.

Диаграммы изменения выпуска блоков БПК-3 (4) по месяцам в 2013 и 2014 годах приведены на рис. 10.

Одномоментно прекратить выпуск блоков БПК-3(4) невозможно, так как использование этих блоков предусмотрено в проектах подстанций на переменном оперативном токе, выполненных после 2012 года. Поэтому выпуск этих изделий будет продолжаться ещё некоторое время, а объем выпуска будет зависеть от количества заказов. Учитывая это, особое внимание было обращено на анализ причин возврата блоков в 2014 году, что позволило составить диаграмму, показанную на рис. 11.

Наибольшее количество блоков (8 из 20, т.е. 40%) возвращено из-за повреждений, вызванных подачей напряжения, превышающего 264 В.

Ещё пять блоков возвращены из-за длительного хранения, причем условия хранения не соблюдались, а срок гарантийных обязательств к моменту возвращения истек. Блоки были отгружены в период с января по июль 2008 года, а возвращены 28 апреля 2014 года. Таким образом, срок хранения превысил 6 лет.

Ещё один блок был возвращен из-за повреждений, возникших при попытке ремонта изделия силами эксплуатирующего предприятия.

Таким образом, 70% изделий были возвращены по причинам, не имеющим отношения к их надежности.

Доля всех возвращенных блоков составила 0,92%. Если исключить те блоки, чей возврат не связан с их надежностью, доля возвращенных блоков составила всего 0,28%.

Анализ информации о результатах проведения приемосдаточных испытаний всех изделий проводится регулярно. В связи с планируемым переходом на выпуск новых изделий и постепенный отказ от производства блоков БПК-3(4) особый интерес представляет информация о выявленном браке во время приемосдаточных испытаний (ПСИ) блоков БПК-3(4) в 2013 году.

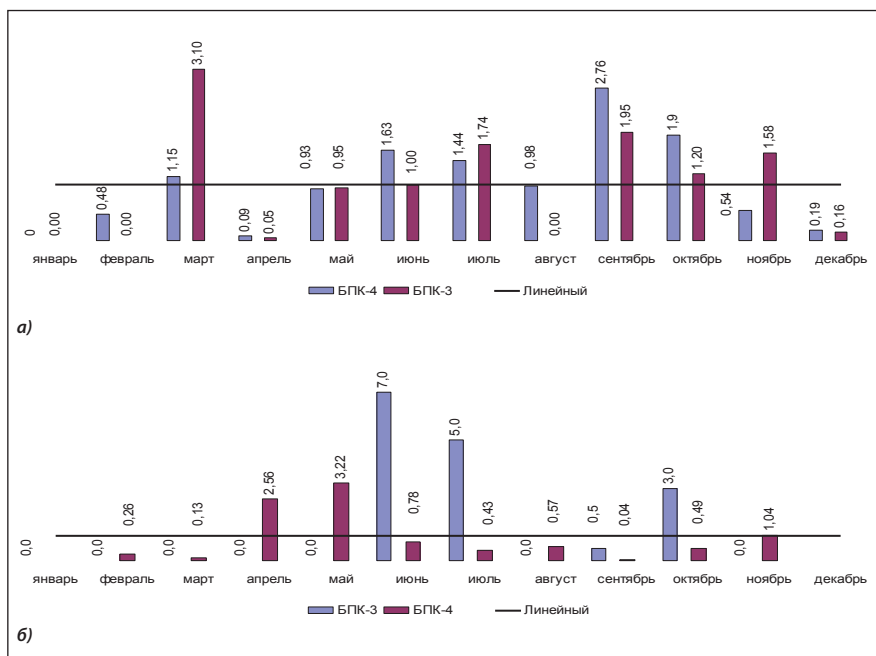


Рис. 10. Выпуск блоков БПК-3(4) в 2013 (а) и 2014 (б) годах

Горизонтальные линии – среднемесячный выпуск

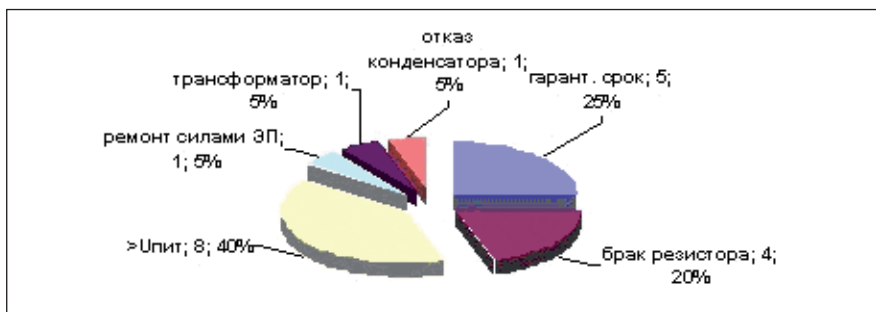


Рис. 11. Причина возврата блоков БПК-3(4) в 2014 году

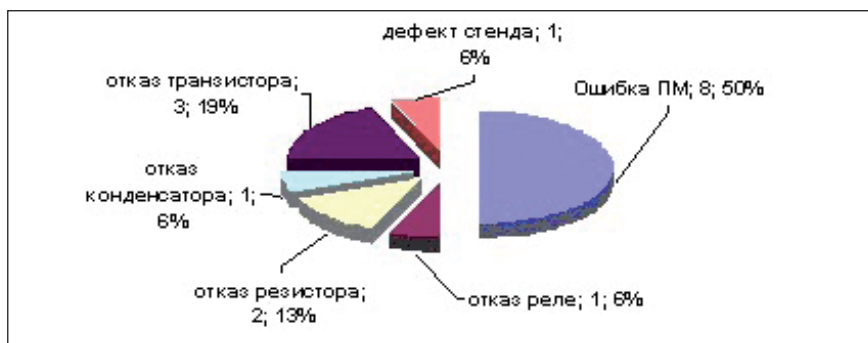


Рис. 12. Распределение дефектов блоков БПК-3(4), выявленные на ПСИ в 2013 году

За этот год было забраковано 2,9% от всех предъявленных на испытания блоков БПК-3(4). Информация о причинах отбраковки блоков представлена на рис. 12.

Сразу следует обратить внимание, 42,9% процента изделий было забраковано по причине, не имеющей отношения к качеству изготовленного изделия. Для испытаний новых блоков БПК-5 было разработано универсальное стендовое оборудование, позволившее снизить затраты ручного труда на проведение приемосдаточных испытаний. Так как

на этом оборудовании проводили испытания и блоков БПК-3(4), то практически 50% изделий БПК-3(4) были забракованы из-за отличия в методиках испытаний блоков БПК-3(4) и БПК-5.

Поэтому после устранения несоответствия между ранее действующей программой и методикой испытаний и результатами проверки на новом стенде, браковка блоков БПК-3(4) прекратилась.

Выводы

1. Экспериментальный метод оценки надежности по результатам эксплуа-

тации позволил оценить такие показатели надежности, как наработка на отказ, вероятность безотказной работы и гамма-процентный срок сохраняемости.

2. Анализ информации о причинах браковки блоков БПК-3(4) позволил откорректировать методики испытаний старых и новых изделий, повысив тем самым достоверность получаемых результатов.

Литература

- Захаров О.Г. Источники питания для схем с цифровыми устройствами релейной защиты. М.: НТФ «Энергопрогресс». – 2011. 102 с. [Библиотека электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 2 (146)].
- Захаров О.Г. Надежность цифровых устройств релейной защиты. Показатели. Требования. Оценки. М.: Инфра-Инженерия, 2014, 128 с.
- Гондуров С.А., Захаров О.Г. Способ оценки наработки на отказ по результатам эксплуатации для устройств релейной защиты и автоматики // СТА (Современные технологии автоматизации). – №3. – 2010. – С. 88.
- ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.
- ГОСТ 21493-76. Изделия электронной техники. Требования по сохраняемости и методы испытаний.
- РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.