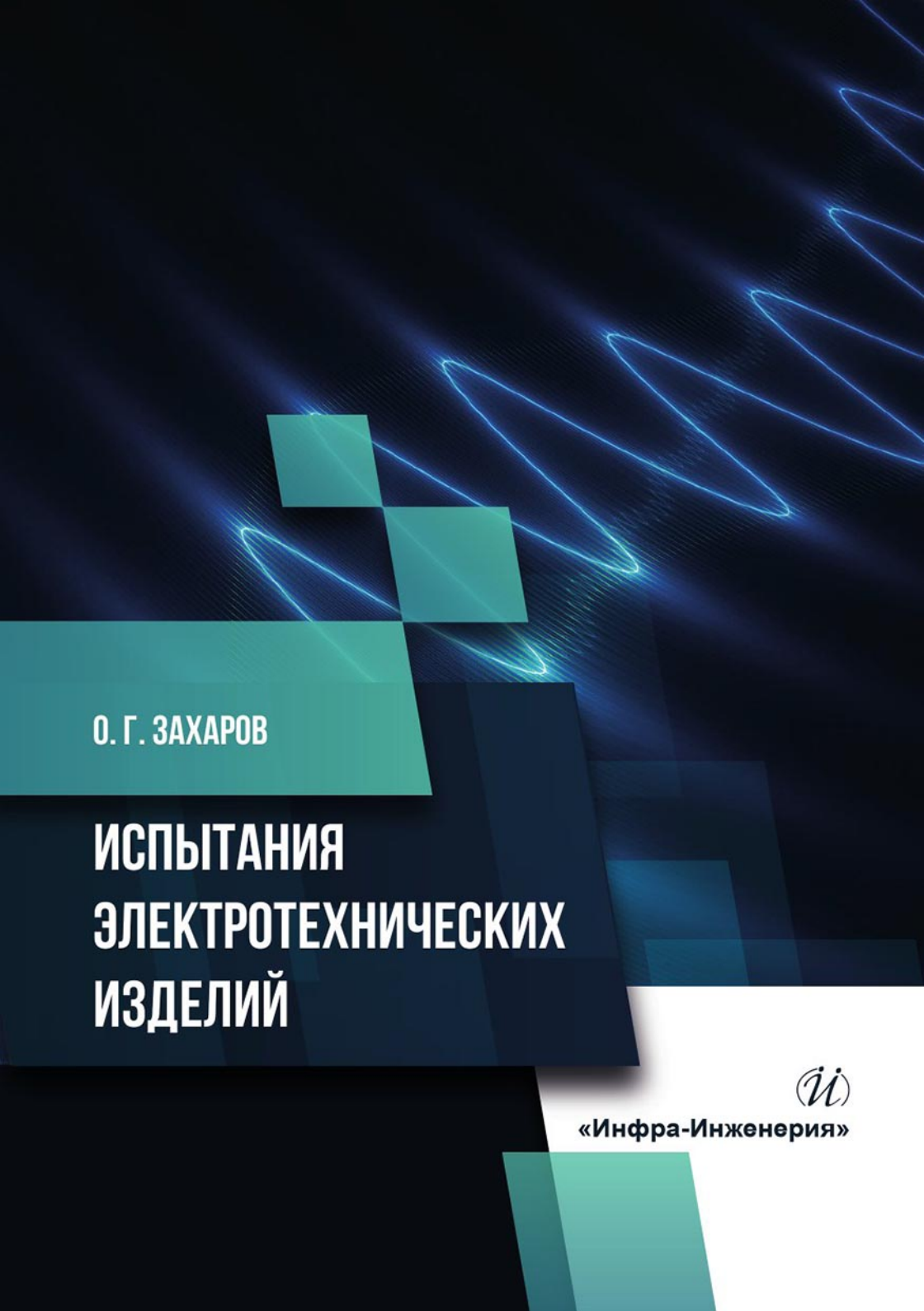

О. Г. ЗАХАРОВ
ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
«Инфра-Инженерия»

УДК 621.3
ББК 31.2
З-38

Захаров, О. Г.

З-38 Испытания электротехнических изделий : монография / О. Г. Захаров. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 116 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-1457-9

На примере одного типа электротехнических изделий – комбинированных блоков питания для цифровых устройств релейной защиты – рассмотрен полный комплекс механических, электрических, климатических испытаний, а также испытаний на электромагнитную совместимость и контрольных испытаний на надежность, предусмотренных в технических условиях и в программах испытаний разных изделий. Описаны стандартизированные и оригинальные методы испытаний, разработанные автором, приведены результаты испытаний серийных и специально отобранных образцов и выборок изделий.

Для специалистов, занимающихся разработкой, изготовлением, испытаниями, монтажом и эксплуатацией электротехнических изделий.

УДК 621.3
ББК 31.2

ISBN 978-5-9729-1457-9
© Захаров О. Г., 2023
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
1 ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ 4
2 ТРЕБОВАНИЯ К ИЗДЕЛИЯМ 8
3 ГАБАРИТЫ И МАССА 14
4 СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ ОБОЛОЧКОЙ 19
5 БЕЗОПАСНОСТЬ 24
5.1 Электробезопасность 24
5.2 Сопротивление изоляции 28
5.3 Высоковольтные испытания 31
5.4 Пожарная безопасность 35
6 МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ 38
6.1 Транспортирование 38
6.2 Удар при свободном падении 40
6.3 Механические испытания на стендах 42
7 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ 44
7.1 Пусковой ток 44
7.2 Сопротивление токовых входов 47
7.3 Токовые входы 49
7.4 Пульсация напряжения и тока 83
7.5 Защита выходов от короткого замыкания 56
7.6 Входы и выходы напряжения 60
7.7 Зарядные устройства 65
7.8 Переключение источников питания 69
8 КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ 72
8.1 Влажность 72
8.2 Иней и роса 74
8.3 Температура 75
9 ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ 78
9.1 Общие сведения 78
9.2 Электростатический разряд 80
9.3 Наносекундные импульсные помехи 83
9.4 Магнитное поле промышленной частоты 88
9.5 Микросекундные импульсные помехи 92
10 ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ 98
10.1 Общие сведения 98
10.2 Контрольные испытания на надежность 99
10.3 Оценка показателей сохраняемости 106

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 112

1 ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

На любое изделие при его хранении, транспортировании, эксплуатации воздействуют внешние воздействующие факторы (далее ВВФ), оказывающие влияние на его характеристики.

О том, какие ВВФ допустимы для конкретного изделия и диапазон их значений пользователь может узнать из руководства по его эксплуатации или технических условий [1].

Например, во вводной части ТУ на комбинированный блок питания БПК-5Т (БПК-5Т) написано, что это изделие предназначено для эксплуатации при:

- температуре окружающего воздуха от минус 40 до плюс 55 °С;
- атмосферном давлении воздуха от 73,3 до 106,7 кПа (от 550 до 800 мм рт. ст.);
- установке на высоте над уровнем моря не более 2000 м;
- воздействии воздуха с относительной влажностью до 98 % при плюс 25 °С и более низких температурах без конденсации влаги по ГОСТ 20.57.406 (степень жёсткости III)[2];
- выпадении на него инея с последующим оттаиванием.

В документах на комбинированный блок питания указано, что окружающая изделие среда должна быть невзрывоопасной, не содержать токопроводящей пыли, агрессивных паров и газов, разрушающих электрическую изоляцию и металлы.

Место установки изделия должно быть защищено от попадания брызг воды, масел, эмульсий, а также от прямого воздействия солнечной радиации.

Кроме перечисленных характеристик и параметров, в документации на изделие указывают группу механического исполнения, характеризующую способность изделия противостоять воздействию на него механических ВВФ.

Например, блок питания БПК-5(БПК-5Т) соответствует группе механического исполнения М7 по ГОСТ17516.1-90.

Дополнительно в документации может быть указана характеристика, показывающая способность изделия противостоять воздействию других ВВФ, например землетрясению.

Эта характеристика для блоков БПК-5 (БПК-5Т) указана следующим образом – изделие выдерживает землетрясения силой 9 баллов по шкале MSK-64[3] при установке его над нулевой отметкой до 10 м по ГОСТ 17516.1.

При испытаниях принято подвергать изделие воздействию механических, климатических, термических, электромагнитных и других ВВФ для того, чтобы оценить:

[2] Степень жёсткости испытаний – условный номер, отражающий интенсивность действия ВВФ (см. ниже).

[3] 12-бальная шкала сейсмической интенсивности Медведева – Шпонхойера – Карника.

- *стойкость изделия* – его способность сохранять в течение всего срока службы работоспособное состояние как во время воздействия ВВФ, так и после их прекращения. Требование к сохранению работоспособного состояния изделия в течение всего его срока службы (и/или всего срока сохраняемости) отличает это свойство изделия от таких свойств как устойчивость или прочность;
- *устойчивость изделия* – способность изделия сохранять работоспособное состояние во время воздействия ВВФ в пределах заданных значений;
- *прочность изделия* – способность изделия сохранять работоспособное состояние после воздействия на него ВВФ. При этом значения характеристик ВВФ должны находиться в пределах, соответствующих условиям эксплуатации, транспортирования, хранения или испытаний, приведенных в документации на изделие. Испытания на прочность проводят при выключенном (не работающем) изделии.

Для получения сопоставимых и достоверных оценок результатов значения ВВФ во время испытаний не должны превышать установленных в документации на изделие.

В практике испытаний принято использовать номинальное значение[4] ВВФ, а совокупность всех номинальных значений ВВФ для того или иного изделия называть номинальными условиями эксплуатации (см. ГОСТ 26883-86).

Номинальное значение $X_н$ того или иного ВВФ может быть задано в документации как изменяющееся или неизменное (верхнее и/или нижнее) значения. При этом подразумевают, что соблюдение номинального значения, заданного в документации, обеспечивает сохранение работоспособности изделия в течение срока службы или/и срока сохраняемости.

Разрешенное отклонение или допуск (рис. 1) указывают либо в технических условиях на конкретное изделие [1, 2, 3, 4], либо в стандартах общих технических требований, например в РД 34.35.310-97.



Рис. 1. Допуск

[4] Номинальное значение величины – значение, соответствующее номинальному режиму работы изделия, определенному его изготовителем.

Обычно допуск задают либо в тех же единицах, что и характеристику, либо в процентах от номинального значения, причем положительный ($+\delta X$) и отрицательный ($-\delta X$) допуски могут быть разными.

Сумму абсолютных значений положительного $|+\delta X|$ и отрицательного $|-\delta X|$ допусков (при указании номинального значения $X_н$) принято называть полем допуска.

При отсутствии номинального значения величины, допуск задают ввиде нижней и верхней границы диапазона значений. Например, одна из характеристик климатических испытаний в [1] задана так:

– относительная влажность от 45 до 75 %.

В этом случае, полем допуска называют разность между верхним и нижним значениями относительной влажности.

Нахождение контролируемого параметра в поле допуска (при допусковом контроле) свидетельствует о годности изделия (см. рис. 9).

В связи с тем, что номинальное значение того или иного ВВФ может быть изменяющимся, то при испытаниях используют эффективное значение ВВФ, представляющее собой условное постоянное значение (см. ГОСТ 15150-69), эквивалентное воздействию переменного значения данного фактора в процессе эксплуатации.

Такой подход особенно характерен и актуален для климатических испытаний, во время проведения которых задают эффективные значения:

- температуры окружающей среды;
- влажности воздуха;
- атмосферного давления и т. п.

Климатические испытания часто проводят при воздействии на изделие нормальных климатических условий (НКУ), задаваемыми такими значениями характеристик (см., например, ГОСТ 20.57.406-81):

- температура окружающего воздуха от плюс 15 до плюс 35 °С;
- относительная влажность воздуха от 45 до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа или от 630 до 800 мм рт. ст.).

Для некоторых изделий разработчик задаёт номинальные значения ВВФ в виде рабочих или предельных рабочих значений.

Продолжительность воздействия рабочих значений ВВФ не ограничена во времени, при этом значения всех характеристик испытываемого изделия должны сохраняться неизменными во время работы изделия.

При воздействии на изделие ВВФ с предельными рабочими значениями возможно ограничение длительности ВВФ и изменение некоторых характеристик изделия после таких воздействий.

После прекращения действия ВВФ с предельными рабочими значениями, изделие должно сохранять все свои характеристики.

Для удобства интенсивность воздействия внешнего фактора часто характеризуют условным номером (цифрой) и называют степенью жёсткости испытаний.

В большинстве нормативных документов помимо нескольких степеней жёсткости, обозначенных цифрами (например, 1, 2, 3 и т. д.), используют степень жёсткости испытаний **x**, называемая также открытой степенью жёсткости. В некоторых документах такую степень жёсткости могут обозначать знаком*.

Для степени жёсткости **x** значение (уровень) испытательного воздействия должно быть указано в технической документации на конкретное устройство.

Из стандартизированного определения открытой степени жёсткости x следует, что в технических условиях на конкретное устройство можно не указывать уровень испытательного воздействия, если указан конкретный условный номер степень жёсткости, установленный соответствующим стандартом.

При испытаниях на ЭМС для степени жёсткости 0 испытания не проводят.

Для других степеней жёсткости испытаний качество функционирования блока питания должно быть подтверждено сначала для первой, а затем для всех других, вплоть до наибольшей степени жёсткости, установленной в документации.

Поэтому нужно провести два (для тех случаев, когда в документации указана степень жёсткости испытаний 2), три (для тех случаев, когда в документации указана степень жёсткости испытаний 3), четыре испытания (для тех случаев, когда в документации указана степень жёсткости испытаний 3) и т. д.

2 ТРЕБОВАНИЯ К ИЗДЕЛИЯМ

Требования, которым должно отвечать изделие в наиболее полном виде излагают в технических условиях на него [1].

Стандартом ЕСКД ГОСТ 2.114-95 предусмотрена разработка технических условий (ТУ) на одно изделие или на несколько конкретных изделий, обладающими общими конструктивными признаками (групповые ТУ).

На групповые ТУ по умолчанию в полной мере распространяются требования стандарта ГОСТ 2.113-75.

Поэтому групповые ТУ, оформленные в виде документа, отвечающего требованиям ГОСТ 2.114-95, могут быть выпущены только для изделий, имеющих:

- общие конструктивные свойства, как это записано в ГОСТ 2.114-95;
- одну и ту же классификационную характеристику (рис. 1);
- общую часть условных наименований разных исполнений ГОСТ 2.114-95[5].

Класс 640000	Аппараты электрические коммутационные на напряжение до 1000В вкл.	
Подкласс 640000	Документы (нормы, правила, требования, методы)	
Группа 640000	По аппаратам коммутационным на напряжение до 1000В вкл.	
Подгруппа	Вид	
640000 Общая	640000	По двум и более видам норм
	1	Технические требования
	2	Правила приемки, свидетельства о приемке
	3	Методы контроля
	4	Упаковка, транспортирование, хранение
	5	Монтаж, эксплуатация, ремонт
	6	Требования безопасности
	7	Гарантии поставщика
	8	Технология производства
	9	Прочие

Рис. 2. Фрагмент классификатора

Как известно, в классификаторе ЕСКД [6] предусмотрено несколько классификационных признаков для деления изделий на классы [7].

До тех пор, пока речь шла о «традиционных» промышленных изделиях, такой подход был вполне приемлем.

Как известно, правила, установленные ГОСТ 2.114-95 для ТУ в форме конструкторского документа, устанавливают излишне строгие требования к названиям документа и разделов, а также к последовательности расположения разделов.

Кроме этого, допускаемое стандартом ГОСТ 2.114-95 дополнение разделов подразделами, приводит к излишнему «дроблению» разделов, и, прежде всего, раздела «Технические требования», появлению неудобных обозначений пунктов и подпунктов.

[5] См. Приложение 8 к этому стандарту.

В ТУ на изделие [1] требования к нему излагают в нескольких разделах этого документа, причем стандартом ГОСТ 2.114-2016 предусмотрено обязательное наличие раздела «Технические требования» (рис. 3).

1 Технические требования....4
1.1 Общие требования....4
1.2 Требования к конструкции....4
1.3 Требования к рабочим характеристикам и режимам эксплуатации....4
1.4 Требования стойкости к климатическим воздействиям....6
1.5 Требования стойкости к механическим воздействиям....7
1.6 Требования надёжности....7
1.7 Требования к электромагнитной совместимости....7
1.8 Комплектность....8
1.9 Маркировка....8
1.10 Упаковка....9
1.11 Требования к материалам и комплектующим изделиям....9
1.12 Требования охраны окружающей среды....10

Рис. 3. Рубрикация раздела «Технические требования» в техническихусловиях блока БПК-5

Например, в ГОСТ 2.114-2016 названо 5 подразделов, которые должны быть включены в раздел «Технические требования». Там же предусмотрено дальнейшее деление этих подразделов, в зависимости от вида продукции, на которые выпущены ТУ.

Кстати, часть этих требований, которые необходимы для потребителя, должны быть помещены в руководстве по эксплуатации или в паспорте [2].

После выхода стандарта ГОСТ Р 1.4-2004, где указано, что правила построения, изложения и оформления стандартов организаций должны соответствовать установленным в ГОСТ 1.5-2001, групповые ТУ стало значительно удобнее и проще оформлять как стандарт организации.

В документе, выпущенном в форме СТО, возможно изложение «Технических требований» в более удобной форме, позволяющей исключить подпункты, обозначаемые тремя и более числами, разделяемыми точкой.

Для примера на рис. 4 воспроизведен первый лист содержания ТУ на блоки БМРЗ для железных дорог, выпущенных в форме СТО [3].

Самое важное, что форма СТО не накладывает ограничений, подобным установленных в ГОСТ 2.114-2016, что позволяет объединить в одном документе функционально близкие изделия, имеющие различные классификационные признаки по классификатору ЕСКД.

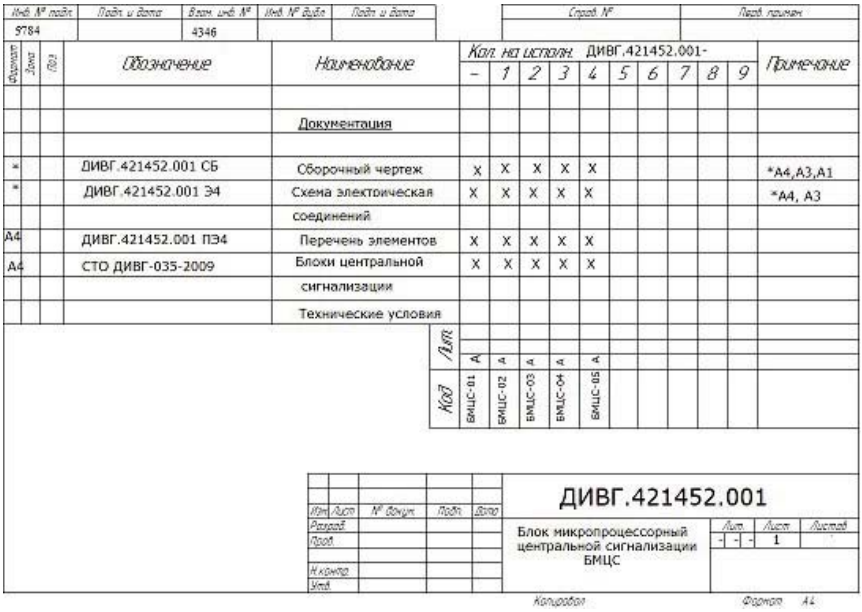
Содержание

1 Введение 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Обозначения и сокращения 4
4 Общие требования 4
5 Требования к алгоритмам 5
6 Требования к метрологическим характеристикам 7
7 Требования к цепям оперативного питания блока 9
8 Требования к аналоговым входам 10
9 Требования к дискретным входам 12
10 Требования к дискретным выходам 12
11 Требования к отображению и хранению информации 13
12 Требования к программному обеспечению 14
13 Требования к часам и календарю 15
14 Требования к диагностированию 15
15 Требования надежности 16
16 Требования к электромагнитной совместимости 16
17 Требования к электрической изоляции блока 18
18 Устойчивость к воздействию климатических факторов 19
19 Устойчивость к механическим воздействиям 20
20 Требования к конструкции 20
21 Требования к материалам и комплектующим изделиям 21
22 Требования к каналам связи с АСУ и ПЭВМ 21
23 Комплектность 23
24 Маркировка 25
25 Упаковка 26
26 Требования охраны окружающей среды 27
27 Требования безопасности 27
28 Правила приемки 27
28.1 Общие указания 27
28.2 Приемо-сдаточные испытания 28
28.3 Периодические испытания 31
28.4 Типовые испытания 32
28.5 Квалификационные испытания 33
28.6 Контрольные испытания на надежность 33
29 Методы контроля (испытаний) 33
30 Транспортирование и хранение 33
31 Указания по эксплуатации 34
32 Гарантии изготовителя 35

Рис. 4. Раздел «Содержание» ТУ, выпущенных в форме СТО

Помимо этого, в качестве названия стандарта организации можно выбирать обозначение класса изделий, напрямую не повторяющее название конкретного изделия.

ТУ, выпущенные в форме стандарта организации, включают в спецификации изделий в раздел «Документация», независимо от содержания основной надписи и децимального номера [15].



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
9784		4346		

Справ. №

Перв. примен.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол. на испол. ДИВГ.421452.001- –	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Примечание
				Документация											
*			ДИВГ.421452.001 СБ	Сборочный чертеж	X	X	X	X	X						*А4,А3,А1
*			ДИВГ.421452.001 Э4	Схема электрическая соединений	X	X	X	X	X						*А4, А3
А4			ДИВГ.421452.001 ПЭ4	Перечень элементов	X	X	X	X	X						
А4			СТО ДИВГ-035-2009	Блоки центральной сигнализации	X	X	X	X	X						
				Технические условия											
				Арт.	А	А	А	А	А						
				Код	БМЦС-01	БМЦС-02	БМЦС-03	БМЦС-04	БМЦС-05						

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ДИВГ.421452.001			
Разраб.					Блок микропроцессорный центральной сигнализации БМЦС	Лит.	Масс.	Масштаб
Пров.						-	-	1
Н.контр.								
Утв.								

Копировал Формат А4

Рис. 5. Спецификация изделия.
(Пример записи ТУ в виде стандарта организации)

При проведении различного вида испытаний на предприятии-изготовителе изделия необходимо ориентироваться прежде всего на значения параметров и характеристик, приведенных в технических условиях на изделие [1]. Поэтому при рассказе о том или ином виде испытаний будем приводить требования, изложенные в них.

При проведении испытаний в условиях эксплуатирующего предприятия достаточно ориентироваться на требования к изделию, приведенные в руководстве по эксплуатации или в паспорте [2].

Помимо технических требований, документация на изделие должна содержать раздел «Требования безопасности» (рис. 5), в котором могут быть предусмотрены и другие требования безопасности, например экологические.

2 Требования безопасности 11
2.1 Требования пожарной безопасности 11
2.2 Требования электробезопасности 11

Рис. 6. Рубрикация раздела «Требования безопасности»
в техническихусловиях блока БПК-5

Состав требований, приводимых в технических условиях, руководстве по эксплуатации или в паспорте определяет разработчик изделия, ориентируясь на требования стандартов, нормативных документов и практику применения аналогичных изделий.