

С.С. Ветлугаев, канд. техн. наук, научный сотрудник;
Л.Е. Макаров, канд. техн. наук, заведующий лабораторией;
О.Н. Плякина, инженер;
Н.А. Туркина, ведущий инженер;
ОАО «ВНИИКП»



Приоритетные направления совершенствования муфт силовых кабелей на напряжение до 35 кВ. Вопросы стандартизации

Аннотация. Рассмотрены возможные направления пересмотра государственного стандарта ГОСТ 13781.0–86 «Муфты для силовых кабелей на напряжение до 35 кВ включительно». Перечислены требования, предъявляемые международными и отечественными стандартами к кабельной арматуре, которые не отражены в ГОСТе на муфты. Упоминается новый вид кабельной арматуры – разъёмные соединители, широко применяемые в настоящее время в энергосистемах. Обосновывается необходимость создания нового стандарта на базе отечественного ГОСТа и международного документа МЭК 60502-4.

Ключевые слова: муфты для силовых кабелей; ГОСТ 13781.0–86; МЭК 60502-4; разъёмные соединители угловой формы; разъёмные соединители Т-образной формы; технология термической усадки; трекинг-эрозийная стойкость.

Abstract. Priority directions for the revision of state standard GOST 13781.0–86 «Accessories for power cables up to and including 35 kV» are considered. The requirements set by international and domestic standards for cable accessories that are not specified in this state standard are indicated. The new kind of cable accessories is mentioned: split-type connectors that are now widely used in power grids.

Reasons are given for the necessity of developing a new standard based on the domestic GOST and international standard IEC 60502-4.

Key words: power cable accessories; GOST 13781.0–86; IEC 60502-4; right angle connectors; T-type connectors; thermal shrinkage technology; tracking and erosion resistance.

Материал поступил в редакцию 4.12.2019
Макаров Л.Е. E-mail: l.makarov@vniikp.ru

Муфты на напряжение 1–35 кВ являются важным элементом, влияющим на надёжность кабельных линий. Соответствие муфт требованиям нормативной технической документации служит основным критерием для применения их при сооружении кабельных линий РФ. Технические требования к соединительным, соединительным переходным, стопорным муфтам, а также концевым муфтам наружной и внутренней установки для кабелей с пластмассовой и бумажной пропитанной изоляцией в настоящее время представлены в государственном стандарте ГОСТ 13781.0–86 [1]. Введённый в действие в 1986 г. стандарт устарел и не учитывает направления развития современной кабельной арматуры, особенно для кабелей с пластмассовой изоляцией среднего напряжения, а также содержит многочисленные устаревшие требования, неточности и ошибки.

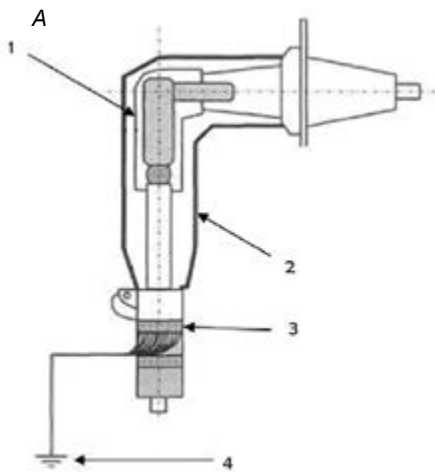
Со времени введения [1] появились новые стандарты: ГОСТ Р 52082–2003 [2], СТО 56947007-29.240.65.205–2015 [3], МЭК 60502-4:2010 [4], МЭК 61442:2005 [5], гармонизированный документ технического комитета CENELEC –

HD 629.1 S2 [6], которые частично закрывают пробелы, и преодолевают недостатки, содержащиеся в [1]. Поэтому важной задачей пересмотра стандарта [1] является введение современных требований в нормативную документацию (НД) на муфты с учётом перечисленных выше документов.

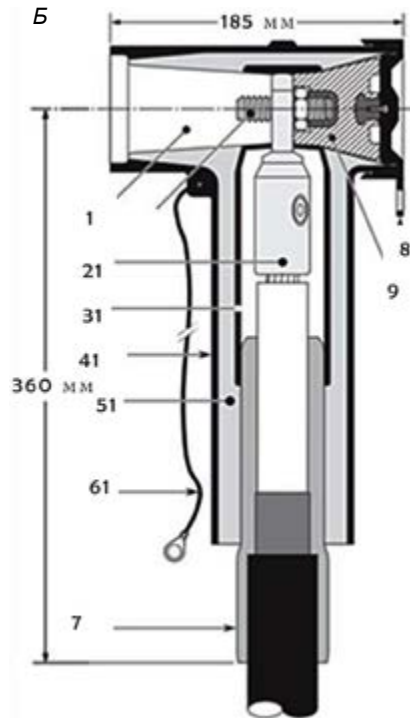
Наиболее полно в [1] представлены требования к муфтам для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией, но за годы действия стандарта конструкции муфт изменились. В муфтах больше не используют ролики и ленты из пропитанной бумаги. Муфты для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией среднего напряжения в РФ изготавливают в настоящее время в основном из термоусаживаемых изделий, в том числе из трубок с заданными характеристиками, «перчаток», рёбер и других изделий, которые собираются в процессе монтажа в одну муфту. Более 90 % муфт кабелей среднего напряжения, устанавливаемых на кабелях с бумажной пропитанной и пластмассовой изоляцией в нашей стране, предусматривают технологию термической

усадки, когда отдельные элементы этих муфт под воздействием нагрева (газовой горелки или технического фена) изменяют поперечные размеры в два и более раза. При использовании герметика и клеящих составов создаётся герметичное соединение трубок и оболочки/изоляции кабеля.

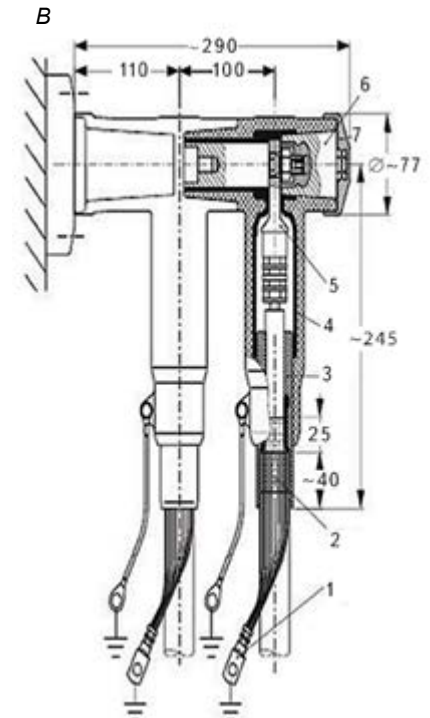
При пересмотре [1] и введении требований по механическим и электрическим испытаниям муфт



1 – внутренний экран;
2 – наружный экран соединителя из электропроводящей резины;
3 – кабель;
4 – вывод и заземление проволок экрана кабеля



1 – изолятор ячейки РУ;
2 – наконечник, установленный на жиле кабеля;
3 – внутренний экран соединителя;
4 – наружный экран соединителя;
5 – изоляция соединителя;
6 – проводник для заземления;
7 – элемент регулирования электрического поля;
8 – крышка;
9 – изолирующий разъем



1, 2 – вывод и заземление проволок экрана кабеля;
3 – элемент регулирования электрического поля;
4 – внутренний экран соединителя;
5 – наконечник, установленный на жиле кабеля;
6 – изолирующий разъем;
7 – крышка

Рис. 1. Схематическое представление разъёмных соединителей:

А – угловой формы; Б – Т-образной формы; В – объединение двух Т-образных соединителей в систему

необходимо учитывать изменения в конструктивных материалах для этих муфт. Требуется также введение испытания гидравлически блокируемых соединителей, используемых в переходных муфтах, соединяющих кабели с бумажной пропитанной изоляцией и кабели с пластмассовой экструдированной изоляцией в соответствии с приложением А к стандарту [7].

В [1] недостаточно представлены требования к арматуре для кабелей с пластмассовой изоляцией. Так, в настоящее время за рубежом и в РФ в сетях на напряжение 10, 20 и 35 кВ нашли широкое применение разъёмные соединители, которые гарантируют надёжную и бесперебойную работу распределительных устройств (РУ) и другого оборудования в сложных условиях эксплуатации, в том числе при значительном уровне загрязнения окружающей среды. Такие разъёмные соединители используют на морских платформах для добычи нефти, в сетях для аэродромных огней и других объектах. Системы подключения кабелей с разъёмными соединителями в РУ соответствуют европейским и международным стандартам [4, 6].

Разъёмные соединители (адаптеры) имеют угловую (рис. 1А), Т-образную (рис. 1Б) и прямую форму. Изоляция разъёмных соединителей выполняется из

трекингоустойчивых эластомеров: этиленпропиленовой или силиконовой резины. Т-образная форма обеспечивает возможность одновременного подключения до трёх кабелей с образованием параллельных цепей. На рис. 1В приведено объединение двух Т-образных разъёмных соединителей в одну систему. Собранный из соединительных элементов конструкция обеспечивает герметичность соединения и исключает попадание загрязнений на контактные элементы соединителя. Компактные и удобные для установки элементы облегчают монтаж обычных и экранированных разъёмных соединителей на одножильных и трёхжильных кабелях с пластмассовой и бумажной пропитанной изоляцией.

При этом конструкция экранированных разъёмных соединителей обеспечивает проведение испытаний защитных оболочек кабелей, на которых они установлены.

Стандарт [1] не предусматривает возможности применения разъёмных соединителей и не содержит требований к их испытаниям в отличие от международных стандартов. В стандартах МЭК [4, 6] приведены нормы и методы испытаний разъёмных соединителей, а также представлены общие требования к их конструкции. В табл. 1 представлены требования (для экранированных конструкций разъёмных соединителей), а в табл. 2

Основные требования к испытаниям разъёмных соединителей с экраном, отключаемых без нагрузки [4]

№ п/п	Испытания	Требования	Методы испытаний по стандарту МЭК 61442
1	Переменное или постоянное напряжение	Переменное напряжение $4,5 U_0$ в течение 5 мин или постоянное напряжение $4 U_0$ в течение 15 мин	Раздел 4 или 5
2	Частичные разряды (ЧР)	Не более 10 пКл при $1,73 U_0$	Раздел 7
3	Импульсное напряжение при θ_i^*	10 импульсов каждой полярности	Раздел 6
4	Термическая стойкость при коротком замыкании (экран)	Два приложения тока КЗ к экрану кабеля. Отсутствие видимых повреждений	Раздел 10
5	Термическая стойкость при коротком замыкании (жила)	Два воздействия током термической стойкости, чтобы довести температуру жилы кабеля до θ_{sc}^{**} . Отсутствие видимых повреждений	Раздел 11
6	Динамическая стойкость при коротком замыкании	Одно воздействие током динамической стойкости I_d . Отсутствие видимых повреждений	Раздел 12
7	Термические циклы на воздухе	30 циклов при θ_i и при $2,5 U_0$	Раздел 9
8	Термические циклы в воде	30 циклов при θ_i и при $2,5 U_0$	Раздел 9
9	Соединение/отсоединение	Пять раз. Отсутствие видимого повреждения контакта	—
10	Частичные разряды при θ_i и температуре окружающей среды	Не более 10 пКл при $1,73 U_0$	Раздел 7
11	Импульсное напряжение	10 импульсов каждой полярности	Раздел 6
12	Переменное напряжение	15 мин при $2,5 U_0$	Раздел 4
13	Гибкий контакт	Осевое усилие 1300 Н в течение 1 мин. Вращающий момент 14 Н м	Раздел 19
14	Частичные разряды	Не более 10 пКл при $1,73 U_0$	Раздел 7
15	Внешний осмотр соединителей	Только для сведения	—
16	Сопrotивление экрана	Не более 5000 Ом	Раздел 15
17	Ток утечки экрана	Не более 0,5 мА при U_m	Раздел 16
18	Инициирование тока повреждения	Требования зависят от системы заземления нейтрали	Раздел 17
19	Рабочее усилие	Усилие < 900 Н	Раздел 18
20	Измерение ёмкости	Ёмкость между экраном соединителя и жилой кабеля $C_{tc} > 1$ пФ. Соотношение ёмкости экрана соединителя к земле и ёмкости экрана соединителя к жиле кабеля $\leq 12,0$	Раздел 20

Примечания:
 * θ_i – максимальная температура на жиле кабеля при нормальном режиме работы $+5 \pm 10$ °С;
 ** θ_{sc} – температура жилы кабеля при воздействии током термической стойкости.

представлены требования к штепсельным или болтовым соединителям (для разъёмных соединителей без экрана).

С первого по восьмое испытания, указанные в табл. 1 и 2, устанавливают общие виды испытаний, приведённые в стандарте [5] для соединительных муфт, а остальные испытания характерны для разъёмных соединителей, например – пятикратный «разъём – соединение», определение рабочего усилия разборки соединителя (позиция 19 табл. 1).

Следует отметить испытания 16, 17, 18 и 20 (табл. 1), связанные с безопасностью работы с разъёмными соединителями, которые подтверждают безопасный уровень напряжения при прикосновении к экрану соединителя, способность отведения им тока на землю при возможном пробое изоляции.

Актуален общий вопрос длительности и значений величины напряжения при испытаниях муфт повышенным напряжением промышленной частоты. Так, в [1] установлена продолжительность испытания муфт напряжением переменного тока в течение 4 ч (для кабелей с бумажной пропитанной и пластмассовой изоляцией) и напряжением постоянного тока в течение 10 мин, а в табл. 1 и 2 для разъёмных соединителей, концевых и соединительных

муфт по [4] указаны испытания переменным напряжением длительностью 5 мин при значении $4,5 U_0$ или напряжением постоянного тока при значении $4,0 U_0$ в течение 15 мин. В стандартах на кабели с пластмассовой изоляцией испытания напряжением переменного тока величиной $4 U_0$ в течение 4 ч проводят только на образцах кабелей, в основном при периодических испытаниях. Так как испытания кабелей с пластмассовой изоляцией можно проводить и в водяных заделках, предлагается исключить четырёхчасовые испытания арматуры и сохранить испытание напряжением $4,5 U_0$ в течение 5 мин муфт для кабелей с пластмассовой изоляцией, а для арматуры кабелей с бумажной пропитанной изоляцией оставить четырёхчасовые испытания.

Важным показателем для изоляции муфт является уровень ЧР, который регламентирован для всей арматуры кабелей с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 6–35 кВ, за исключением арматуры для кабелей без внешнего электропроводящего экрана по изоляции кабеля. В соответствии с требованиями стандартов МЭК [3, 4] ЧР в изоляции муфт должны быть ниже 10 пКл при воздействии напряжения $1,73 U_0$, в то же время такое требование отсутствует в [1].

Таблица 2

Основные требования к испытаниям разъёмных соединителей без экрана [4]

№ п/п	Испытания	Требования	Методы испытаний по стандарту МЭК 61442
1	Переменное или постоянное напряжение	Переменное напряжение $4,5 U_0$ в течение 5 мин или постоянное напряжение $4 U_0$ в течение 15 мин	Раздел 4 или 5
2	Частичные разряды	Не более 10 пКл при $1,73 U_0$	Раздел 7
3	Импульсное напряжение при θ_t	10 импульсов каждой полярности	Раздел 6
4	Термическая стойкость при коротком замыкании (экран)	Два приложения I_{sc} к экрану кабеля. Отсутствие видимых повреждений	Раздел 10
5	Термическая стойкость при коротком замыкании (жила)	Два воздействия током термической стойкости, чтобы довести температуру жилы кабеля до θ_{sc} . Отсутствие видимых повреждений	Раздел 11
6	Динамическая стойкость при коротком замыкании	Одно воздействие током динамической стойкости I_d . Отсутствие видимых повреждений	Раздел 12
7	Термические циклы на воздухе	30 циклов при θ_t и $2,5 U_0$	Раздел 9
8	Термические циклы в воде	30 циклов при θ_t и $2,5 U_0$	Раздел 9
9	Соединение/отсоединение	Пять раз. Никакого видимого повреждения контакта	—
10	Частичные разряды при θ_t и температуре окружающей среды	Не более 10 пКл при $1,73 U_0$	Раздел 7
11	Импульсное напряжение	10 импульсов каждой полярности	Раздел 6
12	Переменное напряжение	15 мин при $2,5 U_0$	Раздел 4
13	Влажность	300 ч при $1,25 U_0$	Раздел 13
14	Внешний осмотр	Только для сведения	—

Используемые в сетях среднего напряжения в РФ муфты состоят из термоусаживаемых изделий, которые в процессе монтажа собирают в одно устройство. Поэтому уровень ЧР является также показателем качества монтажа муфт и должен обязательно нормироваться для муфт кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение 10, 20 и 35 кВ.

Для всех типов концевых и соединительных муфт, а также разъёмных соединителей (табл. 1 и 2) в стандарте МЭК [4] предусмотрено проведение испытания циклами нагрева под напряжением (общее число циклов «нагрев/охлаждение» – 60). Для соединительных муфт и разъёмных соединителей испытания проводят в следующем порядке: 30 циклов в ванне с водой при уровне воды на 1 м выше верхней точки муфты и 30 циклов на воздухе [4]. При этом для муфт, устанавливаемых на кабеле без продольного влагонепроницаемого барьера, испытание в воде проводят при нарушенной целостности наружной защитной оболочки [5].

Для концевых муфт наружной установки испытание проводят дополнительными циклами нагрева (10 циклов без напряжения) с погружением в воду на глубину 50 мм (выше верхней точки муфт) после проведения 60 циклов нагрева муфт на воздухе. Каждый цикл нагрева проводят в течение 8 ч, и он включает 2 ч выдержки при токовой нагрузке и температуре на жиле кабеля, превышающей максимальную допустимую рабочую температуру при нормальном режиме на 5–10 К. При этом в стандарте [1] предусмотрено испытание муфт 250 циклами (нагрев/охлаждение). Таким образом, испытания муфт в составе кабельной системы циклами (нагрев/охлаждение) изменения нагрузки неоправданно затянуты, так как требуют в четыре раза больше времени на испытания. Это испытание также не соответствует испытанию циклами, установленному для муфт кабелей с бумажной пропитанной изоляцией (общее число циклов 63 [7]).

Стандарт МЭК [4] предусматривает внешний осмотр элементов конструкции арматуры после проведения

всех испытаний для выявления признаков одного из появившихся дефектов.

Появление мелких трещин в материале заполнения и/или прохождение влаги через герметичный барьер и/или коррозия, трекинг или эрозия со временем может привести к выходу из строя арматуры или утечки какого-либо изоляционного материала. Очевидно, что осмотр муфт после испытаний следует ввести в стандарт [1] при его пересмотре.

В соединительных и концевых муфтах на основе кремнийорганических и этиленпропиленовых резин (муфты «холодной усадки») герметичность внутренней изоляции обеспечивается за счёт упругих свойств резиновой отливки. Муфты «холодной усадки» существенно упрощают монтаж, снижают вероятность возникновения пожара при монтаже арматуры. Применение силиконовой резины для концевых муфт «холодной усадки» увеличивает срок их службы в условиях повышенного загрязнения. Муфты «холодной усадки» обеспечивают возможность геометрического регулирования напряжённости электрического поля с помощью выравнивающих электродов и могут эксплуатироваться в сетях с высокочастотными составляющими напряжения, где работает только такой способ регулирования напряжённости. Безусловно, концевые и соединительные муфты «холодной усадки» должны быть включены в раздел стандарта [1], рассматривающий типы муфт и области их применения.

Вопрос эксплуатации концевых муфт наружной установки в условиях загрязнений решается в стандартах [1, 4] по-разному. В [4] предусматривается выдержка концевых муфт в камере, в которой атмосферу соляного тумана создают форсунки, обеспечивающие подачу воды с объёмным соотношением $(0,4 \pm 0,1)$ л/ч/м³. Образцы выдерживают в камере в течение 1000 ч при напряжении $1,25 U_0$. В стандарте [1] принят термин

«трекинго-эрозионная стойкость» и испытание проводят по четырёхступенчатой методике. Общая продолжительность испытания на трекинго-эрозионную стойкость муфт по [1] в результате достигает 156 ч. Браковочным признаком муфт является наличие на её поверхности проводящих дорожек длиной более чем 20 % от длины пути утечки испытуемых муфт, эрозионных кратеров или трещин глубиной более 10 % от минимальной толщины изолятора или корпуса муфты.

В этой связи при пересмотре [1] предлагается принять метод определения трекинго-эрозионной стойкости, который применяют при испытаниях полимерных опорных изоляторов [2]. Этот метод рекомендован документом ФСК ЕЭС [3] и связан с увлажнением поверхности концевой муфты наружной установки при распылении водяного раствора CaCl_2 с концентрацией 25 г/л. Образец при испытательном напряжении выдерживают в камере повышенной влажности в течение 500 ч. Браковочным признаком является эрозия стенки наружной трубки концевой муфты, превышающая 50 % её толщины. В случае, если концевые муфты предназначены для работы в атмосфере с высоким уровнем загрязнения, требуется проведение испытаний в течение 1000 ч в атмосфере соляного тумана [4].

В действующем стандарте [1] при испытании токами короткого замыкания (К.З.) отсутствует разделение понятий термической стойкости жилы и экрана муфты. При этом в [1] предусматривается трёхкратное воздействие тока К.З., в отличие от двух воздействий током К.З. в стандарте [4].

В РФ большое число кабельных линий среднего напряжения 10, 20 и 35 кВ работает в системах с изолированной нейтралью. При этом, стандарт [3] предусматривает возможность работы кабельной линии в режиме однофазного К.З. на землю до 8 ч, при общей продолжительности работы при таком режиме до 125 ч в год. В случае электрического пробоя муфт длительно протекающий ток заряда кабельной линии в месте пробоя может вызывать возгорание изоляции некачественно смонтированных муфт, и муфты, как элемент кабельной линии, должны обеспечивать требования пожарной безопасности.

В первую очередь муфты не должны распространять горение и образовывать при возгорании горящих капель/частиц. Нераспространение горения обеспечивается материалами, которые используют при монтаже муфт. В этой связи можно предположить, что применение в конструкции соединительных муфт наружных термоусаживаемых трубок из материалов, не распространяющих горение, и негорючих герметиков снижает риск возгорания муфт при эксплуатации. Термоусаживаемую трубку, не распространяющую горение, относят к соответствующей категории [8], если образец трубки имеет менее 25 % обгорания или обугливания индикаторного флажка, не создает пламени и горящих капель, которые поджигают вату, используемую при проведении испытания, и прекращает гореть в течение нескольких секунд после удаления пламени горелки.

В концевой муфте для трёхжильного кабеля возможно обеспечение нераспространения горения в результате применения трубок или «перчаток» с индексом «НГ» и огнестойких герметиков. Однако в технической литературе отсутствует информация о применении не

распространяющих горение термоусаживаемых трубок, которые обеспечивают также свойства трекингоустойчивости и регулирования электрического поля необходимые для концевых муфт на напряжение 10, 20 или 35 кВ. Поэтому при разработке нового стандарта в него следует включить требования о наличии указанных выше свойств для не распространяющих горение трубок.

В [1] полностью отсутствуют требования и методы испытания муфт с учётом нераспространения горения. В этой связи предлагается дополнить стандарт требованиями к муфтам по нераспространению горения для кабелей одиночной прокладки, и накапливать статистику по результатам испытаний этих муфт для уточнения методики.

Приведённые выше соображения по пересмотру [1] показывают, что в случае прямого применения стандарта [4] взамен действующего стандарта [1] будут утрачены требования к муфтам кабелей с пропитанной бумажной изоляцией [7], так как стандарт [4] относится только к муфтам для кабелей с пластмассовой изоляцией на номинальное переменное напряжение от 6 до 30 кВ включительно.

В связи с вышеизложенным при пересмотре [1] с учётом действующего стандарта [4] и ряда других документов, в том числе зарубежных, можно исключить отмеченные выше неточности и недостатки межгосударственного стандарта и разработать документ, отвечающий основным мировым направлениям развития конструкций кабельных муфт.

Разработка нового стандарта на муфты для соответствующих кабелей создаст условия для выполнения комплексных НИОКР, направленных на разработку современных типов муфт для кабелей указанного исполнения, что позволит повысить надёжность и безопасность кабельных коммуникаций в различных секторах экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13781.0–86. Муфты для силовых кабелей на напряжение до 35 кВ включительно. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 18 с.
2. ГОСТ Р 52082–2003. Изоляторы полимерные опорные наружной установки на напряжение 6–220 кВ. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2003. – 43 с.
3. СТО 56947007-29.240.65.205–2015. Кабельные системы на напряжение 0,66–35 кВ. Типовые технические требования. – Москва: ПАО «ФСК ЕЭС», 2015. – 116 с.
4. IEC 60502-4. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2 \text{ kV}$) up to 30 kV ($U_m = 36 \text{ kV}$) – Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2 \text{ kV}$) up to 30 kV ($U_m = 36 \text{ kV}$). Edition 2005-03.
URL: <http://www.nd.gostinfo.ru> (дата обращения: 01.12.2019).
5. IEC 61442. Test methods for accessories for power cables with rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2 \text{ kV}$) up to 30 kV ($U_m = 36 \text{ kV}$). Second edition 2005-03.
URL: <http://www.nd.gostinfo.ru> (дата обращения: 01.12.2019).
6. CENELEC-HD 629.1 S2. Test requirements on accessories for use on power cables of rated voltage from 3,6/6(7,2) kV up to 20,8/36(42) kV Part 1: Cables with extruded insulation.
URL: <http://www.nd.gostinfo.ru> (дата обращения: 01.12.2019).
7. IEC 60055-1. Paper-insulated metal-sheathed cables for rated voltages up to 18/30 kV (with copper or aluminum conductors and excluding gas-pressure and oil-filled cables) Part 1: Tests on cables and their accessories. Edition 2005-05.
URL: <http://www.nd.gostinfo.ru> (дата обращения: 01.12.2019).
8. IEC 60684-2. Flexible insulating sleeving – Part 2: Methods of test. Edition 2011-08.
URL: <http://www.nd.gostinfo.ru> (дата обращения: 01.12.2019).