

КОМБИНИРОВАННЫЕ КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

АВТОР:

Р.М. НЕЧАЕВ,
ООО «ОМАКС»

Вопросы, касающиеся испытаний современных высоковольтных кабельных систем, являются весьма актуальными. Несмотря на наличие стандартов и большой

накопленный опыт в этом направлении, в техническом сообществе постоянно идут дискуссии на предмет выбора испытательных режимов, интерпретации результатов и т. п.

Ключевые слова: испытания кабельных систем; комбинированные испытания; combo test.



Все линии электропередачи традиционно разделялись на воздушные и кабельные

ВВЕДЕНИЕ

Постоянное интенсивное развитие человеческого общества приводит к сокращению расстояния и стиранию границы между городами и странами (порой даже континентами) практически во всех отраслях промышленности. Производители готовы продвигать свой товар по всему миру, и это уже не является непосильной задачей, а рассматривается ими как перспективное направление для развития. Кабельная промышленность в данном вопросе не отстает от популярных высокотехнологических товаров.

Как правило, каждая страна имеет свои собственные нормативные документы на конкретную продукцию, и далеко не всегда требования данных документов слово в слово повторяют друг друга. Для подтверждения качества своей про-

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СТАНДАРТОВ НА ОБЪЕКТЫ ИСПЫТАНИЯ ПРИ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Стандарт	Кабель	Арматура	Кабельная система
IEC 60840, ed. 4.0 2011	30–150 кВ	30–150 кВ	30–150 кВ
IEC 62067, ed. 2.0 2011	Испытываются как часть кабельной системы 150–500 кВ	Испытываются как часть кабельной системы 150–500 кВ	150–500 кВ
ICEA S-108-720-2017	46–500 кВ	—	—
IEEE 404-2012	—	Соединительные муфты 2,5–500 кВ	—
IEEE 48-2009	—	Концевые муфты 2,5–500 кВ. Элегазовые вводы испытываются по IEC	—
AEIC CS9-15	46–345 кВ. Ссылается на ICEA	46–345 кВ. Ссылается на IEEE	46–345 кВ. Ссылается на IEC

Таблица 1

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА НОРМИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛОВ НАГРЕВА ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СТАНДАРТОВ

Параметр цикла	IEC	ICEA	IEEE 48	IEEE 404
Количество циклов		20	30	
Нагрев жилы до температуры	95–100 °С	100–105 °С		95–105 °С
Место измерения контролируемой температуры		Самая горячая точка		Середина кабеля между арматурой
Температура в конце цикла	Не более 30 °С или в пределах 10 °С температуры окружающей среды	Не регламентируется	На 5 °С выше температуры окружающей среды	
Время поддержания температуры	2 ч в течение времени нагрева	2 ч в конце времени нагрева	6 ч в течение времени нагрева	
Время нагрева		Не менее 8 ч		Не указано
Время охлаждения		Не менее 16 ч		
Длительность цикла		Не менее 24 ч		24 ч
Наличие термоизоляции	Допускается	Требуется (труба > 4,5 м)		Не указано
Испытательное напряжение	$2U_0$ ($U_0 = 76 \text{ кВ}^2$)		$2V_g$ ($V_g = 80 \text{ кВ}^2$)	

Примечания:

- 1) красным цветом выделены приоритетные значения при комбинированных испытаниях по IEC/ICEA/IEEE;
- 2) U_0, V_g — номинальные фазные напряжения для различных стандартов для кабельных систем 138 кВ.

Таблица 2

дукции необходимо выполнить ряд испытаний на соответствие каждому нормативному документу, действующему в каждой стране. С целью экономии времени и средств производитель стремится проводить комбинированные испытания, которые совмещали бы в себе требования сразу нескольких стандартов. Другой стороной данного вопроса является вызов качеству производимой продукции на соответствие более жестким требованиям при проведении испытаний.

ОБЩИЙ ОБЗОР СТАНДАРТОВ НА КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ (IEC, ICEA, AEIC, IEEE)

На данный момент существуют стандарты IEC, ICEA, AEIC, IEEE, которые устанавливают требования к кабелям с экструдированной изоляцией и арматуре к ним. Например, стандарт IEC 62067 ed. 2.0 2011 [1] подразумевает испытание кабельной системы в целом, т. е. подтверждает заявленные характеристики арматуры на конкретном испытуемом кабеле. Стандарт IEC 60840, ed. 4.0 2011 [2], допускает отдельно испытания арматуры или кабеля. IEEE 404-2012 [3], IEEE 48-2009 [4], ICEA S-108-720-2017 [5], AEIC CS9-15 [6] регламентируют испытания на отдельных компонентах кабельной системы, т. е. допускаются отдельные испытания каждого элемента системы без привязки арматуры к конкретному кабелю и в пределах области распространения результатов испытаний. Область распространения стандартов, а также основные принципиальные различия в подходе к квалификационным испытаниям отражены в табл. 1 (с. 51).

ВЕЛИЧИНЫ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО IEC/ICEA/IEEE ДЛЯ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ 138 КВ

Наименование испытания	IEC	ICEA/AEIC	IEEE 48	IEEE 404
Определение испытательного напряжения, кВ	$U_0 = 76$	$V_g = 80$	$V_g = 79,7$	
Номинальное межфазное напряжение, кВ	132-138		138	
Испытание импульсным напряжением, кВ			650	
Измерение тангенса угла диэлектрических потерь при напряжении, кВ	76	80	-	-
Измерение частичных разрядов при напряжении, кВ	114	80 120 160	120	160
Испытание повышенным напряжением промышленной частоты, кВ	190	200	200	
Циклы нагрева под напряжением, кВ	152	160	159,4	

Примечание: U_0, V_g — номинальные фазные напряжения для различных стандартов.

Таблица 3

НОРМИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИСПЫТУЕМОЙ СБОРКИ КС ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СТАНДАРТОВ

Параметр	IEC	ICEA	IEEE 48	IEEE 404
Минимальная длина кабеля между арматурой	5 м			2 м
Радиус изгиба кабеля при испытаниях	В зависимости от диаметра кабеля			Не регламентируется
Минимальная длина кабеля, не включая арматуру	> 10 м	> 9,2 м		
Минимальный радиус изгиба	Определяется производителем			
Минимальное число арматуры для испытания	По одной каждого типа	Не определено	По две каждого типа	По четыре каждого типа

Примечание: красным цветом выделены приоритетные значения при комбинированных испытаниях по IEC/ICEA/IEEE.

Таблица 4

СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

Несмотря на некоторые различия в подходе, все стандарты в целом содержат схожие методы испытаний; при этом воздействующие значения, условия испытаний,

а также их последовательность могут различаться.

Одним из наиболее длительных и сложных испытаний из списка квалификационных являются циклы нагрева под напряжением. Нормируемые параметры циклов нагрева для различных стандар-

тов, применительно к кабельным системам 138 кВ, приведены в табл. 2 (с. 51).

На рис. 1 наглядно представлены графики циклов нагрева, проводимых по различным стандартам, из которых очевидно, что при проведении комбинированных испытаний (IEC/ICEA/IEEE) кабельная система подвергается существен-

ной перегрузке по току нагрева, что крайне отрицательно сказывается на соединительных элементах кабельной арматуры. Данный факт существенно увеличивает риски повреждения испытуемого объекта.

Существуют различия и воздействующих значений напряжений. Поэтому при создании программы

комбинированных квалификационных испытаний за испытательные принимаются наибольшие воздействующие значения. Величины испытательных напряжений для кабельной системы 138 кВ приведены в табл. 3.

При монтаже испытуемой сборки следует учитывать, что требования также имеют различия, причем стан-

ГРАФИКИ ЦИКЛОВ НАГРЕВА: А) ПО СТАНДАРТУ ICEA; Б) ПО СТАНДАРТУ IEC; В) ПО СТАНДАРТУ IEEE; Г) ПО СТАНДАРТАМ ICEA, IEC И IEEE

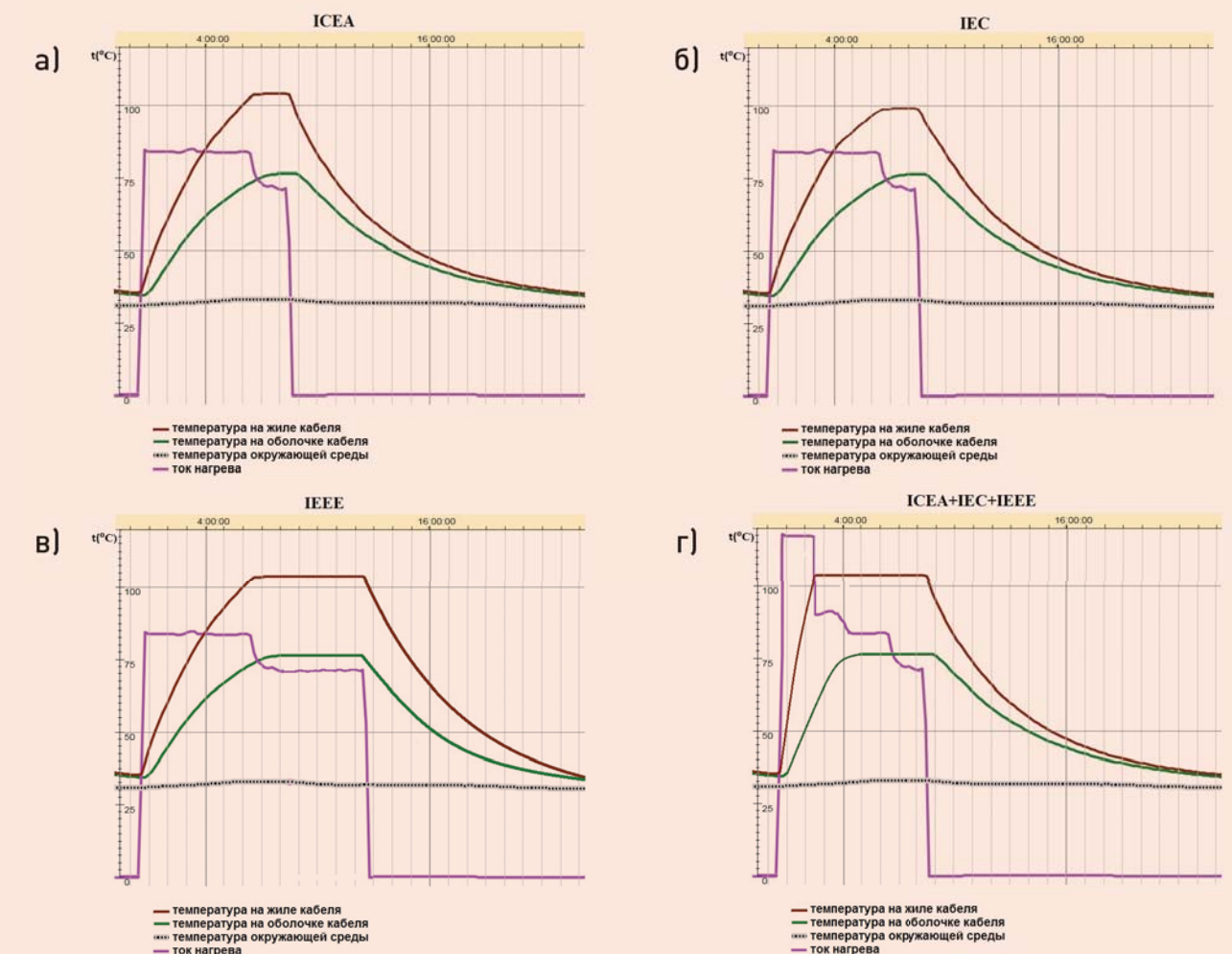


Рис. 1

ПРОГРАММА КОМБИНИРОВАННЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО IEC/ICEA

IEC 60840, ed. 4.0 2011	ICEA S-108-720-2017	Параметры комбинированного испытания IEC/ICEA
12.4.3. Испытание кабеля на изгиб	10.1.2. Испытание кабеля на изгиб	Три цикла намотки в противоположные стороны без осевого вращения. Максимальный диаметр изгиба $25(d + D) + 5\%$, где d — диаметр жилы; D — внешний диаметр кабеля
12.4.4. Измерение частичных разрядов	-	Измерение на напряжении 80, 114, 120, 160 кВ при чувствительности измерительной системы <5 пКл
12.4.5. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь	-	Измерение на напряжении 76 кВ при температуре на жиле 95–100 °С
12.4.6. Циклы нагрева под напряжением	10.1.3. Циклы нагрева под напряжением	20 суточных циклов под напряжением 160 кВ. Цикл нагрева: 2 последних часа нагрева из 8 при температуре на жиле 100–105 °С
-	10.1.5. Испытание повышенным напряжением	Приложенное напряжение 200 кВ в течение 2 ч
12.4.4. Измерение частичных разрядов при высокой температуре на жиле и при температуре окружающей среды	10.1.6. Измерение частичных разрядов	Измерение на напряжении 114 кВ при температуре окружающей среды и температуре на жиле кабеля 95–100 °С при чувствительности <5 пКл. Измерение на напряжении 80, 120, 160 кВ при чувствительности измерительной системы <5 пКл
-	10.1.7. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь	Измерение на напряжении 76 кВ при температуре на жиле кабеля 100–105 °С
12.4.7.2. Испытание грозowymi импульсами с последующим испытанием повышенным напряжением	10.1.4. Испытание грозowymi импульсами с последующим испытанием повышенным напряжением	10 импульсов положительной и отрицательной полярности 650 кВ при температуре на жиле кабеля 100–105 °С
Приложение G. Испытание внешней защиты соединительной муфты	-	20 циклов в воде при выдержке температуры воды 70–75 °С в течение не менее 5 ч во время каждого цикла. Воздействие напряжением постоянного тока 25 кВ и импульсным напряжением 37,5 и 75 кВ
12.4.8. Осмотр кабельной системы после испытаний	10.1.8. Осмотр кабельной системы после испытаний	Визуально без применения увеличительных приборов во время разбора кабеля и кабельной арматуры
12.4.9. Измерение сопротивления проводящих слоев	-	Старение образца кабеля в термостате в течение 7 дней при 100 °С. Измерение сопротивления до и после старения
-	10.3.3. Испытание стабильности сопротивления проводящих слоев	42 дня термического воздействия при температуре 130 °С

Таблица 5

дарт ICEA подразумевает расположение кабеля в специальной трубе. Особенности сборки кабельной системы приведены в табл. 4 (с. 52).

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Комбинированные испытания в кабельной промышленности проводятся давно. Положительный опыт уже имеют всемирно известные

испытательные лаборатории KEMA и NEETRAC. В России первый опыт проведения комбинированных испытаний был получен в испытательном центре «ОМАКС». Данные испытания проводились совместно с CFE-LAPEM (Мексика) на кабельной системе 138 кВ с арматурой производства ARKASIL (Россия) на кабеле с изоляцией из сшитого полиэтилена VIAKON (Мексика). Учитывая высокие риски при проведении комбинированных испытаний по стандартам IEC+ICEA+IEEE и необходимость испытания большого числа ар-

матуры (как следствие, большой испытательной сборки), было решено провести менее жесткие испытания на соответствие двум стандартам — IEC 60840 и ICEA S-108-720-2017 — вместо трех. Программа соответствующих комбинированных квалификационных испытаний приведена в табл. 5.

Дополнительной сложностью являлось то, что для проведения испытаний было выбрано два кабеля с разной конструкцией металлического экрана. Поэтому для определения температуры

СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСПЫТУЕМОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

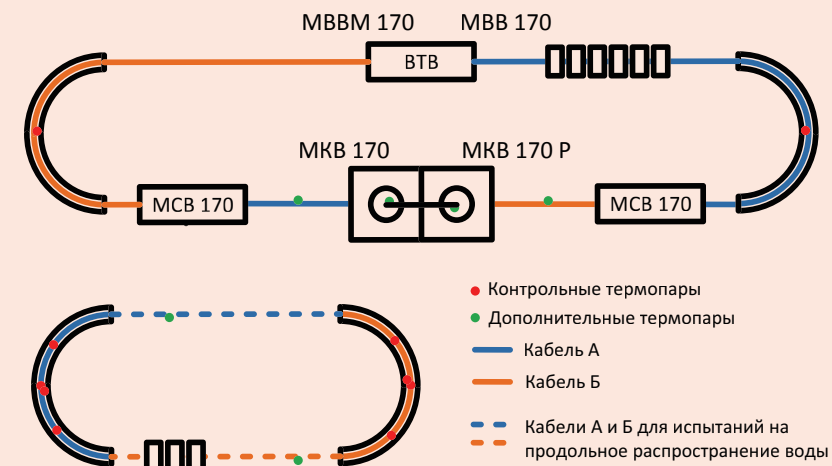


Рис. 2

на жиле кабеля были использованы два контрольных кабеля, которые были подключены последовательно с образцами кабеля для испытаний

кабеля на продольное распространение влаги. Схема расположения испытываемой сборки и контрольных кабелей приведена на рис. 2,

конструкции кабелей и кабельной арматуры — на рис. 3, общий вид кабельной системы на испытаниях — на рис. 4 (с. 56). На кабельной системе была смонтирована арматура: соединительная муфта МСВ170, соединительная муфта с выводом экрана для транспозиции МСВ 170 X, концевая муфта с композитным изолятором МКВ 170, концевая муфта с фарфоровым изолятором МКВ 170 Р, элегазовый ввод сухого типа МВВ 170 и элегазовый ввод маслянозаполненный МВВМ 170. Несмотря на разницу конструкций металлических экранов кабелей в одном испытательном контуре, температурные режимы для обоих кабелей были схожи, температурные характеристики находились внутри допустимых диапазонов, в связи с чем не пришлось прибегать к дополнительной термоизоляции одного из кабелей. Характерный цикл нагрева под напряжением изображен на рис. 5 (с. 56).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что рассмотренные в данной статье стандарты имеют

КОНСТРУКЦИЯ КАБЕЛЯ И КАБЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

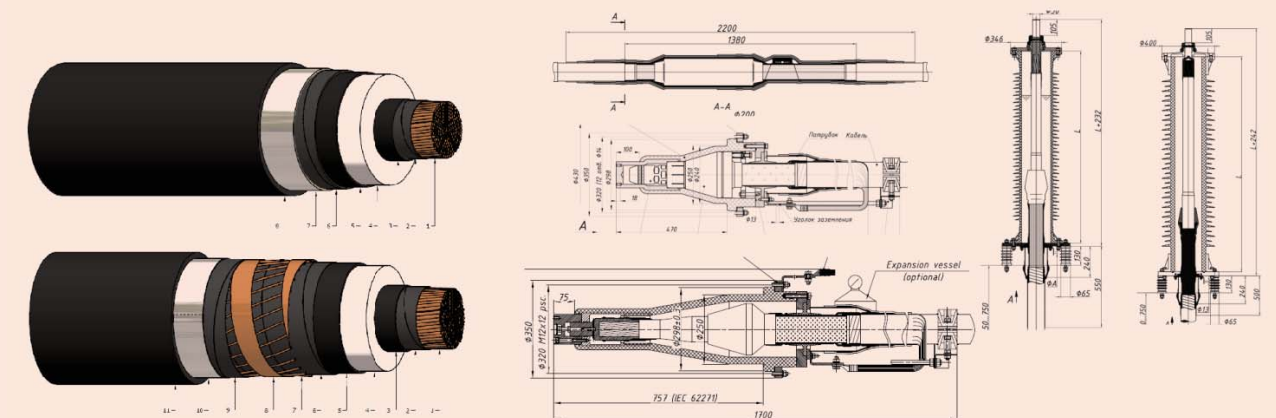


Рис. 3

одинаковые методы испытаний, требования к их проведению имеют существенные различия. Этому следует уделять особое внимание при составлении программы комбинированных испытаний, которую следует согласовать с конечным заказчиком. Производители кабеля и кабельной арматуры должны трезво оценивать все риски, поскольку испытываемая сборка подвергается значительно более жестким воздействиям. Однако комбинированные квалификационные испытания имеют больше экспериментальный и имиджевый характер в плане подтверждения качества продукции. На данный момент положительный опыт проведения комбинированных испытаний не только за рубежом, но теперь уже и в России, показал их практическую ценность.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEC 62067, ed. 2.0-2011. Power Cables with Extruded Insulation and their Accessories for Rated Voltages above 150 kV (Um = 170 kV) up to 500 kV (Um = 550 kV). Test Methods and Requirements. Edition 2.0, 2011-11.
2. IEC 60840, ed. 4.0 2011. Power Cables with Extruded Insulation and their Accessories for Rated Voltages above 30 kV (Um = 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV). Test Methods and Requirements. Edition 4.0, 2011-11.
3. IEEE 404-2012. IEEE Standard for Extruded and Laminated Dielectric Shielded Cable Joints Rated 2.5 kV to 500 kV.
4. IEEE 48-2009. IEEE Standard for Test Procedures and Requirements for Alternating-Current Cable Terminations Used on Shielded Cables Having Laminated Insulation Rated 2.5 kV through 765 kV or Extruded Insulation Rated 2.5 kV through 500 kV.
5. ICEA S-108-720-2017. Standard for Extruded Insulation Power Cables Rated above 46 through 500 kV AC. Publication ICEA S-108-720-2017, January 9, 2017.
6. AEIC CS9-15. Specification for Extruded Insulation Power Cables and their Accessories Rated above 46 kV through 345 kV. 2nd Edition. July 2015.

ОБЩИЙ ВИД КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И КОНТРОЛЬНОГО КАБЕЛЯ В ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ЗАЛЕ



Рис. 4

ХАРАКТЕРНЫЙ ЦИКЛ НАГРЕВА

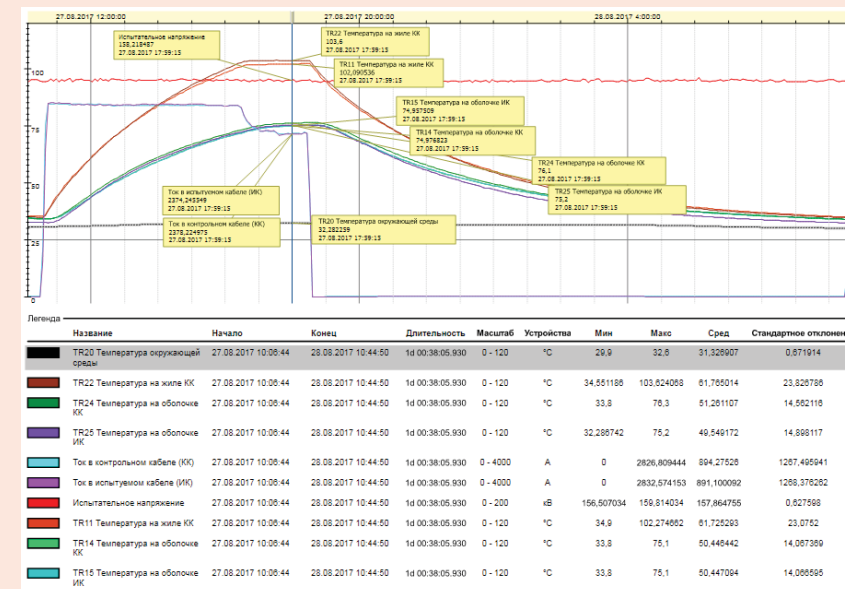


Рис. 5

ОРГАНИЗАТОР

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ARMY

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ «АРМИЯ-2018»

**21-26 АВГУСТА
ПАТРИОТ ЭКСПО**

WWW.RUSARMYEXPO.RU

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ

реклама