
ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(EASCC)

EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(EASC)

ГОСТ

-XXXX

(проект RUS, первая редакция)



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

**Системы промышленного электрообогрева трубопроводов на
основе СКИН-эффекта для нефтяной, химической и газовой
промышленности**

(IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA, Standard for Skin
Effect Trace Heating of Pipelines, Vessels, Equipment, and Structures -
General, Testing, Marking, and Documentation Requirements, NEQ)

**Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его
принятия**

Москва
Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации
202

Предисловие

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН ООО «ССТэнергомонтаж»

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (ТК 403)

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации по результатам голосования в АИС МГС (протокол от 2025 г. №)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта к IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA (IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA, Стандарт на обогреваемые скин-эффектом трубопроводы, сосуды, оборудование и конструкции. Общие требования, требования к испытаниям, маркировке и документации).

5 ВВОДИТСЯ ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

Исключительное право официального опубликования настоящего стандарта на территории указанных выше государств принадлежит национальным (государственным) органам по стандартизации этих государств

Содержание

- 1 Область применения
- 2 Нормативные ссылки
- 3 Термины, определения и сокращения
- 4 Основные нормативные положения
 - 4.1 Общие требования
 - 4.2 Требования к электробезопасности
 - 4.3 Требования к испытаниям
 - 4.4 Требования к материалам
 - 4.5 Требования к индукционно-резистивным соединителям
 - 4.6 Требования к защите цепей питания
 - 4.7 Требования к ограничению температуры нагрева
 - 4.8 Требования к заземлению
 - 4.9 Требования к силовым трансформаторам
 - 4.10 Механическая прочность
- 5 Требования к испытаниям
 - 5.1 Общие требования
 - 5.2 Типовые испытания
 - 5.3 Приемо-сдаточные испытания
- 6 Требования к маркировке
 - 6.1 Общие требования
 - 6.2 Маркировка индукционно-резистивного проводника
 - 6.3 Маркировка компонентов СКИН-системы, собираемых на месте
 - 6.4 Маркировка питающих, соединительных и концевых коробок
- 7 Требования к документации
 - 7.1 Общие требования
 - 7.2 Требования к проектированию системы
 - 7.3 Требования к документации систем промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта
 - 7.4 Инструкции по монтажу системы промышленного электрообогрева на основе СКИН-эффекта
 - 7.5 Инструкции по вводу в эксплуатацию
 - 7.6 Инструкции по техническому обслуживанию, ремонту или модификации
- Приложение А (обязательное) Методы проверки конструкции индукционно-резистивного нагревателя с ИРП
 - A.1 Общие требования
 - A.2 Методы проектирования и выбор индукционно-резистивных нагревателей
 - A.3 Расчет стабилизированной конструкции
 - A.4 Характеристики индукционно-резистивного нагревателя и условия равновесия
 - A.5 Расчеты потерь тепла
 - A.6 Коэффициент безопасности при расчете потерь тепла
 - A.7 Определение максимальной температуры
- Приложение Б (справочное) Требования к системам распределенного электронагрева для условий эксплуатации, соответствующих Division 1 и Division 2
 - B.1 Область применения
 - B.2 Общие требования

- Б.3 Концевые заделки и соединители
- Б.4 Требования к контролю и температуре
- Б.5 Типовые испытания
- Б.6 Инструкции. Требования к монтажу

Приложение ДВ (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA

Библиография

Введение

Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA.

Изменения структуры межгосударственного стандарта приведены в Приложении ДВ.

Стандарт разработан в развитие технического регламента Таможенного Союза ТР ТС 012/2011 «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах».

Настоящий стандарт входит в комплекс стандартов по видам взрывозащиты для оборудования, применяемого во взрывоопасных средах.

Настоящий стандарт устанавливает общие технические требования и требования к испытаниям для систем промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта, используемых во взрывоопасных средах. Требования настоящего стандарта рассматриваются как минимальные требования для уровней взрывозащиты оборудования Gb, Gc, Db, Dc во взрывоопасных газовых и пылевых средах и средах с присутствием волокон и/или пуха.

Стандарт предназначен для использования в целях нормативного обеспечения обязательной сертификации и испытаний.

Выполнение установленных настоящим стандартом частных требований вместе с требованиями стандартов на взрывозащиту ГОСТ 31610 обеспечивает безопасность применения данного вида оборудования на опасных производственных объектах нефтяной, химической, газовой и других отраслях промышленности.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ВЗРЫВООПАСНЫЕ СРЕДЫ

Системы промышленного электрообогрева трубопроводов на основе СКИН-эффекта для нефтяной, химической и газовой промышленности

Systems of industrial electric heating of pipelines based on SKIN-effect for oil, chemical and gas industry

Дата введения - ____-____-____

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие требования по конструированию, испытанию и монтажу систем промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта, предназначенных для использования во взрывоопасных газовых и пылевых средах, кроме взрывоопасных сред, требующих уровня взрывозащиты оборудования Ga и Da.

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к системам промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта номиналом до 5 кВ и 260°C.

Настоящий стандарт также устанавливает требования к комплектующим систем промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта и методам регулирования, используемым с системами промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта.

Настоящий стандарт дополняет общие требования ГОСТ 31610.0. В том случае, если требования настоящего стандарта вступают в противоречие с требованиями ГОСТ 31610.0, то приоритетными являются требования настоящего стандарта.

Таблица 1 – Применимость отдельных разделов ГОСТ 31610.0

<u>ГОСТ 31610.0</u>		Индукционно-резистивный нагреватель с изолированным проводником		Соединитель как отдельный компонент
Раздел/ подраздел (справочная информация)	Раздел/подраздел (обязательная информация)	Группа I и группа II	Группа III	
1	Область применения	Применяется*	Применяется*	Применяется*
2	Нормативные ссылки	Применяется*	Применяется*	Применяется*
3	Термины и определения	Применяется*	Применяется*	Применяется*
4	Классификация оборудования по группам	Применяется*	Применяется*	Применяется*
4.1	Оборудование группы I	Применяется*	Не применяется**	Применяется*
4.2	Оборудование группы II	Применяется*, всегда IIC	Не применяется**	Применяется*
4.3	Оборудование группы III	Не применяется**	Применяется*, только с наружной стороны теплоизоляции, всегда IIIC	Применяется*, только с наружной стороны теплоизоляции
4.4	Оборудование для применения в конкретной взрывоопасной среде	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
5.1	Влияние окружающей среды	Применяется*	Применяется*	Применяется*
5.1.1	Температура окружающей среды	Заменено на 6.2 е)	Заменено на 6.2 е)	Применяется*
5.1.2	Внешние источники нагрева или охлаждения	Применяется*	Применяется*	Применяется*
5.2	Эксплуатационная температура	Заменено на 5.2	Заменено на 5.2	Применяется*
5.3.1	Определение максимальной температуры поверхности	Заменено на 4.7 и 5.3	Заменено на 4.7 и 5.3	Применяется*
5.3.2.1	Электрооборудование группы I	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
5.3.2.2	Электрооборудование группы II	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
5.3.2.3.1	Электрооборудование группы III. Максимальная температура поверхности без слоя пыли	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется*
5.3.2.3.2	Электрооборудование группы III. Максимальная температура поверхности электрооборудования со слоем пыли	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
5.3.3	Температура поверхности малых элементов электро- оборудования группы I или II	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*

Продолжение таблицы 1

6.1	Требования к электро-оборудованию. Общие требования	Применяется*	Применяется*	Применяется*
6.2	Механическая прочность оборудования	Заменено на 4.10	Заменено на 4.10	Заменено на 4.10
6.3	Время открытия оболочки	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
6.4	Блуждающие токи в оболочках (например, крупных электрических машин)	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
6.5	Крепление прокладки	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
6.6	Электрооборудование, создающее электро-магнитные и ультра-звуковые излучения	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
7.1.1	Неметаллические оболочки и неметаллические части оболочек. Применяемость	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
7.1.2.1	Технические характеристики материалов. Общие положения	Заменено на 4.4	Заменено на 4.4	Применяется*
7.1.2.2	Технические характеристики материалов. Пластмассовые материалы	Заменено на 4.4	Заменено на 4.4	Применяется*
7.1.2.3	Эластомерные материалы	Заменено на 4.4	Заменено на 4.4	Применяется*
7.2	Теплостойкость	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта
7.3	Светостойкость	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта
7.4.1	Заряды статического электричества на внешних неметаллических оболочках или их частях. Применяемость	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
7.4.2	Предотвращение образования заряда статического электричества на электро-оборудовании группы I или II	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*

Продолжение таблицы 1

7.4.3	Предотвращение образования заряда статического электричества на электро-оборудовании группы III	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
7.5	Незаземленные металлические части	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
8.1	Состав материала	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
8.2	Оборудование группы I	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
8.3	Оборудование группы II	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
8.4	Оборудование группы III	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
9	Крепежные детали	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
10	Блокировки	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
11	Проходные изоляторы	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
12	Материалы, используемые в качестве герметиков	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта
13	Ех-компоненты	Применяется*	Применяется*	Применяется*
14	Вводные устройства и соединительные контактные зажимы	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта
15	Соединительные контактные зажимы для заземляющих или нулевых защитных проводников	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
16	Вводы в оболочках	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
17	Дополнительные требования к вращающимся электрическим машинам	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
18	Дополнительные требования к коммутационным аппаратам	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
19	Дополнительные требования к предохранителям	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
20	Дополнительные требования к вилкам, штепсельным розеткам и соединителям	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
21	Дополнительные требования к осветительным приборам	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
22	Дополнительные требования к головным и ручным светильникам	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
23	Оборудование, содержащее элементы и батареи	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
24	Документация	Применяется*	Применяется*	Применяется*

Продолжение таблицы 1

25	Соответствие прототипа или образца документации	Применяется*	Применяется*	Применяется*
26.1	Общие требования	Применяется*	Применяется*	Применяется*
26.2	Условия испытаний	Применяется*	Применяется*	Применяется*
26.3	Испытания во взрывоопасных испытательных смесях	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
26.4	Испытания оболочек	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
26.4.1	Порядок проведения испытаний	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
26.4.1.1	Оболочки и их части из металла и части оболочек из стекла	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта	Заменено согласно требованиям и испытаниям настоящего стандарта
26.4.1.2	Испытания неметаллических оболочек или неметаллических частей иных оболочек	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
26.4.2	Испытание на ударостойкость	Заменено на 5.2.7.3	Заменено на 5.2.7.3	Заменено на 5.2.7.3
26.4.3	Испытания сбрасыванием	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.4.4	Критерии оценки результатов испытаний	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.4.5	Проверка соответствия степени защиты, обеспечиваемой оболочками (IP)	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.5	Тепловые испытания	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.5.1	Измерение температуры	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.5.2	Испытание на тепловой удар	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.5.3	Испытание малых элементов на воспламенение взрывоопасных смесей	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.6	Испытание проходных изоляторов крутящим моментом	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.7	Неметаллические оболочки или неметаллические части иных оболочек	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.8	Теплостойкость	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.9	Холодостойкость	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.10	Светостойкость	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.11	Стойкость электрооборудования группы I к воздействию химических агентов	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.12	Проверка целостности заземления	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**

Окончание таблицы 1

26.13	Испытание по определению электрического сопротивления поверхности частей оболочек из неметаллических материалов	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.14	Измерение емкости	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.15	Проверка номинальных характеристик вентиляторов	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
26.16	Альтернативные испытания эластомерных уплотнительных колец	Не применяется**	Не применяется**	Не применяется**
27	Контрольные проверки и испытания	Применяется*	Применяется*	Применяется*
28	Ответственность изготовителя	Применяется*	Применяется*	Применяется*
29	Маркировка	Изменено***	Изменено***	Изменено***
30	Руководства по эксплуатации	Изменено***	Изменено***	Изменено***
Приложение А	Дополнительные требования к кабельным вводам	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
Приложение В	Требования к Ех-компонентам	Не применяется**	Не применяется**	Применяется*
<p>* Данное требование <u>ГОСТ 31610.0</u> применяется без изменения.</p> <p>** Данное требование <u>ГОСТ 31610.0</u> не применяется.</p> <p>*** Данное требование <u>ГОСТ 31610.0</u> изменено, как указано в настоящем стандарте.</p> <p>Примечания</p> <p>Номер раздела в настоящей таблице приведен только для информации. Применимые требования <u>ГОСТ 31610.0</u> определены только названием раздела, которое является обязательным.</p>				

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

- ГОСТ 14254 (IEC 60529) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP);
- ГОСТ 15150 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды;
- ГОСТ 18690 Кабели, провода, шнуры и кабельная арматура. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение;
- ГОСТ 22483 (IEC 60228) Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров;
- ГОСТ 30852.13 (МЭК 60079-14:1996) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 14. Электроустановки во взрывоопасных зонах (кроме подземных выработок);
- ГОСТ 31610.0 (IEC 60079-0:2017) Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования;

ГОСТ 31610.30-1 (IEC/IEEE 60079-30-1) Взрывоопасные среды. Часть 30-1. Нагреватели электрические сетевые резистивные. Общие требования и требования к испытаниям;

ГОСТ 31610.30-2 (IEC/IEEE 60079-30-2) Взрывоопасные среды. Часть 30-2. Нагреватели электрические сетевые резистивные. Руководство по проектированию, установке и техобслуживанию;

ГОСТ 31610.11 (IEC 60079-11) Взрывоопасные среды. Часть 11. Оборудование с видом взрывозащиты искробезопасная электрическая цепь i

ГОСТ 31565 Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности;

ГОСТ 31996 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия;

ГОСТ 34834 Кабели силовые с экструдированной изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия;

ГОСТ 34839 Муфты для силовых кабелей на напряжение до 35 кВ включительно. Общие технические условия;

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (www.easc.by) или по указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

В настоящем стандарте применены термины ГОСТ 31610.0, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 воздействие окружающей среды (environmental exposure): Воздействие на обогреваемый трубопровод внешних условий, таких как влага, град, ветер, солнечное излучение.

3.2 датчик температуры (термочувствительный элемент) (temperature sensor (thermosensitive element)); ДТ: Устройство, реагирующее на температуру и формирующее электрический сигнал или вызывающее механическое срабатывание.

3.3 документация по системе (system documentation): Информация,

предоставляемая изготовителем для ознакомления и обеспечения правильной установки и безопасного использования системы.

3.4 индукционно-резистивная концевая коробка (inductive-resistive end box); ИРКК: Устройство, предназначенное для электрически надежного соединения индукционно-резистивного проводника с индукционно-резистивным нагревателем в конце линии обогрева и электрического заземления, закрепляемое непосредственно на поверхности обогреваемого трубопровода, с выводом заземления за пределы теплоизоляции.

3.5 индукционно-резистивный нагреватель (induction-resistive heater); ИРН: Нагреватель, закрепленный непосредственно на обогреваемом трубопроводе, и реализуемый в виде непрерывной трубы из углеродистой стали с магнитными свойствами, которая вместе с индукционно-резистивным проводником, установленным внутри, образует распределенный нагревательный элемент, в котором происходит основное тепловыделение, при этом, значительная доля тепла выделяется в трубе, а часть тепла в ИРП.

3.6 индукционно-резистивная питающая коробка (inductive-resistive supply box); ИРПК: Устройство, предназначенное для присоединения индукционно-резистивного проводника и индукционно-резистивного нагревателя к цепи электропитания и устанавливаемое в начале обогреваемого трубопровода. Рядом с ИРПК обычно расположена силовая коробка, к которой подводятся кабели питания от комплексной трансформаторной подстанции.

3.7 индукционно-резистивный проводник (inductive-resistive conductor); ИРП: Проводник, состоящий из многопроволочной медной / алюминиевой или аналогичной жилы с защитным покрытием, изоляцией и оболочкой из полимерных материалов, предназначенный для установки внутри индукционно-резистивного нагревателя.

3.8 индукционно-резистивный соединитель для соединения индукционно-резистивного проводника (inductive-resistive connector for inductive-resistive conductor connection); ИРС: Устройство, предназначенное для электрически изолированного и неразъемного соединения отдельных отрезков индукционно-резистивного проводника в единую кабельную линию, предусмотренное конструкцией индукционно-резистивного нагревателя и подвергающееся воздействию той же среды, что и индукционно-резистивный нагреватель, не предназначенное для повторного применения в случае ремонта или изменения, которое, как правило, устанавливаются на месте применения.

3.9 индукционно-резистивная соединительная коробка (inductive-resistive junction box); ИРСК: Устройство, предназначенное для соединения отдельных частей

индукционно-резистивного проводника и индукционно-резистивного нагревателя с размещением в них индукционно-резистивных соединителей, а также для протяжки ИРП, предназначенное для соединения отдельных частей в индукционно-резистивном нагревателе и закрепляемое непосредственно на поверхности обогреваемого трубопровода.

3.10 климатический барьер (climate barrier): Материал, нанесенный на внешнюю поверхность теплоизоляции, защищающий ее от воды или других жидкостей, от физических повреждений под воздействием града, ветра, солнечных лучей, атмосферных загрязнений, а также от механических повреждений.

3.11 комплект для соединения индукционно-резистивного нагревателя (inductive-resistive heater connection kit): Устройство, предназначенное для электрического неразъемного соединения отдельных отрезков труб индукционно-резистивного нагревателя между собой, а также для соединения индукционно-резистивных нагревателей с коробками.

3.12 максимальная допустимая температура (maximum permissible temperature): Значение максимальной рабочей температуры или температуры окружающей среды, не оказывающей отрицательного влияния на теплостойкость индукционно-резистивного нагревателя и его компонентов.

3.13 максимальная температура длительного воздействия (индукционно-резистивный нагреватель выключен) (maximum long-term exposure temperature (inductive-resistive heater switched off)): Максимальное значение длительно воздействующей на выключенный электронагреватель температуры, заявленное изготовителем.

3.14 максимальная температура кратковременного воздействия (индукционно-резистивный нагреватель включен или выключен) (Maximum short-term exposure temperature (inductive-resistive heater on or off)): Значение самой высокой допустимой кратковременно воздействующей на электронагреватель температуры, заявленное изготовителем.

3.15 минимальная температура при монтаже (minimum installation temperature): Минимальная температура, при которой систему допускается монтировать.

3.16 максимальная поддерживаемая температура/максимальная температура при продолжительной работе (индукционно-резистивный нагреватель выключен) (Maximum maintainable temperature/maximum temperature during continuous operation (inductive-resistive heater off)): Значение максимальной заданной температуры объекта при непрерывной работе электронагревателя, заявленное изготовителем.

3.17 максимальная температура жилы (maximum core temperature): Максимальная температура на жиле ИРП.

3.18 максимальная температура оболочки (maximum sheath temperature): Максимальная температура оболочки индукционно-резистивного проводника.

3.19 максимальная температура окружающей среды (maximum ambient temperature): Значение наивысшей заданной температуры окружающей среды.

3.20 минимальная температура окружающей среды (minimum ambient temperature): Значение нижнего диапазона температуры окружающей среды, при которой система работает в соответствии с указанными требованиями и которая взята за основу при расчетах тепловых потерь.

3.21 номинальное напряжение (nominal voltage): Установленное изготовителем значение напряжения, на которое рассчитаны рабочие и эксплуатационные характеристики системы.

3.22 номинальная тепловая мощность (rated heat output): Значение общей мощности СКИН-системы при номинальных значениях напряжения, температуры и длины трубопровода.

3.23 номинальный ток (rated current): Ток, протекающий в системе в режиме поддержания заданной температуры обогреваемого трубопровода.

3.24 поддерживаемая температура (maintained temperature): Заданная температура объекта или процесса, которую индукционно-резистивный нагреватель должен поддерживать.

3.25 предельная температура (temperature limit): Значение максимальной допустимой температуры системы, содержащей трубопровод, технологическую среду и систему.

3.26 пусковой ток (inrush current): Значение тока системы в момент её включения.

3.27 рабочее напряжение (operating voltage): значение фактического напряжения, подаваемого на систему.

3.28 распределенный нагревательный элемент (distributed heating element), РНЭ: Индукционно-резистивный нагреватель с установленным внутри индукционно-резистивным проводником.

3.29 расчетная нагрузка (design load): Минимальное значение мощности, исходя из расчетных требований к конструкции системы в наихудших условиях работы, с учетом допустимого отклонения напряжения и допусков по сопротивлению индукционно-резистивного нагревателя и соответствующих коэффициентов безопасности.

3.30 регулятор температуры (temperature controller): Устройство или сочетание устройств, включающее в себя средства измерения температуры и регулирования мощности, подаваемой на систему.

3.31 система промышленного электрообогрева трубопроводов на основе СКИН-эффекта (system of industrial electric heating of pipelines based on skin effect), СКИН-система: Индукционно-резистивная система нагрева (ИРСН) (допускается также использование определений: индукционно-резистивная система электрического обогрева (ИРСЭО) или индукционно-резистивная система путевого обогрева (ИРСПО) на основе скин-эффекта, предназначенная для обогрева протяженных трубопроводов.

3.32 СКИН-эффект (skin effect): Эффект вытеснения тока на внутреннюю поверхность ферромагнитной трубы с расположенным внутри индукционно-резистивным проводником, обеспечивающий выделение тепловой энергии.

3.33 средства улучшения теплопередачи (means of improving heat transfer): Теплопроводящие материалы, такие как металлическая фольга или теплопроводящие компаунды, используемые для повышения эффективности теплопередачи между индукционно-резистивным нагревателем и трубопроводом.

3.34 специальный трансформатор питания системы (dedicated system power transformer): Трансформатор, выходное напряжение которого должно соответствовать номинальному расчетному питающему напряжению конкретной системы и предназначенный для питания одно- и двухфазных индукционно-резистивных нагревателей, без искажения симметрии в первичной обмотке трехфазного источника питания, как правило устанавливается в КТП и рассчитывается на номинальное напряжение СКИН-системы.

3.35 температура окружающей среды (ambient temperature): Температура среды вокруг обогреваемого трубопровода.

3.36 тепловые потери (heat losses): Часть тепловой энергии от трубопровода, выделяемая в окружающую среду.

3.37 теплоизоляция (thermal insulation): Материал, содержащий в своей структуре воздушные или газовые карманы и пустоты или теплоотражающие поверхности, который при соблюдении условий применения задерживает передачу тепла от трубопровода к окружающей среде.

3.38 ток короткого замыкания (short-circuit current): Ток, протекающий в ИРП при коротком замыкании на трубу.

3.39 удельная мощность (specific power): Значение выходной мощности индукционно-резистивного нагревателя в Вт на единицу длины, Вт/м.

3.40 устройство ограничения температуры (temperature limiting device):

Устройство, предотвращающее превышение максимальной допустимой температуры поверхности индукционно-резистивного проводника посредством отключения его питания.

4. Основные нормативные положения

4.1. Общие требования

Системы промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта согласно области применения настоящего стандарта должны быть сконструированы и изготовлены таким образом, чтобы гарантировались их электрическая, термическая и механическая прочность и надежность в работе. Системы промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта и встроенные элементы должны соответствовать требованиям ГОСТ 31610.0, за исключением требований, приведенных в таблице 1.

Система промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта должна состоять из одного изолированного проводника, проложенного внутри ферромагнитной трубы. Источник переменного тока должен быть подключен между изолированным проводником и ферромагнитной трубой в месте подключения питания. В конце участка обогрева изолированный проводник должен быть соединен с ферромагнитной трубой с помощью концевой коробки.

Структурная схема системы промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта представлена на рисунке 1.

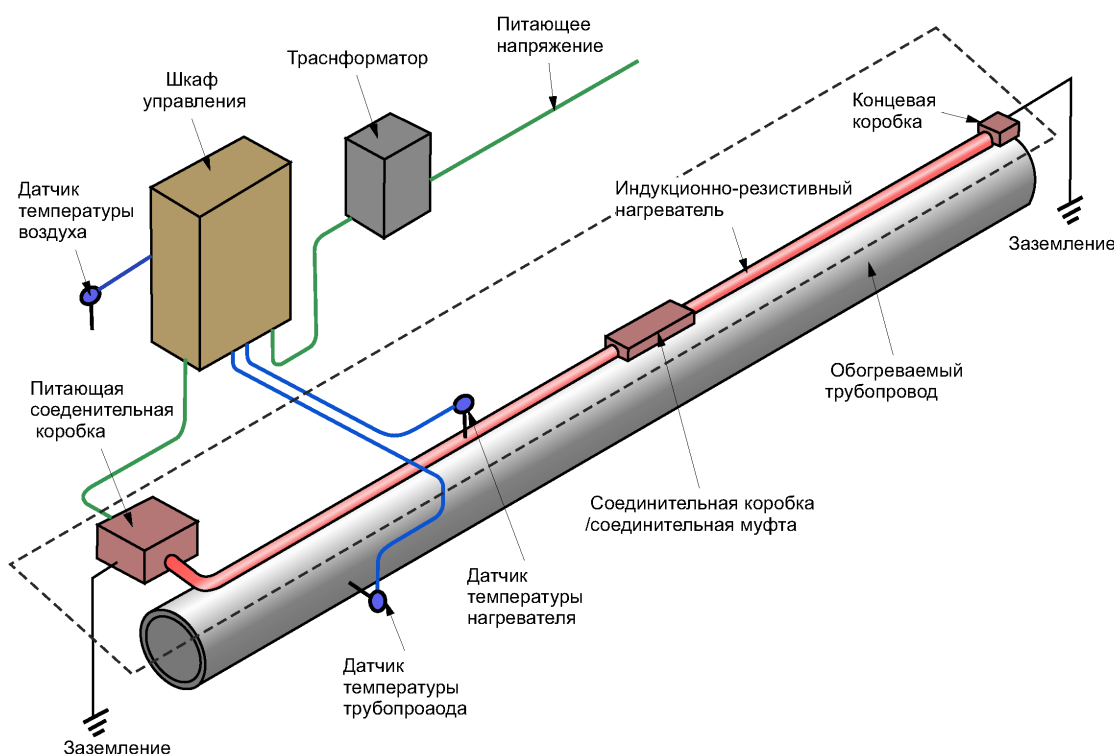


Рисунок 1 – Схема системы промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта

4.2. Требования к электробезопасности

Система промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта должна быть подключена таким образом, чтобы обеспечивалась непрерывность как индукционно-резистивного проводника, так и индукционно-резистивного нагревателя. Необходимо обеспечить надежное заземление элементов системы как в начале, так и в конце обогреваемого участка.

4.3. Требования к испытаниям

Индукционно-резистивные проводники, подходящие под действия настоящего стандарта должны соответствовать требованиям испытаний, приведенным в п.5. данного стандарта.

4.4. Требования к материалам

Диэлектрические материалы и любые дополнительные покрытия или слои в проводнике и любых изолированных соединениях должны быть пригодны для использования в конкретных условиях применения. Указанные материалы должны иметь максимальную температуру воздействия, заявленную производителем. Используемые материалы должны отвечать требованиям всех соответствующих испытаний согласно п.5.

4.5. Требования к соединителям

ИРС должны соответствовать электрическим и механическим характеристикам индукционно-резистивного проводника, заявленных производителем и должны быть испытаны согласно п.5.

Для ИРС должны быть разработаны инструкции по монтажу согласно п.7.

4.6. Требования к защите цепей питания

Системы промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта должны иметь защиту компонентов.

Минимальными требованиями, предъявляемыми к системам промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта для использования во взрывоопасных газовых средах, являются:

- а) Использование СКИН-системы совместно с устройствами защиты от сверхтоков и токов перегрузки;
- б) Использование СКИН-системы совместно с устройствами релейной защиты;
- в) Использование СКИН-системы совместно с предохранителями;
- д) Использование СКИН-системы совместно с автоматическими выключателями с комбинированным расцепителем;
- е) Использование устройств регулирования температуры, подключенных к

искробезопасной электрической цепи.

4.7. Требования к ограничению температуры нагрева

4.7.1. Общие требования

СКИН-система должна быть конструктивно выполнена таким образом, чтобы при всех условиях температура поверхности ИРП соответствовала температурному классу электрооборудования или температуре воспламенения взрывоопасной смеси минус 5 К для температур ниже или равных 200°C или минус 10 К для температур выше 200°C. Максимальная температура оболочки индукционно-резистивного нагревателя с изолированным проводником должна быть ниже максимальной допустимой температуры.

Это достигается одним из следующих способов:

- 1) посредством стабилизированной конструкции согласно 4.7.2;
- 2) посредством регулируемой конструкции в соответствии с 4.7.3.

Для перечислений 1) и 2), если несколько РНЭ (особенно на трубопроводах с различными условиями потока) контролируются одним устройством регулирования температуры, необходимо проанализировать каждый расчетный режим.

4.7.2. Стабилизированная конструкция

При применении стабилизированной конструкции максимальную температуру поверхности ИРН с изолированным проводником определяют по балансу энергии в результате тепловых потерь и выработки тепла в системе. Баланс энергии определяют расчетами на основе параметров системы.

Расчеты конструкции, параметры СКИН-системы и методы создания стабилизированной конструкции должны быть продемонстрированы изготовителем органу по сертификации с помощью их сравнения с результатами испытаний по 5.3. В таблице 2 определены расчетные условия для разных уровней взрывозащиты оборудования стабилизированной конструкции.

Таблица 2 - Расчетные условия температуры оболочки на основе уровней взрывозащиты оборудования. Стабилизированная конструкция

Параметр	Gb/Db	Gc/Dc
Рабочее напряжение, %	110	110
Максимальная температура объекта, принятая для расчета	-a)	-a)
Максимальная скорость воздушного потока, принятая для расчета	0	0
a) Температуру объекта (T_{pr} или T_{pm} в зависимости от того, какое значение выше) учитывают при расчете максимальной температуры оболочки (см. приложение А).		

4.7.3. Регулируемая конструкция

4.7.3.1. Общие требования

Максимальную температуру оболочки РНЭ при применении регулируемой конструкции ограничивают использованием регуляторов температуры или ограничителей температуры. Ограничители температуры должны быть установлены на значение температуры, не превышающее значение максимально допустимой температуры поверхности оболочки РНЭ, соответствующей данному температурному классу, и уменьшенное:

- 1) на прогнозируемую разность температур между уставкой ограничителя температуры и максимальной температурой оболочки РНЭ или
- 2) значение, указанное, в 4.7.1.

Существуют три метода регулирования с целью ограничения максимальной температуры оболочки, которые подходят только для тех ситуаций, в которых объект не подвергается воздействию дополнительных источников тепла:

а) Ограничение максимальной температуры объекта. Датчик контроля температуры и/или датчик ограничителя температуры устанавливают непосредственно на объекте.

б) Применение ограничителя высокой температуры с датчиком, закрепленным на РНЭ установленном на объекте. Для каждого применения необходимо согласовать характеристики РНЭ, уровень удельной выходной мощности и характеристики ограничителя температуры/датчика.

с) Создание искусственного горячего пятна, на котором датчик ограничителя высокой температуры прикрепляют к РНЭ, который установлен на теплоизоляционной прокладке поверх объекта. Для каждого применения необходимо согласовать характеристики распределенного электронагревателя, уровень удельной выходной мощности и характеристики ограничителя температуры/датчика и изоляционной прокладки.

Изготовитель должен прогнозировать разность ΔT_{offset} между температурой оболочки РНЭ и уставкой ограничителя температуры. Расчетные условия приведены в таблице 3. Изготовитель должен применять метод расчета температуры оболочки, позволяющий сравнивать результаты расчетов с данными результатов испытаний по 5.3.

Таблица 3 - Расчетные условия температуры оболочки на основе уровней взрывозащиты оборудования. Регулируемая конструкция

Параметр	Gb/Db	Gc/Dc
Рабочее напряжение, %	110	110
Максимальная температура объекта, принятая для расчета	-a)	-a) или b)
Максимальная скорость воздушного потока, принятая для расчета	0	0
a) Используют уставку ограничителя температуры в соответствии с 4.7.3.1. b) Используют уставку регулятора температуры в соответствии с 4.7.3.1		

Примечание – Расчет ΔT_{offset} приведен в приложении А. Значение ΔT_{offset} - эмпирически определенная разность значений температуры датчика и фактической максимальной температуры оболочки электронагревателя. ΔT_{offset} зависит от таких параметров, как форма и масса распределенного электронагревателя и датчика, выходная мощность электронагревателя, коэффициент теплопередачи и гистерезис системы управления.

4.7.3.2. Требования к устройствам регулирования температуры для оборудования с уровнем взрывозащиты Gb и Db

Ограничитель температуры или подобное устройство регулирования температуры должен отключать систему для предотвращения превышения максимально допустимой температуры оболочки. Устройства ограничения температуры должны быть рассчитаны минимум на 6000 циклов работы. Любое устройство, применяемое для регулирования температуры, должно быть проверено минимум на 100 000 циклов работы и должно соответствовать требованиям к уровню взрывозащиты оборудования Gb и/или Db.

Дополнительный ограничитель по верхнему пределу температуры должен иметь следующие характеристики:

- 1) работа независимо от устройства регулирования температуры;
- 2) отключение РНЭ при достижении контрольной точки ограничителя температуры;
- 3) оповещение о включении дополнительного ограничителя по высокой температуре;
- 4) функция дополнительного ограничителя по высокой температуре, требующая подтверждения для возврата в исходное положение;
- 5) механическая или электронная блокировка верхней контрольной точки устройства для предотвращения несанкционированного доступа;
- 6) функция безопасности, отключающая питание цепи при отказе ДТ;
- 7) возможность повторного включения только после восстановления

нормальных рабочих условий или при осуществлении постоянного контроля состояния включения (дополнительного ограничителя).

4.7.3.3 Требования к устройствам регулирования температуры для оборудования с уровнем взрывозащиты Gc и Dc

Допускается использовать одно устройство регулирования температуры при условии, что оно снабжено индикатором неисправности или по результатам проверки выдерживает минимум 250000 рабочих циклов. В качестве альтернативы допускается использовать устройство регулирования температуры в соответствии с 4.7.3.2.

Если используют одно устройство регулирования температуры с индикатором неисправности, то необходимо принять соответствующие меры слежения за такой индикацией, например, осуществлять круглосуточное наблюдение.

4.8. Требования к заземлению

Системы промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта должны быть снабжены средствами внешнего заземления индукционно-резистивного нагревателя в соответствии с документацией производителя. Обязательным является заземление в начале индукционно-резистивного нагревателя и в конце. Дополнительно может быть организовано заземление в промежуточных точках.

4.9. Требования к силовым трансформаторам

Системы промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта должны комплектоваться трансформаторами, изготавливаемыми по индивидуальным требованиям проекта. Трансформатор должен иметь гальваническую развязку между обмотками высокого и низкого напряжений.

4.10. Механическая прочность

Механическую прочность компонентов системы промышленного обогрева на основе СКИН-эффекта необходимо определять испытаниями в соответствии с 5.1.5-5.1.7 и 5.1.11.

5 Требования к испытаниям

5.1 Общие требования

Все испытания должны проводиться при комнатной температуре от 10 °С до 40 °С, если не указано иное. Выбор варианта испытания должен учитывать диапазон представленных конструкций и основываться на других условиях, где они применяются.

5.2 Типовые испытания

5.2.1 Общие требования

Типовые испытания, перечисленные в пунктах 5.2.2–5.2.13, предназначены для подтверждения соответствия электронагревателя на основе СКИН-эффекта, его

компонентов и соединений указанным характеристикам.

5.2.2 Диэлектрические испытания

Если не указано иное, 3-метровый образец индукционно-резистивного проводника, за исключением концов, должен быть погружен в водопроводную воду при комнатной температуре не менее чем на 1 ч. Между индукционно-резистивным проводником и водопроводной водой при комнатной температуре должно быть приложено испытательное напряжение переменного тока, как указано в Таблице 4.

Таблица 4 - Испытательное напряжение ИРП

Номинальное рабочее напряжение ИРП, В	Испытательное переменное напряжение, кВ
0-600	5,5
601-2000	7,0
2001-3000	11,0
3001-5000	13,0

Испытательное напряжение должно быть приложено со скоростью нарастания не менее 100 В/с и не более 200 В/с и поддерживаться в течение 5 мин. Форма испытательного напряжения должна быть по существу синусоидальной, с частотой от 45 Гц до 65 Гц. Не должно происходить пробоя изоляции.

5.2.3 Испытание сопротивления изоляции

Если не указано иное, испытание сопротивления электрической изоляции должно проводиться после диэлектрического испытания, указанного в 5.2.2, на том же образце(ах). Сопротивление электрической изоляции должно быть измерено между ИРП и водой, в которой образец(ы) все еще находится(ются), с помощью источника постоянного тока напряжением 500 В (номинальное). Измеренное значение должно быть не менее 50 МОм.

5.2.4 Тепловые характеристики индукционно-резистивного проводника

5.2.4.1 Сохранение гибкости и электрических свойств после термического старения

Образец длиной не менее 3 м ИРП должен быть помещен в печь с принудительной циркуляцией воздуха. Печь должна быть нагрета и поддерживаться при температуре на 20 °С или выше максимальной температуры непрерывного воздействия (индукционно-резистивный проводник обесточен) или при температуре выдерживания, которая выше заявленной изготовителем, в течение 28 дней. Затем образец ИРП должен быть извлечен из печи и охлажден до комнатной температуры.

Затем образец ИРП должен быть намотан шестью витками вокруг стержня, имеющего радиус, равный двенадцати толщинами изоляции индукционно-резистивного проводника в первичной плоскости изгиба или двенадцати диаметрам индукционно-резистивного проводника. Пока он находится на стержне, образец, за исключением концов, где ИРП открыт, должен быть погружен в водопроводную воду при комнатной температуре в течение 5 минут. После этого следует провести диэлектрическое испытание по п. 5.2.2 и сопротивление изоляции по п. 5.2.3.

После завершения испытаний образец ИРП не должен иметь видимых трещин при осмотре нормальным зрением или зрением, скорректированным до нормального.

5.2.4.2 Сохранение свойств растяжения и удлинения после термического старения

Способность индукционно-резистивного проводника сохранять свои свойства растяжения и удлинения должна оцениваться после термического старения.

Электрическая изоляция индукционно-резистивного проводника должна сохранять минимум 75% прочности на разрыв / растяжение и минимум 65% относительного удлинения после воздействия соответствующих условий ускоренного старения согласно таблице. Проверка прочности при растяжении и относительного удлинения до и после старения должна проводиться на пяти изготовленных образцах изоляции в готовом виде.

Если электрическая изоляция индукционно-резистивного проводника имеет максимально заявленную температуру постоянного воздействия или максимально заявленную допустимую температуру, которая отличается от одной из номинальных температур изоляции, приведенных в таблице, электрическая изоляция должна быть испытана при следующей более высокой номинальной температуре.

Таблица 5 – Температуры старения

Номинальная температура изоляции, °C	90	105	125	150	180	200	250	260
Температура старения, °C	121	136	158	180	220	210 ^a	260 ^b	270
Время старения, дней	7	7	7	7	7	60 ^a	60 ^b	60

а) Альтернативное испытание при 250°C ± 2°C в течение 7 дней;

б) Альтернативное испытание при 320°C ± 2°C в течение 7 дней.

5.2.5 Испытание на холодный изгиб

Устройство, используемое для испытания на холодный изгиб, должно быть таким, как показано на рисунке 2. Подходящий образец индукционно-резистивного проводника

должен быть закреплен в устройстве. С испытательным образцом в нужном положении устройство должно быть помещено в климатическую камеру поддерживаться при значении температуры испытания, соответствующем минимальной рекомендуемой производителем температуре установки ($+0/-5$ °C), в течение не менее 4 часов. В конце этого периода, и при температуре испытания образца, образец должен быть пропущен на 90° вокруг оправки, затем согнут на 180° в противоположном направлении вокруг и выпрямлен в исходное положение. Это должно считаться одним циклом. Все операции перегибов должны быть выполнены в поперечной плоскости. Эта последовательность операций должна быть выполнена три раза, а скорость гибки должна быть 5 ± 1 с на цикл. После завершения этой процедуры образец следует поместить в водопроводную воду комнатной температуры на 5 мин, а затем провести на образце испытание диэлектрических свойств в соответствии с п. 5.2.2 и испытание сопротивления изоляции в соответствии с п. 5.2.3.

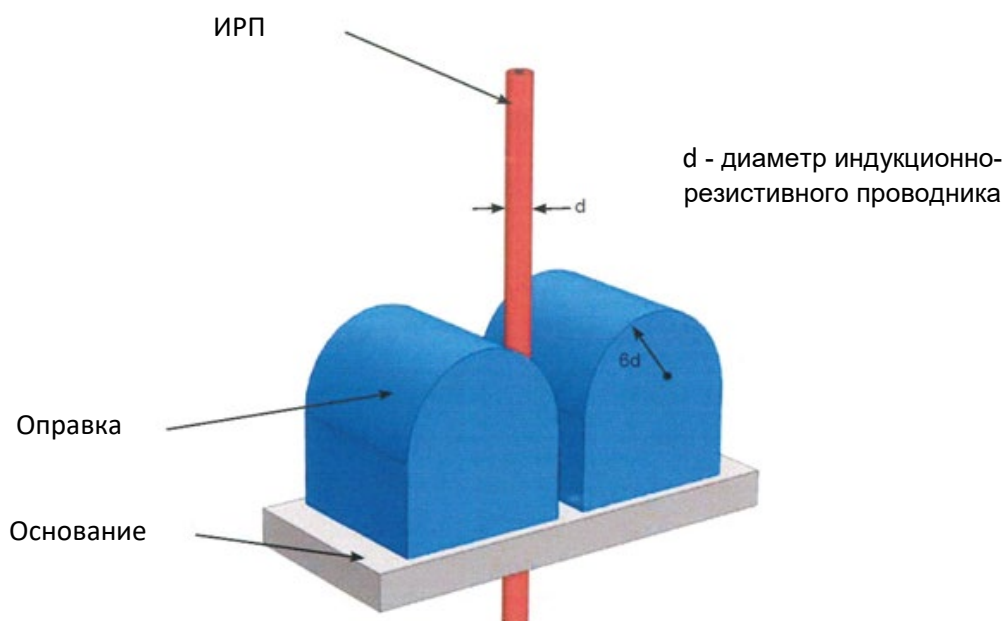


Рисунок 2 - Устройство, используемое для испытания на холодный изгиб

5.2.6 Испытание на стойкость к истиранию

5.2.6.1 Общие требования

Это испытание должно быть применено к трем репрезентативным образцам самого большого и самого тонкого изолированного индукционно-резистивного проводника.

5.2.6.2 Испытательное оборудование

Оборудование, как показано на рисунке 3, должно состоять из устройства,

предназначенного для удержания определенного образца индукционно-резистивного проводника в горизонтальном положении и под натяжением. Образец должен быть закреплен с помощью цепи-ремня на каждом конце, один из которых закреплен на жесткой опоре, в то время как другой пропускается через штырь, свободно вращающийся вокруг своей фиксированной оси и подвергаемый натяжению посредством сил веса.

Расстояние между жестко закрепленным концом и осью шкива должно быть 1,5 мм. Деревянный локоть толщиной приблизительно 65 мм и имеющий криволинейную поверхность радиусом 89 мм на нижней стороне должен быть прикреплен к рычагу с шарниром. Точка поворота рычага должна находиться на расстоянии 178 мм от криволинейной поверхности локтя в центре пролета 1,5 мм.

Движущийся возвратно-поступательно шток, соединённый с рычагом, должен колебать образец ИРП по дуге приблизительно 100° со скоростью 20 ± 1 циклов в минуту, в направлении оси испытуемого образца. С помощью храпового механизма, брус должен автоматически передвигаться в поперечном направлении со скоростью приблизительно 2 мм/мин. Устройство должно быть снабжено счётчиком для фиксации числа циклов.

Положение бруса по отношению к поверхности истираемого образца должно быть таким, чтобы образец находился в исходном горизонтальном положении на расстоянии 25 мм когда брус находится в центральной точке поворота. Когда брус находится в этом положении, он должен контактировать с кабелем приблизительно в середине длины образца.

Абразивный материал, который должен состоять из наждачной ткани средней (80 grit) зернистости, должен поддерживаться в плотном контакте со скруглённой поверхностью бруса механическим способом. Наждачная ткань должна обновляться каждый раз, когда рычаг достигает конца своего поперечного перемещения.

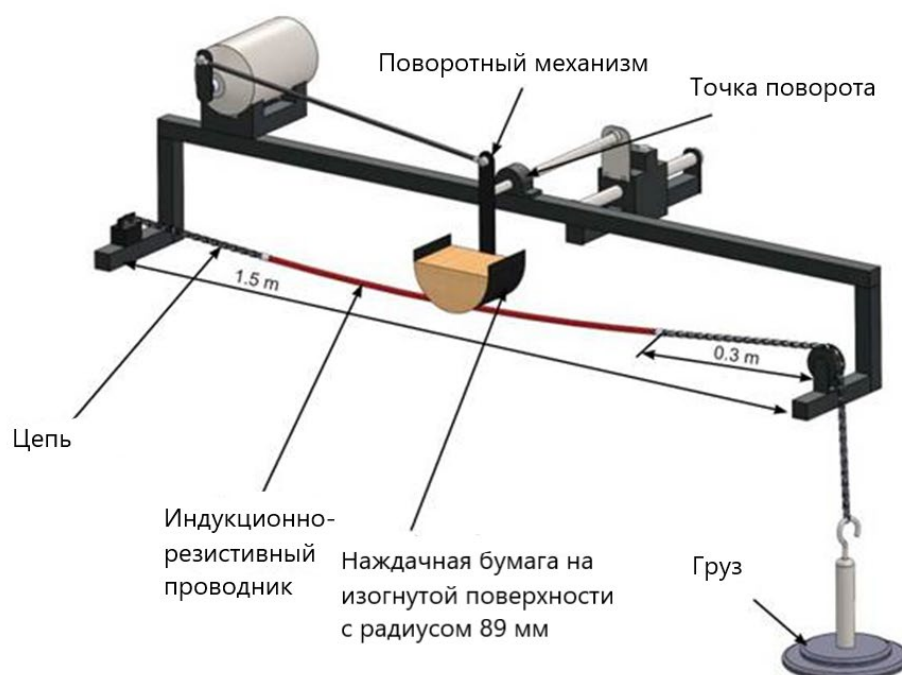


Рисунок 3 - Оборудование, используемое для испытания на истирание

5.2.6.3 Процедура проведения испытаний

Шесть образцов ИРП, каждый длиной 0,9 м, должны помещаться в устройство для испытания поочередно и истираться в течение рассчитанного числа циклов. Число циклов вычисляется согласно п. 5.2.6.4. Свежая наждачная бумага должна использоваться для каждого образца ИРП.

5.2.6.4 Расчёт массы груза и числа циклов

Расчёт числа испытательных циклов N_t определяется из следующего равенства:

$$N_t = \frac{FLC}{W_t} \quad (1)$$

Где,

N_t - число испытательных циклов, требуемых для каждого испытания (циклом считается одно полное перемещение рычажного бруса из начального положения до конца хода и назад в исходное положение;

F - максимальное усилие растяжения (кг, Ньютонов);

L - максимальная не сращенная длина (м);

C - константа 0,2 цикла/м;

W_t - испытательный вес, используемый в устройстве для испытаний, который может быть выбран за величину для практического использования в механизме фиксации истирающей машины (кг).

Пример расчёта количества циклов испытания:

Исходя из взятого для примера кабеля, у которого заявленное производителем максимальное усилие растяжения (F) равно 45.4 кг (445 N) и максимальная заявленная

строительная длина (L) равна 457 м, получаем испытательный вес (W_t) для использования в устройстве равный 13,6 кг и следующий расчёт:

$$N_t = 45.4 \times 457 \times 0.2 / 13.6 \text{ кг} = 305 \text{ циклов}$$

5.2.6.5 Подтверждающие испытания

После завершения этой процедуры образец следует поместить в водопроводную воду комнатной температуры на 5 мин, а затем провести на образце испытание диэлектрических свойств в соответствии с п. 5.2.2 и испытание сопротивления изоляции в соответствии с п. 5.2.3.

5.2.7 Испытание соединительных муфт и концевых заделок

5.2.7.1 Испытание соединений на влагостойкость

Образец индукционно-резистивного проводника с индукционно-резистивным соединителем длиной не менее 3 м, включающий выполненную в заводских или полевых условиях соединение должен быть помещён в печь с принудительной циркуляцией воздуха. Печь должна быть нагрета до температуры на $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ выше максимальной длительной температуры и поддерживаться при этой температуре в течение 28 дня.

Прошедшие таким образом старение образцы затем должны быть помещены в поток водопроводной воды в устройстве циркуляции и слива воды, как показано на Рисунке 4.

Включают воду и полностью погружают в нее образец индукционно-резистивного проводника с индукционно-резистивным соединителем, после этого вода перекрывается и подается максимальное рабочее напряжение.

Полное время от подачи воды до окончания слива должно быть не более 4,5 мин и не менее 2,5 мин. Временная последовательность должна быть такой, чтобы образец находился под напряжением в течение 30 с при комнатной температуре, после слива воды.

Затем образец обесточивается и подается вода для следующего цикла.

Испытание должно продолжаться в течение 24 часов. После окончания периода испытания, образцы должны пройти испытание электрической прочности и проверку сопротивления изоляции согласно п. 5.2.2 и 5.2.3.

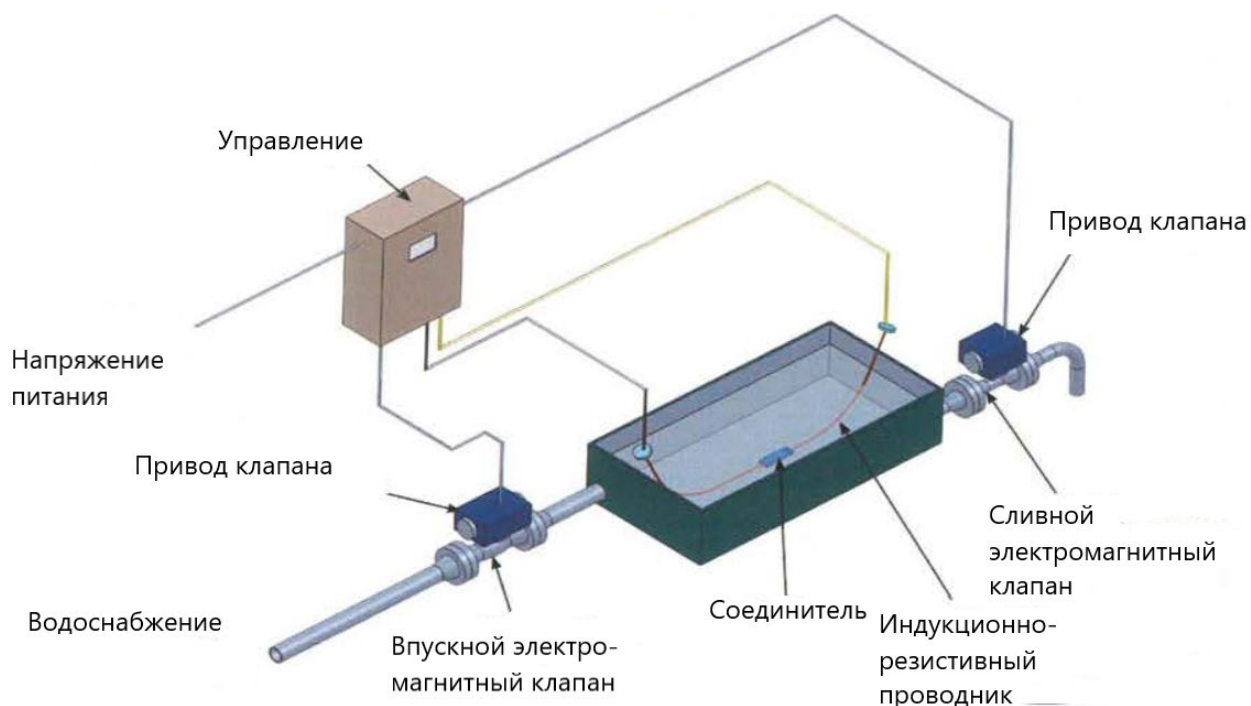


Рисунок 4 - Устройство циркуляции и слива воды

5.2.7.2 Целостность соединений

5.2.7.2.1 Общие требования

Силовые разъемы, соединения и изолированные соединения, за исключением спаянных или сваренных, должны выдерживать все применимые испытания без разрыва проводников, сдвига частей или других повреждений соединений.

Три образца соединения (включая проводник наибольшего, наименьшего и среднего размера), собранные в соответствии с 5.2.7.2.2, должны иметь номинальную прочность, назначенную изготовителем для изолированного индукционно-резистивного проводника при работе при комнатной температуре, проходящей через все соединения. Неизолированные соединения и проводник должны использоваться для испытаний на целостность соединения. Среднее стабилизированное повышение температуры до 50% для каждого соединения, измеренное термопарой (или эквивалентом), непосредственно присоединенной к каждому соединению, должно быть записано в помещении или корпусе без сквозняков с контролируемой температурой для каждого соединения.

5.2.7.2.2 Прочность креплений

Образцы в соответствии с п.5.2.7.2.1 должны быть подвешены в вертикальном положении от рамы испытательной установки. Эти три образца должны быть собраны (смонтированы) в соответствии с инструкцией по монтажу или конструкторской документацией.

Длина ИРП должна быть не менее чем на 76 мм больше, чем высота, указанная в Таблице 6. ИРП должен быть присоединен / прикреплен к испытываемому соединителю. ИРП должен быть пропущен через втулку, а указанный груз должен быть прикреплен (подвешен) к свободному концу ИРП. Образец должен быть жестко / крепко прикреплен к испытательному устройству, как указано на рисунках 5.1 и 5.2. Втулка должна вращаться примерно девять оборотов в минуту, таким образом, чтобы центр втулки мог описывать окружность/круг в горизонтальной плоскости. Круг/окружность должна иметь диаметр 76 мм, а его центр должен быть по вертикали ниже точки крепления соединения.

Продолжительность испытаний должна составлять 30 минут.

Таблица 6 – Параметры устройства для проверки прочности

Конструкция ИРП, мм ²	Диаметр втулки, мм	Высота втулки, мм	Масса груза	
			Медь, кг	Алюминий / Алюмомедь, кг
4	9,5	279	2,3	0,7
6	9,5	279	2,3	0,7
8	9,5	279	3,6	1,4
10	9,5	279	3,6	1,4
13	12,7	298	8,2	4,5
15	12,7	298	8,2	4,5
17	12,7	298	8,2	4,5
20	12,7	298	13,6	6,8
25	14,3	318	13,6	6,8
30	14,3	318	13,6	6,8
35	14,3	318	13,6	6,8
40	15,8	343	22,7	11,4
45	15,8	343	22,7	11,4
50	15,8	343	22,7	11,4

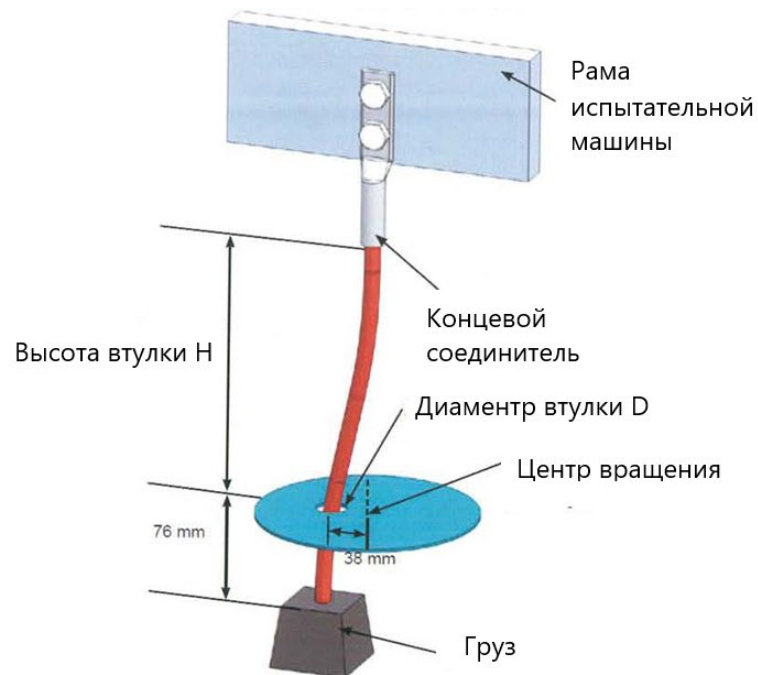


Рисунок 5.1 – Испытательное устройство для проверки прочности креплений концевой соединителя

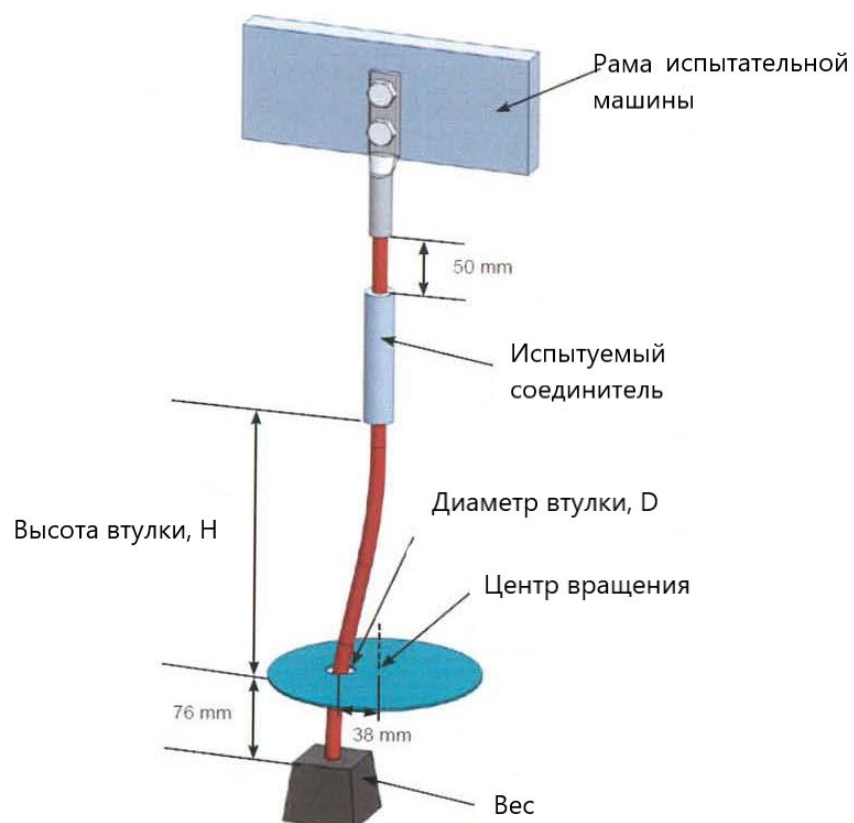


Рисунок 5.2 – Испытательное устройство для проверки прочности соединений

5.2.7.2.3 Испытание соединения на циклическое воздействие максимального тока

После испытаний соединений на прочность, максимально заявленное значение тока ИРП должно быть пропущено через каждое соединение минимум 42 цикла. Каждый цикл должен состоять из периода ВКЛ. 3,5 ч, а затем ВЫКЛ. в течение периода 0.5 ч. Температуры в каждом соединении должны быть зафиксированы/записаны на протяжении всего цикла. Средняя температура, превышающая температуру окружающей среды, должна быть рассчитана в течение последних 2 часов каждого цикла ВКЛ. Среднее значение температуры не должно превышать более чем на 10К значений, зафиксированных в первом и последующих циклах.

5.2.7.2.4 Испытание на нагрев

После испытания на циклическое воздействие максимального тока, каждое соединение должно выдержать испытание на нагрев при непрерывном/постоянном воздействии максимального номинального тока ИРП проводника, а средняя установившаяся температура в любом соединении не должна превышать более чем на 20К значений температуры нагрева, зарегистрированных в п.5.2.7.2.1 для данного соединения.

5.2.7.2.5 Испытание на растяжение

После испытания на нагрев, соединения не должны быть отделены/отсоединены от ИРП при воздействии в течение 1 минуты растягивающего усилия, указанного в таблице 7.

Таблица 7 – Растягивающее усилие

Конструкция ИРП, мм ²	Растягивающее усилие, Н	
	Медь	Алюминий / Алюмомедь
4	356	178
6	356	178
8	401	200
10	401	200
13	445	223
15	445	223
17	445	223
20	623	312
25	623	312
30	712	356
35	801	401
40	801	401
45	890	445
50	890	445

Натяжение должно осуществляться посредством растягивающего устройства или аналогичного, при этом не должно быть рывков или подергиваний во время испытания.

5.2.7.3 Испытания изолированных соединений на удар

5.2.7.3.1 Общие требования

Необходимо подготовить минимальные партии образцов для испытаний на удар при комнатной температуре, а другие — для испытаний на удар при минимальной температуре.

Каждый набор образцов для испытаний на удар должен содержать не менее двух образцов соединения. Каждый образец должен быть репрезентативным для наименьшего размера индукционно-резистивного проводника. Другой образец должен быть репрезентативным для самого большого размера индукционно-резистивного проводника.

Соединения должны быть установлены с минимальным расстоянием 1 м для проводника соответствующего размера и типа на каждой стороне соединения.

5.2.7.3.2 Испытание на удар при комнатной температуре

Образец индукционно-резистивного проводника с соединителем размещают на жесткой плоской стальной пластине (массой не менее 20 кг, примерно 195 мм × 195 мм × 70 мм) и устанавливают под промежуточной деталью из закаленной стали в форме горизонтального цилиндра диаметром 25 мм. Пластина располагается на жесткой подложке, такой, что энергией удара, поглощаемой подложкой, можно пренебречь. Длина цилиндра должна составлять 25 мм с радиусом закругления примерно 5мм (Рисунок 6). При испытании цилиндр размещают на образце так, чтобы его ось проходила поперек образца.

При испытаниях боек массой 1 кг минус 0/+0,01кг должен упасть один раз на горизонтальный цилиндр с высоты 0,7 м минус 0/+0,01м (то есть с ударной нагрузкой 7 Дж).

Немедленно после испытания на ударную прочность проводят испытания электрической изоляции в соответствии с п.5.2.2 и п.5.2.3, при этом стальной цилиндр и боек все еще находятся на образце.

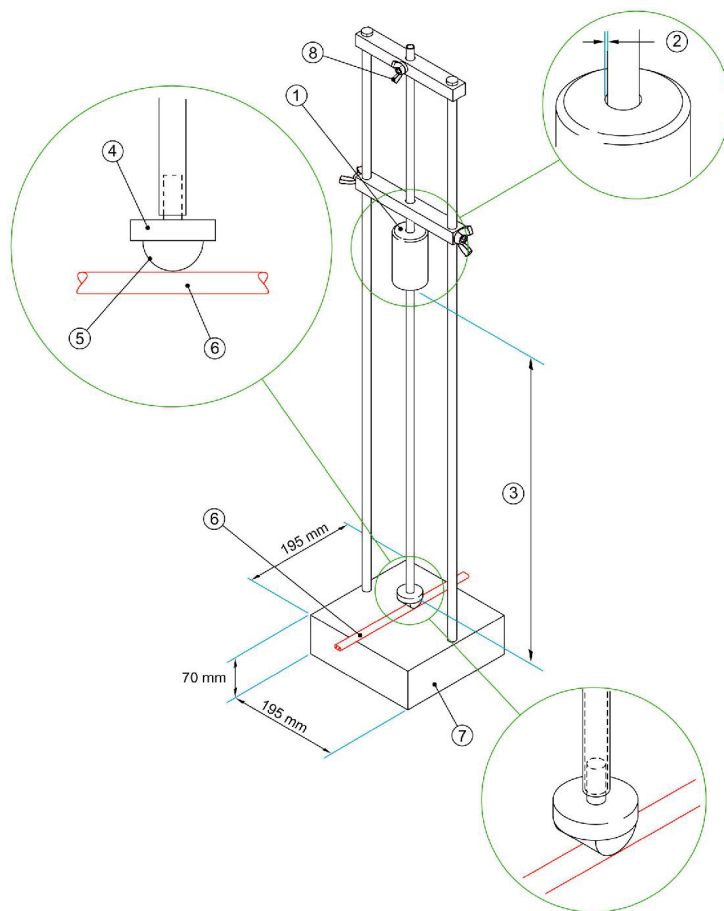


Рисунок 6 – Устройство для проведения испытания на удар при комнатной температуре

Обозначения

1. Стальной молот массой 1,0 кг
2. 1,5 мм зазор между стальным молотом и направляющим стержнем
3. Высота падения измеряется от нижней поверхности стального молота до верхней поверхности промежуточного элемента: 700 мм
4. Промежуточный элемент из закалённой стали
5. Промежуточный элемент имеет длину 25 мм, диаметр 25 мм и оба конца цилиндра имеют радиус скругления 5 мм (относится только к случаю ширины испытательного образца более 25 мм)
6. Испытательный образец. Удару подвергается более плоская сторона некруглых образцов
7. Жёсткая плоская стальная пластина

5.2.7.3.3 Испытание на удар при минимальной температуре

Каждый образец для испытания на удар при минимальной температуре должен быть помещен на жесткую плоскую стальную пластину (массой не менее 20 кг, приблизительно 195 мм x 195 мм x 70 мм). Пластина должна быть расположена на жесткой подложке таким образом, чтобы энергия удара, поглощенная подложкой, была незначительной. Затем сборка должна быть выдержана в течение не менее 4 ч при минимальной температуре установки, указанной изготовителем. Аппарат, используемый для этого испытания, показан на рисунке 7. После кондиционирования образец, находящийся при минимальной температуре установки, должен быть

подвергнут падению цилиндрической стальной пластиной диаметром 50,8 мм с гладко закругленными краями радиусом приблизительно 5 мм, имеющей массу 1,8 кг \pm 0,02 кг и допускающей падение с высоты 0,76 м \pm 0,01 м.

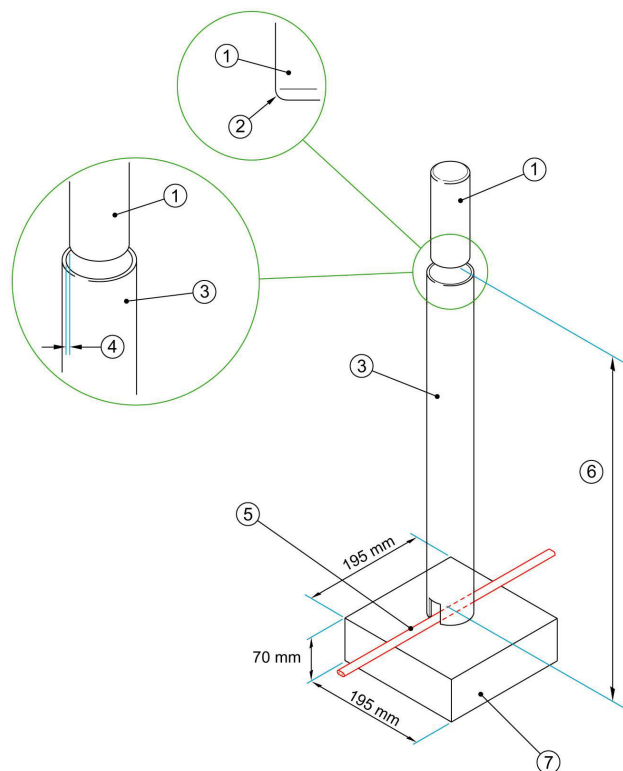


Рисунок 7 – Устройство для проведения испытания на удар при минимальной температуре

Обозначения

- 1 Стальной молот массой 1,8 кг диаметром 50,8 мм
- 2 5 мм радиус скругления нижнего края цилиндрического стального молотка
- 3 Направляющая трубка
- 4 2 мм зазор между стальным молотом и направляющей трубкой
- 5 Испытательный образец. Удару подвергается более плоская сторона некруглых образцов
- 6 Высота падения измеряется от нижней поверхности стального молота до верхней поверхности испытательного образца: 762 мм (или 420 мм для испытания на удар с пониженной энергией)
- 7 Жёсткая плоская стальная пластина

5.2.8 Испытание индукционно-резистивного проводника на тепловую деформацию

Образец длиной 200 мм вместе с испытательным устройством (рисунок 8), состоящим из каркаса с грузом, должен быть помещён в печь с принудительной циркуляцией воздуха. Печь должна быть нагрета до испытательной температуры, которая на 20°C выше номинальной температуры изоляции, и поддерживаться при этой температуре. Испытательное устройство и образец должны быть выдержаны при этой температуре в течение 1 часа. Затем груз с диаметром давящей поверхности 9,5 мм и весом 300 г при температуре печи должен быть помещён на образце ИРП на период времени 1 час. Изоляция ИРП должна быть измерена микрометром до и после

часового приложения груза. Образец изолированного кабеля должен быть измерен следующим образом: Диаметр (D), в миллиметрах, поверх изоляции в отмеченном месте должен быть измерен микрометром. Диаметр (d), в миллиметрах, проводника, также должен быть измерен, и толщина (Т) изоляции должна быть вычислена как:

$$T = \frac{D - d}{2} \quad (2)$$

Характеристика деформации определяется следующим образом:

$$\text{Деформация}(\%) = \left(\frac{T_{\text{начальн}} - T_{\text{конечн.}}}{T_{\text{начальн}}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Измеренная тепловая деформация ИРП не должна превышать 30%.

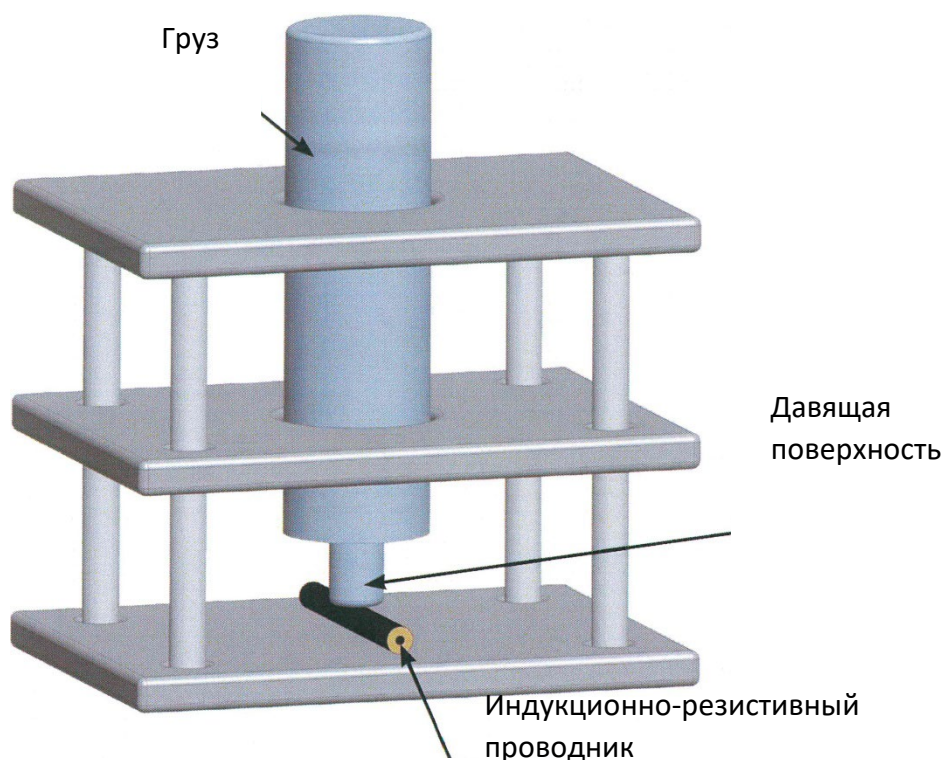


Рисунок 8 –Испытательное устройство для испытания на тепловую деформацию

5.2.9 Испытания номинального напряжения

5.2.9.1 Общие требования

Индукционно-резистивные проводники с номинальным напряжением 2001 В или выше должны быть подвергнуты одному из трех испытаний, описанных в 5.2.9.2 и 5.2.9.3, как указано изготовителем.

5.2.9.2 Испытание номинального напряжения

ПРИМЕЧАНИЕ. Это испытание предназначено, помимо прочего, для индукционно-резистивных проводников с изоляцией из фторполимеров.

Для испытаний берут минимум три 2-метровых образца, каждый смонтированный отдельно в стальной трубе размером 13 мм или больше (рекомендуется труба

размером 32×3) как показано на рисунке 9.

Края трубы должны быть заизолированы. Длина трубы должна быть минимум 1 м. ИРП должен выступать на расстояние не менее 500 мм с каждой стороны. Труба ИРН должна иметь наружный нагреватель и слой теплоизоляции для поддержания максимальной продолжительной температуры воздействия. Три термодатчика должны быть установлены на ИРН на расстоянии $75 \text{ мм} \pm 5 \text{ мм}$ от края с каждой стороны и в центре. Температура всех датчиков должна быть не ниже максимальной температуры непрерывного воздействия во время применения испытательного напряжения.

Испытательное напряжение прикладывается между ИРП и нагревательной трубой. Напряжение должно быть увеличено минимум в 1,5 раза больше чем номинальное. Напряжение поднимается с шагом не менее 100 В/с и не более 200 В/с с поддержанием каждого уровня в течение 1 минуты (*минус 0 / + 5 с*).

Далее напряжение должно быть уменьшено минимум до значения 1,25 от номинального напряжения, со скоростью снижения не менее 100 В/с и не более 200 В/с, и выдержано в течение 1 мин. Значения измеренных частичных разрядов должны быть не более 10 пКл в течение непрерывного периода 1 мин (*минус 0 / + 5 с*) при максимальной температуре непрерывного воздействия. Частичный разряд должен быть измерен с помощью счетчика частичного разряда.

Примечание – Измерительная схема и информация об оборудовании для измерения частичного разряда должны соответствовать стандарту ГОСТ Р 55191-2012 [1].

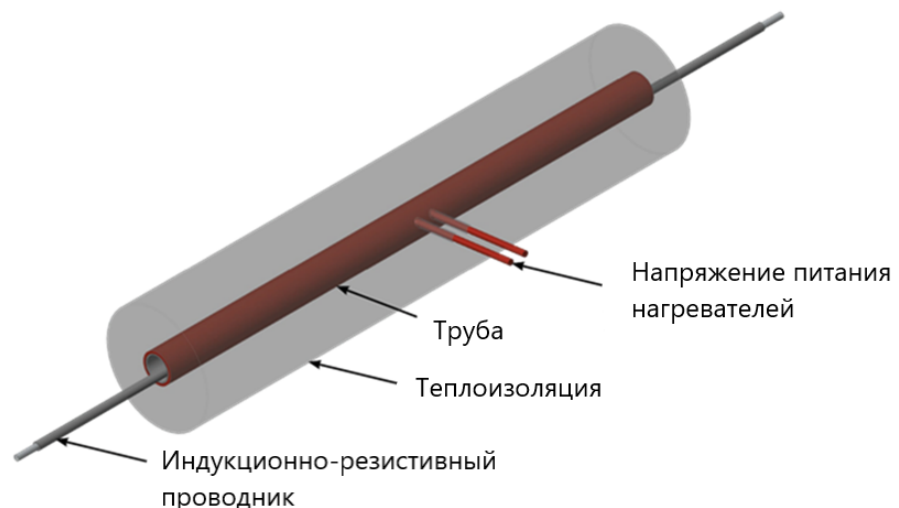


Рисунок 9 - Установка для измерения частичных разрядов

5.2.9.3 Дополнительное испытание на U-образный изгиб

Примечание – Данное испытание предназначено, помимо прочего, для диэлектриков на основе полиолефинов и кремнийорганической резины в качестве изоляции ИРП.

Это испытание предназначено для оценки способности изоляции ИРП выдерживать частичный разряд по отношению к ИРН. Это испытание можно применять вместо испытания 5.2.9.2.

Необходимо подготовить 4 образца ИРП длиной не менее 1,5 м каждый.

Два образца должны быть согнуты в своих серединах на 180° вокруг оправки с диаметром, равным шестикратному внешнему диаметру изолированного ИРП для размеров ИРП от 8 мм^2 до 40 мм^2 , или восьмикратному внешнему диаметру для более крупных изолированных ИРП. Стороны каждого образца U-образного изгиба должны поддерживаться отдельно. Центр каждого изгиба должен опираться на плоскую горизонтальную металлическую пластину, которая заземлена, как показано на рисунке 10.

Таблица 8 – Параметры испытания на U-образный изгиб

Номинальное напряжение ИРП	Испытательное напряжение	Продолжительность испытания
2001-2400 В	13 кВ	6 часов
2401-5000 В	15 кВ	100 часов

Между ИРП и металлической пластиной в течение времени, указанного в таблице 8, должно быть приложено переменное напряжение частотой от 48 Гц до 62 Гц с продолжительностью согласно Таблице 8.

Считается, что ИРП прошел испытание, если ни один из первых двух образцов не вышел из строя. Если какой-либо образец выходит из строя, испытание должно быть повторено на оставшихся двух образцах ИРП. Индукционно-резистивный проводник считается непрошедшим испытание, если выходит из строя один из оставшихся двух испытуемых образцов.

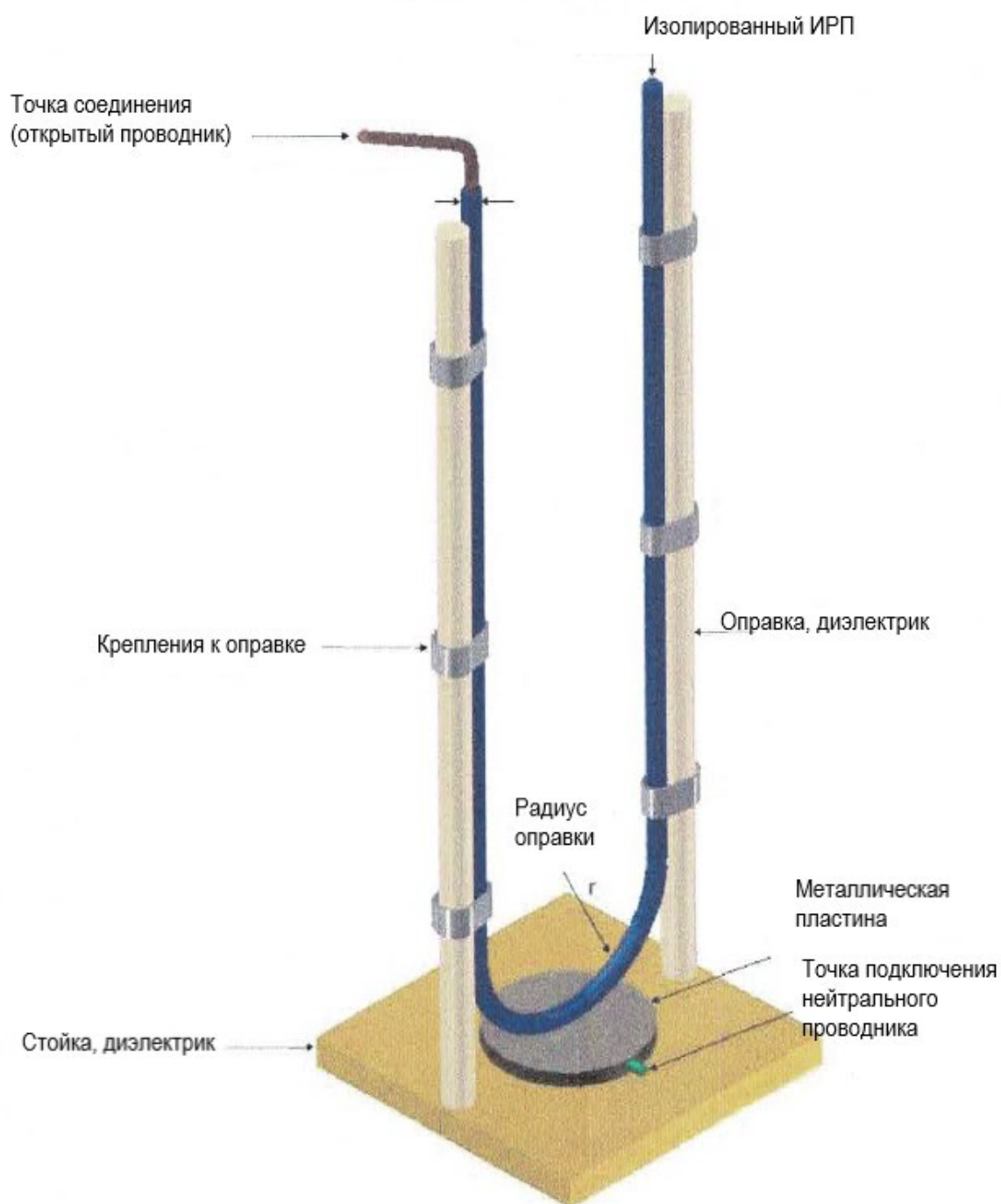


Рисунок 10 – U-образное крепление

5.2.10 Испытание на степень защиты питающих, концевых и соединительных коробок

По степени защиты от внешних воздействующих факторов соединительные и концевые коробки должны соответствовать не ниже IP66, питающие коробки – не ниже IP65.

5.2.11 Испытание сопротивления проводника

Сопротивление индукционно-резистивного проводника, должно быть проверено.

Измеренное сопротивление постоянному току или сопротивление на единицу длины при указанной температуре должно быть в пределах заявленного производителем допуска.

5.2.12 Проверка выходной мощности и импеданса системы

5.2.12.1 Общие требования

Производитель должен продемонстрировать способность прогнозировать выходную мощность и сопротивление СКИН-системы путем проведения испытаний на репрезентативных установках и сравнения результатов с расчетными прогнозами. Аппаратура, описанная в 5.2.12.2, должна использоваться путем применения либо метода испытаний в 5.2.12.3, либо в 5.2.12.4.

5.2.12.2 Требование к оборудованию

Тестовый стенд длиной по крайней мере 5 м должен быть построен в соответствии с инструкциями изготовителя.

Тестовый стенд должен быть смонтирован на 75 мм или большего размера стальной трубе и теплоизолирован слоем изоляции толщиной 38 мм согласно выбору производителя. Выбор комбинации нагревательной трубки и ИРП должен быть представительным для типичных инсталляций СКИН-системы. Необходимо выбрать три типичных мощности для обогрева.

Тестовый стенд должен включать в себя соединительную и концевую коробки. Датчики температуры должны использоваться для отслеживания температуры трубы, нагревательной трубки ИРН и оболочки ИРП в предполагаемых горячих областях. Должен иметься силовой трансформатор со многими отводами, способный подавать максимальный номинальный ток для выбранной комбинации ИРН/ ИРП.

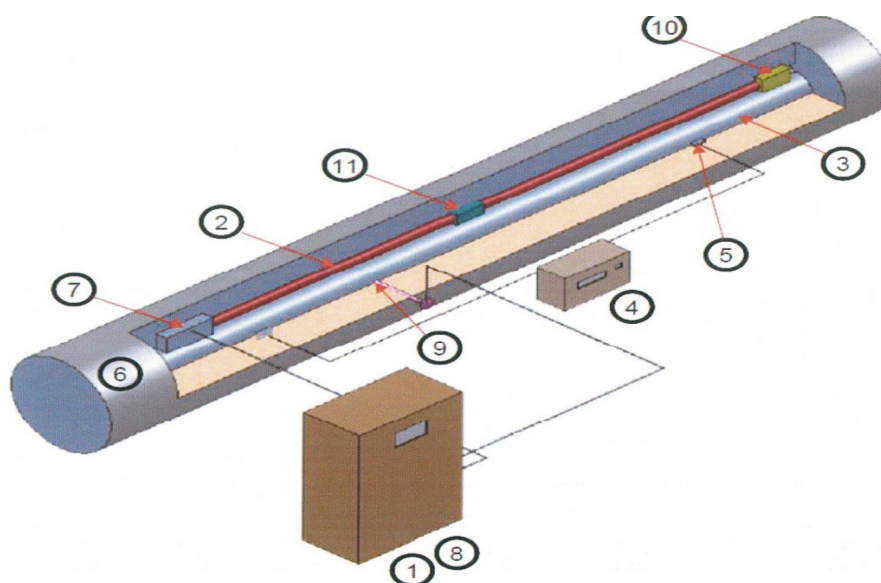


Рисунок 11 - Установка контроля за мощностью и импедансом (стационарный метод)

1. Управляемый источник напряжения
2. Нагреватель ИРН с ИРП
3. Обогреваемая труба 75 мм или более
4. Температурный индикатор
5. Термопары
6. Теплоизоляция, минимальная толщина 38 мм и плотность около 3,25 кг/м³
7. Питающая коробка
8. Регулятор температуры
9. Температурный датчик
10. Концевая коробка
11. Соединительная коробка

5.2.12.3 Стационарный метод

Рабочее напряжение, ток, коэффициент мощности, длина и температура индукционно-резистивного нагревателя, температура оболочки ИРП, и температура обогреваемой трубы должны записываться при трёх уровнях мощности и трёх уровнях температуры обогреваемой трубы (достигаемых путём изменения теплотерь через изоляцию или проведением измерений во время разогрева), которые охватывают нормальный проектный диапазон мощности / температуры поддержания нагревательной трубы ИРН / ИРП. Измеренная выходная мощность и импеданс СКИН-системы на единицу длины должны находиться в пределах 10% от рассчитанного импеданса при измеренной температуре нагревательной трубы ИРН.

5.2.12.4 Метод потока

Должна использоваться установка, описанная на рисунке 12. Технологическая труба должна быть объединена в систему циркуляции жидкости с контролируемой температурой. Рабочее напряжение, ток, коэффициент мощности, тепловая мощность, температура тепловой трубки, температура оболочки ИРП и температура технологической трубы должны быть зарегистрированы на трех уровнях мощности и при трех различных температурах трубы, которые охватывают номинальный расчетный диапазон мощности / температуры поддержания нагревательной трубы ИРН / ИРП. Измеренная выходная мощность и импеданс СКИН-системы на единицу длины должны находиться в пределах 10% от расчетного / предполагаемого сопротивления при измеренной при измеренной температуре нагревательной трубы ИРН.

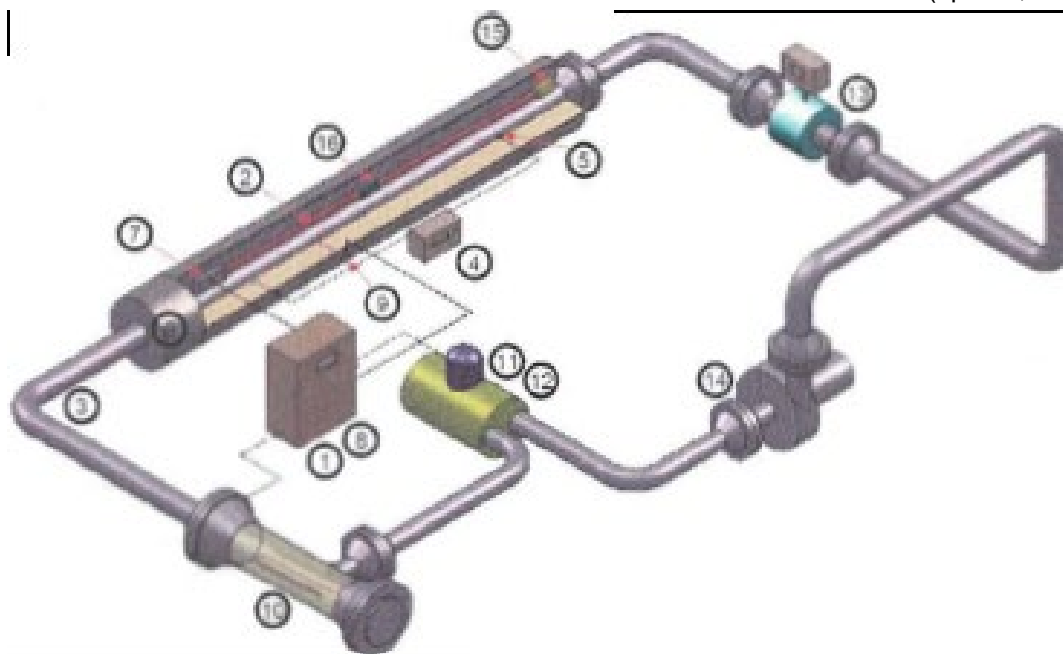


Рисунок 12 - Установка контроля за мощностью и импедансом (метод потока)

1. Управляемый источник напряжения
2. Нагреватель ИРН с ИРП
3. Обогреваемая труба 75 мм или более
4. Температурный индикатор
5. Термопары
6. Теплоизоляция, минимальная толщина 38 мм и плотность около 3,25 кг/м³
7. Питающая коробка
8. Регулятор температуры
9. Температурный датчик
10. Встроенный нагреватель
11. Теплообменник
12. Охладитель (Чиллер)
13. Расходомер
14. Насос
15. Концевая коробка
16. Соединительная коробка

5.2.13 Проверка температур оболочки

Производитель должен продемонстрировать способность прогнозировать температуры оболочки проводника, обусловленные скин-эффектом, путем проведения испытаний на экспериментальных установках и сопоставления результатов с расчетными прогнозами. Должны использоваться приборы, описанные в 5.2.12.2. Рабочее напряжение, ток, коэффициент мощности, длина нагревательной полосы, температура нагрева, температура оболочки ИРП и температура изделия должны быть зарегистрированы при трех различных уровнях мощности. Допустимые значения температуры поверхностных слоев установленного ИРП не должны превышать рассчитанные / прогнозируемые производителем значения осевой температуры в соответствии с п 4.4 и Приложением А.

5.3 Приемо-сдаточные испытания

5.3.1 Общие требования

Эти испытания должны проводиться производителем вовремя или после

производства для проверки технической документации производителя.

5.3.2 Испытание на определение электрического сопротивления проводника

Измеренное сопротивление постоянному току на единицу длины ИРП при указанной температуре должно находиться в пределах допуска, заявленного изготовителем.

5.3.3 Испытания на электрическую прочность проводника

5.3.3.1 Общие требования

Интегрированный токопроводящий элемент должен выдерживать испытание на электрическую прочность (переменного или постоянного тока) в соответствии с 5.3.3.2 или испытание на диэлектрическую прочность при переменном токе в соответствии с 5.3.3.3 или испытание на диэлектрическую прочность при постоянном токе в соответствии с 5.3.3.4, без отказа.

5.3.3.2 Испытание на электрическую прочность проводника

Во время работы каждая длина ИРП должна выдерживать, без отказа, испытание на электрическую прочность в соответствии с таблицей 9.

Таблица 9 – испытательное напряжение

Номинальное напряжение ИРП, В	Испытательное напряжение переменного тока ,кВ	Испытательное напряжение постоянного тока ,кВ
0-600	10	16
601-2000	15	22,5
2001-5000	18	-

5.3.3.3 Испытание электрической прочности проводника на переменном токе

ИРП, за исключением концов, должен быть погружен в воду при комнатной температуре не менее чем на 6ч. Между проводником и водой прикладывается напряжение переменного тока, указанное в Таблице 10. Напряжение на испытательном этапе должно быть в основном синусоидальным с частотой от 45 Гц до 65 Гц. Начальное испытательное напряжение должно быть равно номинальному напряжению ИРП. Номинальное напряжение должно быть приложено со скоростью повышения не менее 100 В/с, но не более 200 В/с.

Продолжительность испытания должна составлять 5 мин.

Таблица 10 – Испытательное переменное напряжение

Номинальное рабочее напряжение ИРП, В	Испытательное переменное напряжение, кВ
0-600	5,5
601-2000	7,0
2001-3000	11,0
3001-5000	13,0

5.3.3.4 Испытание электрической прочности проводника на постоянном токе

ИРП, за исключением концов, должен быть погружен в воду при комнатной температуре не менее чем на 6 часов. Начальное испытательное напряжение должно быть равно 3,0 номинального напряжения переменного тока ИРП. Постоянное испытательное напряжение, указанное в Таблице 11, должно быть приложено между проводником и водой.

Продолжительность испытания должна составлять 5 минут.

Таблица 11 – Испытательное напряжение

Номинальное рабочее напряжение ИРП, В	Испытательное постоянное напряжение, кВ
0-600	15
601-2000	22,5
2001-3000	25
3001-5000	30

5.3.4 Испытание на гелики, агломераты, загрязняющие вещества и пустоты (для изолированного проводника с поверхностным эффектом, рассчитанного на 2001 В переменного тока или выше)

Минимум один образец ИРП длиной 50 мм в начале и конце каждого производственного цикла должны быть разрезаны по спирали или другим удобным способом для получения тонких образцов изоляции. Пластины (или витки спирали) должны быть разрезаны толщиной приблизительно 0,635 мкм. Площадь двадцати последовательных пластин (или эквивалентных им витков) должна быть исследована с помощью микроскопа с 15-кратным увеличением в отраженном свете.

Исследованные образцы не должны иметь:

- 1) Каких-либо пустот размером более 0,102 мм;

- 2) Каких-либо загрязнения размером более 0,254 мм; и
- 3) Гелей и агломератов размером более 0,254 мм в наибольшем измерении.

6 Требования к маркировке

6.1 Общие требования

На поверхность компонентов СКИН-системы должна быть нанесена разборчивая и стойкая маркировка в соответствии с ГОСТ 31610.0.

Маркировка дополнительно должна содержать следующую информацию согласно п.п. 6.2-6.4 настоящего ГОСТ.

6.2 Маркировка индукционно-резистивного проводника

Маркировка ИРП дополнительно к требованиям п.6.1 должна содержать:

- 1) Фактическую длину ИРП, намотанного на барабане (катушке);
- 2) Наименование изготовителя, торговую марку или признанный идентификационный символ;
- 3) Номер по каталогу, номер для заказа или модель;
- 4) Максимальное рабочее напряжение переменного тока;
- 5) Требования ГОСТ 31610.0 к указанию в маркировке температуры окружающей среды не применяются, но на ИРП или системах на основе СКИН-эффекта должны быть маркированы минимальная температура при монтаже;
- 6) Серийный номер или номер партии (можно заменить месяцем и годом изготовления, датой маркирования или равноценными данными);
- 7) Обозначение вида взрывозащиты, используемого для индукционно-резистивного проводника должно быть ""; типичная строка маркировки - "Ex IIC T4 Gb" и "Ex IIIC T135°C Db", что не исключает использования дополнительных видов взрывозащиты для компонентов, которые предполагается поставить или рекомендованных для применения с электронагревателями.

6.3. Маркировка компонентов СКИН-системы, собираемых на месте

Маркировка компонентов СКИН-системы, собираемых на месте дополнительно к требованиям п.6.1 должна содержать:

- 1) Наименование изготовителя, торговую марку или признанный идентификационный символ;
- 2) Номер по каталогу, номер для заказа или модель;
- 3) Месяц и год изготовления, дату маркирования, серийный номер или эквивалентные данные;
- 4) Действующие требования к окружающей среде, например, степень защиты от внешних воздействий IP, класс взрывоопасной зоны.

Если площадь поверхности компонентов мала или поверхность не позволяет наносить на нее разборчивую маркировку, маркировку допускается наносить на тару малого компонента, а не на компонент.

6.4. Маркировка питающих, соединительных и концевых коробок

Маркировка питающих, соединительных и концевых коробок, входящих в состав СКИН-системы дополнительно к требованиям, указанным в 6.1 должна содержать:

- 1) Наименование изготовителя, торговую марку или признанный идентификационный символ;
- 2) Номер по каталогу, номер для заказа или модель;
- 3) Месяц и год изготовления, дату маркирования, серийный номер или эквивалентные данные;
- 4) Действующие требования к окружающей среде, например, степень защиты от внешних воздействий IP, класс взрывоопасной зоны;
- 5) Обозначение вида взрывозащиты;
- 6) Предупредительную надпись: «ОТКРЫВАТЬ, ОТКЛЮЧИВ ОТ СЕТИ».

7. Требования к документации

7.1. Общие требования

Изготовитель должен предоставить специальные инструкции по монтажу для компонентов системы промышленного обогрева на основе скин-эффекта и требования к сохранению документации. Инструкции для разных компонентов системы могут быть общими, если инструкции по заделке/монтажу идентичны. В инструкциях должно быть четко указано, к каким изделиям и местам монтажа они относятся.

Любые специальные условия безопасного применения, включая условие 7.4, перечисление е), должны быть указаны в инструкциях по монтажу и сертификате соответствия, а маркировка изделия должна содержать знак "X".

Документы должны включать в себя:

- 1) информацию о защите цепи согласно 4.6., в зависимости от конкретного случая;
- 2) требования к проектированию схемы (см. 7.2);
- 3) требования к документации на систему промышленного обогрева на основе скин-эффекта (см. 7.3);
- 4) инструкции по монтажу системы промышленного обогрева на основе скин-эффекта (см. 7.4);
- 5) инструкции по вводу в эксплуатацию (см. 7.5);
- 6) инструкции по техническому обслуживанию, ремонту или модификации (см. 7.6).

7.2. Требования к проектированию СКИН-системы

Требования к проектированию СКИН-системы должны включать в себя следующее или эквивалентное заявление: "Надзор за проектированием системы промышленного обогрева на основе скин-эффекта должен осуществлять персонал, обладающий знаниями в области систем на основе скин-эффекта и методов проектирования оборудования для применения во взрывоопасных средах в соответствии с указаниями изготовителя".

7.3. Требования к документации СКИН-систем

7.3.1. Общие требования

Требования должны включать в себя следующее или эквивалентное заявление: "Документацию всех схем систем промышленного электрообогрева на основе скин-эффекта необходимо хранить в течение всего срока эксплуатации системы".

Документация системы промышленного обогрева на основе скин-эффекта должна включать в себя по меньшей мере информацию, указанную в 7.3.2, 7.3.3 или 7.3.4, в зависимости от того, что более соответствует конкретным обстоятельствам.

7.3.2. СКИН-системы, испытываемые по методу классификации изделий

Документация должна включать следующую информацию:

- 1) обозначение рабочего тока и напряжения индукционно-резистивного нагревателя;
- 2) Длину индукционного-резистивного нагревателя;
- 3) Габаритные размеры, материал и количество индукционно-резистивного нагревателя(ей);
- 4) Габаритные размеры трубопровода, емкости или оборудования;
- 5) Тип, размер и толщину тепловой изоляции;
- 6) Требования тепловой изоляции в части атмосферных параметров;
- 7) Марка или идентификационный номер индукционно-резистивного проводника;
- 8) Класс температуры или максимальную температуру оболочки/температуру поверхности, в зависимости от конкретной ситуации;
- 9) Минимальную и максимальную температуры окружающей среды;
- 10) Минимальную температуру монтажа системы промышленного электрообогрева на основе скин-эффекта;
- 11) Температуру, которую необходимо поддерживать, или максимальную температуру технологического процесса/воздействующую температуру;
- 12) Обозначение схем индукционно-резистивного нагревателя(ей) и требования к защите цепей питания;

13) Коэффициент трассы.

7.3.3. СКИН-системы на основе стабилизированной конструкции

Документация дополнительно к пунктам согласно п.7.3.2. должна включать следующую информацию:

1) Максимальную температуру объекта.

7.3.4. СКИН-системы на основе регулируемой конструкции

Документация дополнительно к п. согласно п.7.3.2. должна содержать следующую информацию:

- 1) Местонахождение датчика регулятора температуры/ограничителя температуры на трубе / объекте;
- 2) Подробную информацию о монтаже датчика в соответствии с 4.7.3, перечисления а), b) и c);
- 3) Уставку регулятора температуры / ограничителя температуры;
- 4) Информацию для сигнализации и контроля отказов в соответствии с 4.7.3.3.

7.4. Инструкции по монтажу СКИН-системы

1) Предупредительную надпись: «Пригоден для применения с...» (или эквивалентное) и перечисление приемлемых индукционно-резистивных нагревателей и проводников или соединителей в зависимости от конкретной ситуации;

2) предупредительную надпись: «Для каждой цепи необходима защита от замыкания на землю»;

3) предупредительную надпись: «Отключить все силовые цепи перед монтажом или обслуживанием»;

4) предупредительную надпись: «Концы нагревательных элементов и компонентов системы должны быть сухими до и во время монтажа»;

5) для компонентов системы, предназначенных для использования в условиях низкого риска ударных нагрузок и/или деформации, предупредительную надпись: "Предупреждение! Не применять в условиях высокого риска механических повреждений". При необходимости должна быть предупредительная надпись: "Предупреждение! Не допускается снимать защитное покрытие и эксплуатировать распределенные электронагреватели при его отсутствии";

6) предупредительную надпись (или эквивалентное указание) для компонентов системы: «Подключить электропроводящее покрытие компонентов системы к соответствующему зажиму заземления»;

7) предупредительную надпись (или эквивалентное указание): «О применении нагревательных элементов необходимо предупреждать установкой предупредительных знаков или маркировок в соответствующих местах и/или с

небольшими интервалами вдоль цепи»;

8) требования к испытаниям на месте монтажа, записанные в журнале установки системы промышленного обогрева на основе скин-эффекта.

9) следующую предупредительную надпись (или эквивалентную): «Сопротивление изоляции между индукционно-резистивным проводником и ферромагнитной трубой должно быть измерено и записано после установки и не должно быть меньше (указано изготовителем) МОм»

10) следующие предупредительные надписи (или эквивалентные): «Персонал, осуществляющий монтаж и испытание систем промышленного электрообогрева на основе скин-эффекта, должен иметь соответствующую подготовку по всем специальным методам монтажа и испытаний. Монтаж следует осуществлять под надзором квалифицированного специалиста»;

11) любые особые требования;

12) минимальный радиус изгиба;

13) минимальную температуру при монтаже.

7.5. Инструкции по вводу в эксплуатацию СКИН-системы

Эти инструкции должны содержать требование о том, что параметры распределенной электронагревательной системы (как указано в 7.3.2-7.3.4) должны быть проверены при вводе в эксплуатацию.

7.6. Инструкции по техническому обслуживанию, ремонту или модификации СКИН-системы

Инструкции должны включать в себя следующую информацию:

1) предупредительную надпись: «Предупреждение! Необходимо изучить инструкции к системе промышленного электрообогрева на основе скин-эффекта, прежде чем приступить к ее техническому обслуживанию/ремонту/модификации»;

2) предупредительную надпись (или эквивалентную): «После технического обслуживания/ремонта/ модификации следует проверить работу устройства защиты от замыкания на землю для каждой цепи»;

3) предупредительную надпись (или эквивалентную): «При срабатывании устройств защиты от замыкания на землю или максимальной токовой защиты устройство не должно возвращаться в исходное положение, пока квалифицированный персонал не определит причину срабатывания»;

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Методы проверки конструкции индукционно-резистивного нагревателя с ИРП (обязательное)

А.1 Общие требования

Определение температуры системы, в частности температуры оболочки в наиболее неблагоприятных условиях, имеет решающее значение для ИРП в случае регулируемой и стабилизированной конструкции. Изготовитель должен гарантировать правильный расчет температуры СКИН-системы во всем диапазоне параметров, на которые распространяется сертификация, и подтверждать свою способность правильно выполнять расчеты проведением испытаний и сравнением итоговых результатов с расчетами, выполненными при проектировании системы.

Методы расчета основаны на формулах теплопередачи, которые при необходимости корректируются для учета эмпирических данных и, как правило, включают коэффициенты безопасности.

В настоящем приложении приведены формулы и требования, которые необходимо использовать изготовителям при проектировании СКИН-систем.

А.2 Методы проектирования и выбор индукционно-резистивных нагревателей

Методы проектирования должны учитывать критерии выбора РНЭ для оптимизации определения максимально возможной температуры СКИН-системы в худших условиях эксплуатации согласно настоящему стандарту. Температура может быть снижена, например, с помощью корректировки параметров системы, использования нескольких РНЭ для снижения мощности на единицу длины выбора или с помощью выбора системы регулирования температуры.

Максимальная допустимая температура для ИРН должна быть выше, чем максимальная возможная температура объекта (которая может быть выше нормальной рабочей температуры).

Согласно 4.7.2, максимальную температуру ИРН определяют методом классификации изделий и расчетом стабилизированной конструкции или регулируемой конструкции. Меры по ограничению температуры и стабилизированная конструкция могут быть использованы при эксплуатации СКИН-системы в более узком диапазоне температур технологического процесса. Требования для стабилизированной и регулируемой конструкций одинаковы и в обоих случаях предусматривают точное определение потерь тепла и максимальных значений температуры СКИН-системы и оболочки ИРП. Для стабилизированной конструкции дополнительно требуется оценка

баланса энергии в системе.

A.3 Расчет стабилизированной конструкции

В основе стабилизированной конструкции лежит принцип определения максимальной температуры объекта и температуры оболочки ИРП в худших условиях эксплуатации. Это расчет условий равновесия, которые возникают, когда количество подводимого тепла равно потере тепла СКИН-системой. Набор худших условий включает:

- а) максимальную температуру окружающей среды, которая, как правило, принимается на уровне 40°C, если не указано иное;
- б) отсутствие воздушных потоков (неподвижный воздух);
- с) использование умеренного или минимального значения коэффициента теплопроводности теплоизоляции;
- д) отсутствие температурного регулирования по проекту или ввиду моделирования отказа температурного реле;
- е) РНЭ работает при напряжении, превышающем установленное рабочее напряжение на 10%;
- ф) предполагается, что РНЭ работает на верхнем пределе производственного допуска или при минимальном удельном сопротивлении для РНЭ;
- г) максимальную выходную температуру объекта или максимальную температуру равновесия процесса, если она выше.

Этот набор обстоятельств графически проиллюстрирован на рисунке А.2. Испытание для стабилизированной конструкции определено в 5.2.13. Обычно максимальная температура оболочки ИРП рассчитывается по формулам, полученным из оценки эмпирических данных, или с помощью теоретического подхода, описанного в А.4. В качестве альтернативы могут использоваться программы проектирования, которые рассчитывают максимальную температуру ИРП на основе этих параметров неблагоприятного случая.

A.4 Характеристики индукционно-резистивного нагревателя и условия равновесия

В зависимости от назначения может потребоваться оценка системы в условиях теплового равновесия. Типичными примерами являются СКИН-системы без управления и СКИН-системы с управлением по температуре окружающей среды. На рисунке А.1 показаны примеры кривых выходной мощности для характеристик с небольшим наклоном ПТК (положительный температурный коэффициент) типичного ИРН. Линия тепловых потерь представляет условия, которые возникают при самой

низкой температуре окружающей среды. Типичный ИРН с небольшим наклоном ПТК поддерживает обогреваемый объект при самой низкой температуре ($\sim 28^{\circ}\text{C}$).

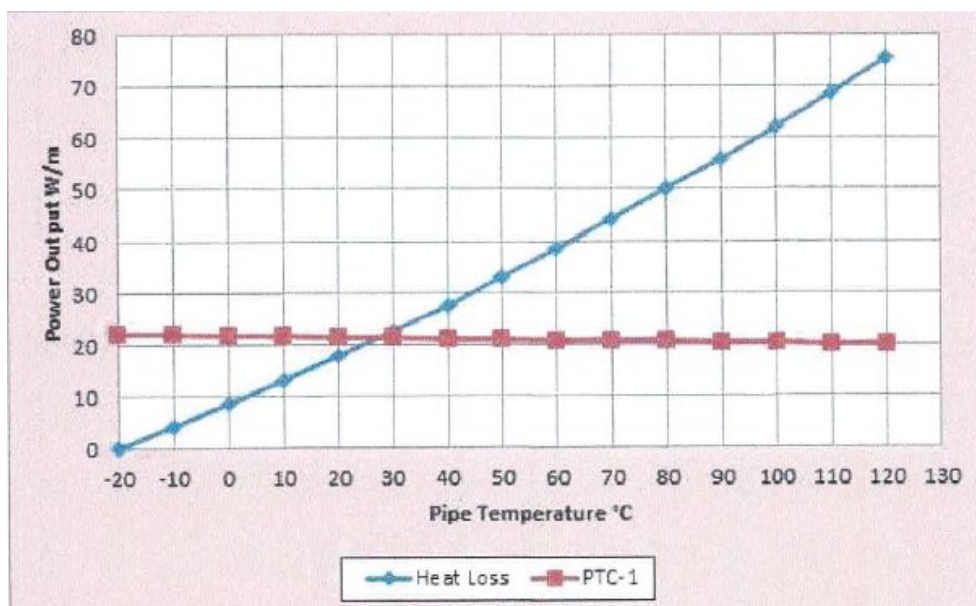


Рисунок А.1 - Условия равновесия для поддержания температуры объекта

На рисунке А.2 показан тот же пример, но с точки зрения оценки верхних пределов. В этом случае линия тепловых потерь сдвигается в сторону самой высокой возможной температуры окружающей среды, и точки пересечения показывают поддерживаемую температуру и относительную выходную мощность в этих условиях. Небольшая выходная кривая ПТК типичного ИРН теперь имеет более высокую температуру поддержания, чем раньше ($\sim 78^{\circ}\text{C}$), но уровень выходной мощности снизился ($1,5 \text{ Вт/м}$) из-за наклона выходной кривой. Этот же подход может быть использован при оценке верхних предельных рабочих условий для стабилизированного подхода к проектированию.

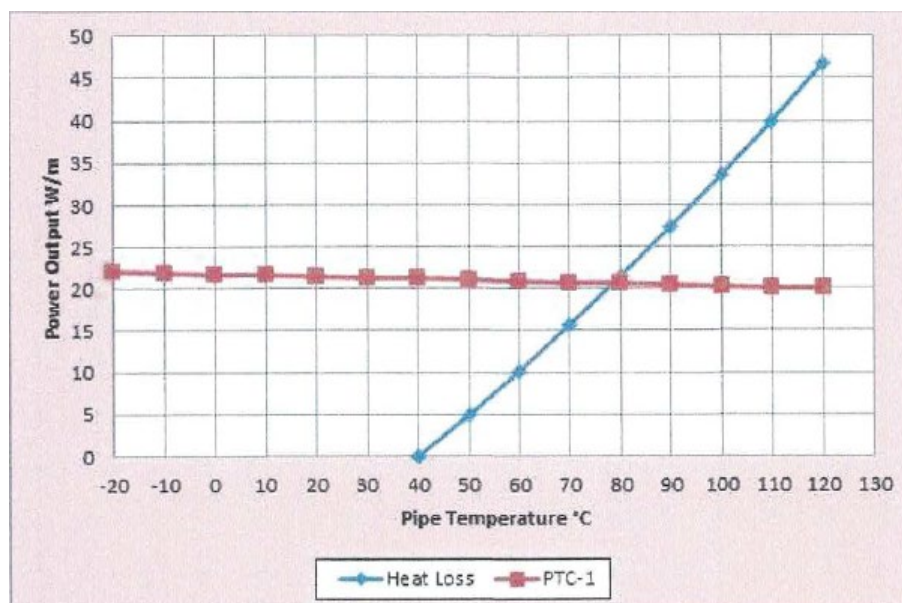


Рисунок А.2 - Условия равновесия для оценки верхнего предела

Уровни выходной мощности различных ИРН должны указываться производителем в документах к изделиям и/или в программе расчета. В большинстве случаев кривые выходной мощности с ПТК для ИРН определяются на основе эмпирических данных с помощью испытательного оборудования, используемого в испытании согласно 5.2.12.

Выходную мощность ИРН, как правило, определяют по их электрическим параметрам по формуле (A.1).

$$Q_{\text{sr}} = \left(\frac{V^2}{Z \times l} \right) \times PF \quad (\text{A.1})$$

Где,

- Q_{sr} - выходная мощность ИРН, Вт/м;
 V - напряжение системы, В;
 Z - удельное сопротивление комбинации ИРП и тепловой трубы, Ом/м;
 l - длина ИРН, м;
 PF - коэффициент мощности.

Удельное сопротивление РНЭ является функцией рабочей температуры ИРП и ИРН и определяется эмпирическим путем или с помощью численного моделирования.

Важно понимать, что для успешной установки СКИН-систем должны быть соблюдены следующие характеристики:

а) выходная мощность ИРН должна быть больше, чем потеря тепла системой, включая соответствующий коэффициент безопасности. Этого можно достичь при установке одного ИРН с соответствующей выходной мощностью с его укладкой в несколько рядов или по спирали, если необходимо поддерживать выходную мощность на максимально низком уровне;

б) потенциальные отклонения напряжения или другие изменения параметров системы во времени должны быть определены и компенсированы коэффициентом безопасности;

с) верхний предел температуры системы должен быть оценен для тех способов, при применении которых точность температуры процесса очень важна или которые имеют широкий диапазон температур окружающей среды, или для систем, не обладающих возможностью регулирования или имеющих только датчики контроля температуры окружающей среды.

A.5 Расчеты потерь тепла

Для определения фактических потерь тепла для данного набора условий, требуется полная спецификация изоляции, включая теплопроводность изоляции при нескольких средних температурах, тип указанного погодного барьера, размер и толщину изоляции, желаемую температуру поддержания трубы, а также температуру окружающей среды и ветровые условия. Во многих случаях одномерная модель радиального теплового потока является репрезентативной для потерь тепла, рассчитанных в СКИН-системах. Если изоляция имеет тот же размер, что и труба (т. е. вспененная на месте или изоляция плотно прилегает к тепловой трубке), а толщина изоляции уменьшается непосредственно над тепловыми трубками или если тепловая трубка большая по сравнению с размером трубы, может потребоваться более сложная многомерная модель теплового потока для установления потерь тепла.

Учитывая эти параметры и предполагая одномерную модель радиального теплового потока, потери тепла для труб и трубопроводов можно оценить с помощью уравнения (A.2):

$$q = \frac{(T_p - T_a)}{\frac{1}{\pi D_1 h_1} + \frac{\ln(D_2/D_1)}{2\pi k_1} + \frac{\ln(D_3/D_2)}{2\pi k_2} + \frac{1}{\pi D_3 h_{co}} + \frac{1}{\pi D_3 h_o}} \quad (A.2)$$

Где,

- q - тепловые потери на единицу длины трубы, Вт/м;
- T_p - температура, которую необходимо поддерживать, °C;
- T_a - минимальная расчетная температура окружающей среды, °C;
- D_1 - внутренний диаметр внутреннего слоя изоляции, м;
- D_2 - внешний диаметр внутреннего слоя изоляции, м (внутренний диаметр внешнего слоя изоляции при его наличии);
- D_3 - внешний диаметр внешнего слоя изоляции (при его наличии), м;
- k_1 - коэффициент теплопроводности внутреннего слоя изоляции, измеренный при средней температуре, Вт/м·K;
- k_2 - коэффициент теплопроводности внешнего слоя изоляции (при его наличии), измеренный при средней температуре, Вт/м·K;
- h_1 - коэффициент теплопередачи в воздушной прослойке (при ее наличии) между поверхностью трубопровода и внутренней поверхностью теплоизоляции, Вт/м·K;
- h_{co} - коэффициент теплопередачи в воздушной прослойке (при ее наличии) между поверхностью трубопровода и внутренней поверхностью теплоизоляции, Вт/м·K;
- h_o - коэффициент теплопередачи от поверхности климатического барьера к окружающей среде, Вт/м·K. Типичные значения при теплоотдаче в воздух колеблются в пределах от 5 до 50 Вт/м·K для применения при температурах ниже 50°C.

Следуя тому же процессу и используя одномерную модель теплового потока, потери тепла для резервуаров можно оценить с помощью уравнения (A.3):

$$q = \frac{(T_p - T_a)}{\frac{1}{h_i} + \frac{b_1}{k_1} + \frac{b_2}{k_2} + \frac{1}{h_{\infty}} + \frac{1}{h_o}} \quad (\text{A.3})$$

Где,

- q - тепловые потери на единицу площади резервуара, Вт/ м²;
 b_1 - толщина внутреннего слоя изоляции, м;
 b_2 - толщина внешнего слоя изоляции (при его наличии), м.

Другие термины определены в уравнении (A.2).

Более подробная информация о потерях тепла резервуарами приведена в ГОСТ 31610.30-2.

Для удобства выбора, поставщики систем электрообогрева на основе СКИН-эффекта должны либо предоставить таблицы и графики тепловых потерь для различных поддерживаемых температур и изоляций, которые обычно включают коэффициент безопасности, либо предоставить результаты по тепловым потерям с помощью фирменных компьютерных программ.

A.6 Коэффициент безопасности при расчете потерь тепла

При расчете потерь тепла на основе теоретических величин не учитывают факторы, связанные с установкой системы на фактическом месте эксплуатации, поэтому к рассчитанным значениям необходимо применять коэффициент безопасности. Коэффициент безопасности, учитывающий требования пользователя, диапазон которых обычно составляет от 10 до 25%, используют для компенсации допусков в СКИН-системы. Коэффициенты безопасности необходимо использовать в связи со следующими факторами, влияющими на потерю тепла:

- a) разрушение теплоизоляции;
- b) колебания напряжения питания;
- c) потери напряжения в разветвлениях цепи;
- d) повышенное излучение и конвекция в высокотемпературных применениях;
- e) качество монтажа теплоизоляции.
- f) изменение импеданса ферромагнитной оболочки (трубы ИРН).

A.7 Определение максимальной температуры

A.7.1 Общие требования

Типовой метод расчета для определения максимальной температуры ИРП указан в A.7.2 для применения на металлических трубах.

A.7.2 Теоретические расчеты температуры трубы и оболочки

Максимально возможная температура трубопровода рассчитывается при

максимальной температуре окружающей среды с постоянно включенным ИРН. Формула для расчета максимально возможной температуры трубопровода получена перегруппировкой членов формулы (А.2):

$$T_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{sf}}}{\pi} \left[\frac{1}{D_1 h_1} + \frac{\ln(D_2/D_1)}{2k_1} + \frac{\ln(D_3/D_2)}{2k_2} + \frac{1}{D_2 h_{\text{co}}} + \frac{1}{D_2 h_o} \right] + T_a \quad (\text{А.4})$$

Где,

- $T_{\text{пр}}$ - максимальное расчетное значение температуры трубопровода, °С;
- Q_{sf} - выходная мощность ИРН. При определении температурного класса стабилизированной конструкции Q_{sf} - наибольшая заявленная выходная мощность, которая устанавливается при максимальных допусках на выходную мощность по данным изготовителя, Вт/м, и при 110% номинального напряжения;
- T_a - максимальная заявленная расчетная температура окружающей среды, °С.

Другие термины определены в уравнении (А.2). Допускается применение итерационных методов для расчета формулы (А.4) чтобы получить $T_{\text{пр}}$ поскольку теплопроводность изоляции и выходная мощность ИРН могут зависеть от температуры трубопровода.

Температура оболочки ИРН T_{sh} °С, может быть рассчитана по формулам (А.5) или (А.6), если T_{pm} превышает $T_{\text{пр}}$:

$$T_{\text{sh}} = \frac{Q_i}{U_i C_i} + \frac{Q_c}{U_c C_c} + T_{\text{пр}} \quad (\text{А.5})$$

или

$$T_{\text{sh}} = \frac{Q_i}{U_i C_i} + \frac{Q_c}{U_c C_c} + T_{\text{pm}} \quad (\text{А.6})$$

Где,

- T_{sh} - температура оболочки ИРП на основе скин-эффекта, °С;
- C_i - периметр поперечного сечения ферромагнитной оболочки (тепловой трубки), м;
- U_i - комбинированный коэффициент теплопередачи за счет теплопроводности через стенку тепловой трубки, а также конвекции, излучения и теплопроводности (через сварные швы, если таковые имеются) к технологической трубе, Вт/(м²·°С);
- Q_i - мощность, вырабатываемая в ферромагнитной оболочке (тепловой трубке) и изолированном проводнике с скин-эффектом с коэффициентом безопасности, Вт/м;
- U_c - коэффициент теплопередачи за счет конвекции и излучения от изолированного проводника с скин-эффектом (ИРП) к ферромагнитной оболочке (тепловой трубке), Вт/(м²·°С);
- C_c - периметр поперечного сечения ИРП, м;
- Q_c - мощность, выделяемая ИРП по Закону Джоуля-Ленца с коэффициентом безопасности, Вт/м;
- $T_{\text{пр}}$ - максимальное расчетное значение температуры трубопровода, °С;
- T_{pm} - максимальное заявленное значение температуры процесса, °С.

Коэффициенты теплопередачи различаются для каждого размера ИРН и ИРП,

способа установки и конфигурации системы. Это комбинация теплопроводности, конвективного и лучистого режимов теплопередачи. Значение U_t может варьироваться от 12 или ниже для цилиндрического ИРН в воздухе (в основном конвективного и лучистого) до 170 или выше для ИРН, применяемого с использованием теплопередающих средств (в основном за счет теплопроводности). Значение U_c может варьироваться от 6 или ниже до 50 или выше для ИРП в воздухе (в основном конвективного и лучистого режимов теплопередачи). По требованию заказчика изготовитель ИРП должен указать коэффициент U для конкретного применения или сообщить вычисленные, или экспериментально установленные значения температуры оболочки.

Выбранный ИРН не должен превышать температурный класс в соответствии с 4.7.2.

А.7.3 Теоретические расчеты температуры резервуара и оболочки. Металлические резервуары

Подобным образом для резервуаров рассчитывают максимально возможную температуру при максимальной температуре окружающей среды с постоянно включенным ИРН. Формула для расчета максимально возможной температуры резервуара T_{wr} , °С, получена перегруппировкой членов формулы (А.7):

$$T_{wr} = Q_{sf} \left[\frac{1}{h_1} + \frac{b_1}{k_1} + \frac{b_2}{k_2} + \frac{1}{h_{co}} + \frac{1}{h_o} \right] + T_a \quad (\text{А.7})$$

Где,

- T_{wr} - максимальное расчетное значение температуры резервуара, °С;
 Q_{sf} - выходная мощность ИРП. При определении температурного класса стабилизированной конструкции Q_{sf} - наибольшая заявленная выходная мощность, которая устанавливается при максимальных допусках на выходную мощность по данным изготовителя, Вт/(м²·°С), и при 110% номинального напряжения;
 T_a - максимальная заявленная расчетная температура окружающей среды, °С.

Другие термины определены в А.7.2. Допускается применение итерационных методов для расчета формулы (А.8), чтобы получить T_{wr} поскольку теплопроводность изоляции и выходная мощность ИРН могут зависеть от температуры резервуара.

Температура оболочки ИРП T_{sh} °С, может быть рассчитана по формулам (А.5) или (А.6), если T_{wm} превышает T_{wr} :

$$T_{sh} = \frac{Q_i}{U_i C_i} + \frac{Q_c}{U_c C_c} + T_{wr} \quad (\text{А.5})$$

или

$$T_{sh} = \frac{Q_t}{U_t C_t} + \frac{Q_c}{U_c C_c} + T_{wnt} \quad (A.6)$$

Где,

- T_{sh} - температура оболочки ИРП, °С;
- C_t - периметр поперечного сечения ферромагнитной оболочки (тепловой трубки), м;
- U_t - комбинированный коэффициент теплопередачи за счет теплопроводности через стенку тепловой трубки, а также конвекции, излучения и теплопроводности (через сварные швы, если таковые имеются) к стенке резервуара, Вт/(м²·°С);
- Q_t - мощность, вырабатываемая в ферромагнитной оболочке (тепловой трубке) и изолированном проводнике с скин-эффектом с коэффициентом безопасности, Вт/м;
- U_c - коэффициент теплопередачи за счет конвекции и излучения от изолированного проводника (ИРП) с скин-эффектом к ферромагнитной оболочке (тепловой трубке), Вт/(м²·°С);
- C_c - периметр поперечного сечения ИРП, м;
- Q_c - мощность, выделяемая ИРП по Закону Джоуля-Ленца с коэффициентом безопасности, Вт/м;
- T_{wnt} - максимальное расчетное значение температуры стенки резервуара, °С;
- T_{wnt} - максимальное заявленное значение температуры процесса в резервуаре, °С.

Коэффициенты теплопередачи различаются для каждого размера ИРН, размера ИРП, способа установки и конфигурации системы. Это комбинация теплопроводности, конвективного и лучистого режимов теплопередачи. Значение U_t может варьироваться от 12 или ниже для цилиндрического нагревателя со скин-эффектом в воздухе (в основном конвективного и лучистого) до 170 или выше для ИРН, применяемого с использованием теплопередающих средств (в основном за счет теплопроводности). Значение U_c может варьироваться от 6 или ниже до 50 или выше для ИРП в воздухе (в основном конвективного и лучистого режимов теплопередачи). По требованию заказчика изготовитель ИРН должен указать коэффициент U для конкретного применения или сообщить вычисленные, или экспериментально установленные значения температуры оболочки.

Выходная мощность электронагревателя на основе ИРН и ИРП должны обеспечивать стабилизированную конструкцию, а T_{sh} не должна превышать температурный класс в соответствии с 4.7.2.

A.7.4 Температура оболочки для металлических объектов при применении ограничителя температуры ферромагнитной оболочки или обогреваемого объекта

Когда датчик ограничителя температуры расположен непосредственно на ферромагнитной оболочке ИРН или на обогреваемом объекте, температуру оболочки рассчитывают по формуле:

$$T_{sh} = T_L + \Delta T_{offset} \quad (A.8)$$

Где,

T_L

- уставка ограничителя температуры, °С;

ΔT_{offset}

- эмпирически определенная разница между температурой датчика и фактической максимальной температурой ферромагнитной оболочки ИРН (тепловой трубки) или обогреваемого объекта. ΔT_{offset} зависит от переменных, таких как форма и масса ИРН, стенки трубы или резервуара, а также датчика; выходная мощность ИРН; коэффициент теплопередачи ИРН; и гистерезис системы управления, °С.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)
Требования к СКИН-системам для условий эксплуатации, соответствующих
Division 1 и Division 2

Б.1 Область применения

Пользователи настоящего стандарта могут применять метод классификации зон на основе условий эксплуатации Divisions, включая указание классов I, II или III взрывоопасности сред Classes I, II, III, содержащих газы, пыль или волокна/летучую золу соответственно.

СКИН-системы, предназначенные для Division 1, не рассчитаны на установку в тех условиях, когда воспламеняющиеся концентрации горючих газов или паров, горючих пылей, волокон или летучей золы присутствуют в окружающей среде постоянно или продолжительные периоды времени.

Примечание - Информация о методе на основе условий эксплуатации Divisions приведена в NFPA 70 [2] и CSA C22.1 [3].

Б.2 Общие требования

СКИН-системы, установленные для Divisions, должны соответствовать требованиям к уровню взрывозащиты оборудования согласно Таблице Б.1, с дополнениями или изменениями в соответствии с Б.3- Б.6.

Таблица Б.1 – СКИН-системы для условий эксплуатации, соответствующих Division 1 и Division 2

Division	Уровень взрывозащиты оборудования
Class I, Division 1	Gb
Class II, III, Division 1	Db
Class I, Division 2	Gc
Class II, III, Division 2	Dc

Б.3 Концевые заделки и соединители

При возможности соединительные муфты должны находиться за пределами взрывоопасной зоны, отнесенной к Division 1. Если это невозможно, то соединительные муфты, как и сам РНЭ, должны быть маркированы для установки в зонах, соответствующих Division 1.

Б.4 Требования к контролю и температуре

Б.4.1 Общие требования

Необходимо указывать Class, Division, группу и минимальную температуру самовоспламенения газа, пыли или волокон/летучей золы на месте применения. Вместо температуры самовоспламенения допускается указывать температурный класс.

Примечание – Температурный класс необходимо указывать в соответствии с Divisions приведена в NFPA 70 [2] и CSA C22.1 [3]

Б.4.2 Стабилизированная конструкция

В таблице Б.2 определены исходные условия расчета для метода классификации зон на основе Divisions для стабилизированной конструкции.

Таблица Б.2 - Исходные условия расчета температуры оболочки. Стабилизированная конструкция

Параметр	Class I, II или III	
	Division 1	Division 2
Значение напряжения, выраженное в процентах от номинального	110	110
Максимальная температура объекта, принятая для расчета	-a)	-a)
Максимальная скорость воздушного потока, принятая для расчета	0	0
Значения температуры для Division 1 должны быть рассчитаны с применением минимального коэффициента теплопередачи U без средств, способствующих теплообмену.		
Температуру объекта T_{pr} или T_{pm} или в зависимости от того, какое значение больше, используют для расчета максимальной температуры оболочки (см. приложение С).		

Б.4.3 Регулируемая конструкция

Применение регулирования температуры для ограничения температуры оболочки зависит от класса зоны, как указано ниже и в таблице Б.3:

а) Class I, II или III, Division 1 - регулятор температуры и ограничитель высокой температуры;

б) Class I, II или III, Division 2 - регулятор температуры.

Таблица Б.3 - Исходные условия расчета температуры оболочки с применением устройства регулирования температуры

Параметр	Class I, II или III	
	Division 1	Division 2
Значение напряжения в процентах от номинального	110	110
Максимальная температура объекта, принятая для расчета	-a)	-a) или b)
Максимальная скорость воздушного потока, принятая для расчета	0	0
Значения температуры для Division 1 должны быть рассчитаны с применением минимального коэффициента теплопередачи U без средств, способствующих теплообмену.		
а) Используют уставку соответствующего защитного устройства (ограничителя температуры).		
б) Используют уставку соответствующего регулятора температуры.		

Б.4.4 Требования к защитному устройству в условиях эксплуатации, соответствующих Division 1 и Division 2

Требования 4.6 распространяются на РНЭ, предназначенные для применения в зонах, классифицированных на основе Divisions. К оборудованию для Division 1 также применяют требования 4.7.3.2, но при этом РНЭ должен быть соответствующего класса. К РНЭ для Division 2 также применяют требования 4.7.3.3, но при этом РНЭ должен быть соответствующего класса.

Б.5 Типовые испытания

Б.5.1 Испытание, описанное в Б.5.2, предназначено для ИРП в этих взрывоопасных зонах и требуется в дополнение к типовым испытаниям, описанным в пункте 5.

Б.5.2 Испытание на температуру оболочки, описанное в 5.2.13, должно проводиться в условиях, определенных в Таблице Б.2 и Б.3, и полученная в результате температура оболочки не должна превышать заявленный класс температуры или температуру оболочки.

Данные требования дополняют требования 6.1.

При применении метода классификации зон на основе Divisions на поверхность ИРП должна быть нанесена четкая и стойкая маркировка, включающая информацию о классе взрывоопасности среды (Class), условиях эксплуатации (Division), группе (подгруппе) и классе температуры.

Б.6 Инструкции. Требования к монтажу

В дополнение к требованиям к документации, приведенным в разделе 7, инструкции и/или другая документация должны содержать следующую информацию:

а) При применении метода классификации зон на основе Divisions лицо(а), ответственное(ые) за монтаж, должно(ы) убедиться в том, что монтаж и проверку выполняет обученный квалифицированный персонал, компетентный в области СКИН-системы. Монтаж и проверку необходимо проводить в соответствии с проектной документацией изготовителя системы, рекомендациями для данного изделия и инструкциями по монтажу; кроме того, необходимо строго придерживаться требований п. 7.4 данного стандарта.

б) Для планируемой установки необходимо проверить правильность выбора РНЭ и компонентов СКИН-системы, определенных в проектной документации, например, для условий эксплуатации, соответствующих Division 1 или Division 2. Документацию изготовителя необходимо проанализировать на наличие специальных требований к монтажу и проверить совместимость нагревательной системы со средой.

с) Устройства защиты от замыкания на землю, предназначенные для применения в цепях РНЭ в зонах, определенных на основе Divisions, должны быть соответствующим образом идентифицированы для применения в условиях эксплуатации, соответствующих данным Divisions.

d) При выполнении установок в условиях эксплуатации, соответствующих Division 1, только лицо(а), ответственное(ые) за монтаж, должно(ы) заполнять и сохранять документ согласно требованиям п. 7.4 данного стандарта с целью применения в будущем этой информации при техобслуживании и ремонте данной установки.

е) Для установок в условиях эксплуатации, соответствующих Divisions, минимальное сопротивление для всех испытаний сопротивления изоляции согласно 7.4, перечисление i), должно быть не менее указанного производителем значения.

ПРИЛОЖЕНИЕ ДВ
Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в
нем IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA
(справочное)

Для приведения структуры условного межгосударственного стандарта, разрабатываемого на основе применения IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA, в соответствии с требованиями, установленными в [ГОСТ 1.5](#) (подраздел 7.3), целесообразно:

- изменить его структуру и заголовки некоторых разделов;
- переместить элемент «Введение» с первой страницы на страницу, следующую за страницей, на которой приведен элемент «Содержание»;
- переместить элемент «Библиография» из Приложения А на страницу, следующую за приложением ДВ;
- применить термины в элементе «Нормативные ссылки», отсутствующие в межгосударственных стандартах ГОСТ 31610;
- применить ссылки на межгосударственные стандарты вместо международных и региональных;
- применить требования межгосударственного стандарта ГОСТ 31610.0 к элементам «Маркировка» и «Требования к документации»;
- исключить п. 4.7, Приложение В и Приложение С, так как оно отражает потребности Канады и США.

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного стандарта IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA, представлено в таблице ДВ.1.

Таблица ДВ.1 - Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA

Структура настоящего стандарта	Структура IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA
Введение (раздел 1)	1 Введение
	1.1 Общее
1 Область применения (1.2,1.3)	1.2 Область применения
	1.3 Назначение
*	1.4 Области применения
	1.4.1 Общее
	1.4.2 Предотвращение затвердевания
	1.4.3 Поддержание вязкости
	1.4.4 Технологический нагрев
	1.4.5 Предотвращение образования конденсата
	1.4.6 Повторное расплавление затвердевших жидкостей
	1.4.7 Обогрев бетонных конструкций
	1.4.8 Терминология
2 Нормативные ссылки (2)	2 Нормативные ссылки
3 Термины, определения и сокращения (3)	3 Определения
4 Основные нормативные положения (4)	4 Общие требования
4.1 Общие требования (4)	4.1 Принцип действия
4.2 Требования к электробезопасности (4.2)	4.2 Система
	4.2.1 Общее
	4.2.2 Индукционно-резистивный проводник
4.3 Требования к испытаниям (4.2.2.1)	4.2.2.1 Требования к испытаниям
4.4 Требования к материалам (4.2.2.2)	4.2.2.2 Требования к материалам
4.5 Требования к соединителям (4.2.2.3)	4.2.2.3 Заводские и полевые муфты и соединители
4.6 Требования к защите цепей питания (4.3)	4.3 Защита электрической цепи
4.7 Требования к ограничению температуры нагрева (4.4)	4.4 Требования к температуре
4.7.1 Общие требования (4.4.1)	4.4.1 Общее
	4.4.2 Потенциально взрывоопасные среды
	4.4.2.1 Общее
4.7.2 Стабилизированная конструкция (4.2.2.2)	4.2.2.2 Стабилизированная конструкция
4.7.3 Регулируемая конструкция (4.4.2.3)	4.4.2.3 Регулируемая конструкция
4.7.3.1 Общие требования (4.4.2.3.1)	4.4.2.3.1 Общее
4.7.3.2 Требования к устройствам регулирования температуры для оборудования с уровнем взрывозащиты Gb и Db (4.4.2.3.2)	4.4.2.3.2 Требования к устройствам регулирования температуры для оборудования с уровнем взрывозащиты Gb и Db
4.7.3.3 Требования к устройствам регулирования температуры для оборудования с уровнем взрывозащиты Gc и Dc (4.4.2.3.3)	4.4.2.3.3 Требования к устройствам регулирования температуры для оборудования с уровнем взрывозащиты Gc и Dc
4.8 Требования к заземлению (4.5)	4.5 Заземление

4.9 Требования к силовым трансформаторам (4.6)	4.6 Силовые трансформаторы
4.10 Механическая прочность **	4.7 Дополнительные общие требования для Канады
5 Требования к испытаниям (раздел 5)	5 Требования к испытаниям
5.1 Общие требования	5.1 Общее
5.2 Типовые испытания	5.2 Типовые испытания
5.2.1 Общие требования	5.2.1 Общее
5.2.2 Диэлектрические испытания	5.2.2 Диэлектрические испытания
5.2.3 Испытание сопротивления изоляции	5.2.3 Испытание сопротивления изоляции
5.2.4 Тепловые характеристики индукционно-резистивного проводника	5.2.4 Тепловые характеристики изолированного индукционно-резистивного проводника
5.2.4.1 Сохранение гибкости и электрических свойств после термического старения	5.2.4.1 Сохранение гибкости и электрических свойств после термического старения
5.2.4.2 Сохранение свойств растяжения и удлинения после термического старения	5.2.4.2 Сохранение свойств растяжения и удлинения после термического старения
5.2.5 Испытание на холодный изгиб	5.2.5 Испытание на холодный изгиб
5.2.6 Испытание на стойкость к истиранию	5.2.6 Испытание на стойкость к истиранию
5.2.6.1 Общие требования	5.2.6.1 Общее
5.2.6.2 Испытательное оборудование	5.2.6.2 Оборудование
5.2.6.3 Процедура проведения испытаний	5.2.6.3 Процедура
5.2.6.4 Расчет массы груза и числа циклов	5.2.6.4 Расчет массы груза и числа циклов
5.2.6.5 Подтверждающее испытание	5.2.6.5 Подтверждающее испытание
5.2.7 Испытание соединительных муфт и концевых заделок	5.2.7 Испытание соединений, сращиваний и концевых заделок
5.2.7.1 Испытание соединений на влагостойкость	5.2.7.1 Испытание соединений на влагостойкость
5.2.7.2 Целостность соединений	5.2.7.2 Целостность соединений
5.2.7.2.1 Общие требования	5.2.7.2.1 Общее
5.2.7.2.2 Прочность креплений	5.2.7.2.2 Прочность креплений
5.2.7.2.3 Циклическое воздействие максимального тока	5.2.7.2.3 Циклическое воздействие максимального тока
5.2.7.2.4 Испытание на нагрев	5.2.7.2.4 Нагрев
5.2.7.2.5 Испытание на растяжение	5.2.7.2.5 Растяжение
5.2.7.3 Испытание изолированных соединений на удар	5.2.7.3 Испытание изолированных соединений на удар
5.2.7.3.1 Общие требования	5.2.7.3.1 Общее
5.2.7.3.2 Испытание на удар при комнатной температуре	5.2.7.3.2 Испытание на удар при комнатной температуре
5.2.7.3.3 Испытание на удар при минимальной температуре	5.2.7.3.3 Испытание на удар при минимальной температуре
5.2.8 Испытание индукционно-резистивного проводника на тепловую деформацию	5.2.8 Испытание на тепловую деформацию
5.2.9 Испытание номинального напряжения	5.2.9 Испытание номинального напряжения
5.2.9.1 Общие требования	5.2.9.1 Общее
5.2.9.2 Испытание номинального напряжения	5.2.9.2 Испытание номинального напряжения
5.2.9.3 Дополнительное испытание на U-	5.2.9.3 Дополнительное испытание на U-

образный изгиб	образный изгиб
5.2.10 Испытание на степень защиты питающих, концевых и соединительных коробок	5.2.10 Испытание на степень защиты питающих, концевых коробок и соединительных коробок
5.2.11 Испытание сопротивления проводника	5.2.11 Испытание сопротивления проводника
5.2.12 Проверка выходной мощности и импеданса системы	5.2.12 Проверка выходной мощности и импеданса системы
5.2.12.1 Общие требования	5.2.12.1 Общее
5.2.12.2 Требование к оборудованию	5.2.12.2 Оборудование
5.2.12.3 Стационарный метод	5.2.12.3 Стационарный метод
5.2.12.4 Метод потока	5.2.12.4 Метод потока
5.2.13 Проверка температур оболочки	5.2.13 Проверка температуры оболочки
5.3 Приемо-сдаточные испытания	5.3 Приемо-сдаточные испытания
5.3.1 Общие требования	5.3.1 Общее
5.3.2 Испытание на определение электрического сопротивления проводника	5.3.2 Испытание сопротивления
5.3.3 Испытание на диэлектрические свойства	5.3.3 Испытание на диэлектрические свойства
5.3.3.1 Общие требования	5.3.3.1 Общее
5.3.3.2 Испытание на диэлектрическую искру	5.3.3.2 Испытание на диэлектрическую искру
5.3.3.3 Испытание диэлектрической прочности на переменном токе	5.3.3.3 Испытание диэлектрической прочности на переменном токе
5.3.3.4 Испытание диэлектрической прочности на постоянном токе	5.3.3.4 Испытание диэлектрической прочности на постоянном токе
5.3.4 Испытание на гелики, агломераты, загрязняющие вещества и пустоты (для изолированного проводника со скин-эффектом, рассчитанного на 2001 В переменного тока или выше)	5.3.4 Испытание на гелики, агломераты, загрязняющие вещества и пустоты (для изолированного проводника со скин-эффектом, рассчитанного на 2001 В переменного тока или выше)
6 Требование к маркировке	6 Требование к маркировке
6.1 Общие требования	6.1 Упаковка
6.2 Маркировка индукционно-резистивного проводника	6.2 Индукционно-резистивный проводник
6.3 Маркировка компонентов СКИН-системы, собираемых на месте **	6.3 Питающие, соединительные и концевые коробки
6.4 Питающие, соединительные и концевые коробки (6.3)	6.3.1 Общее
*	6.3.2 Дополнительные требования к маркировке питающей и проходной коробке
7 Требования к документации (раздел 7)	7 Документация
7.1 Общие требования	
7.2 Требование к проектированию СКИН-системы**	Приложение А. Библиография
7.3 Требованию к документации СКИН-системы**	Приложение В. Требования для Class I, II и III Division 2 взрывоопасные среды*
7.3.1 Общие требования**	Приложение С. Требования для СКИН-системы для Class I, Zone 1; Class I, Zone 2; Zone 1; Zone 2; Zone 21; и Zone 22 *
7.3.2 СКИН-системы, испытываемые по	Приложение D. Методы проверки

методу классификации изделий **	конструкции индукционно-резистивного нагревателя с индукционно-резистивным проводником
7.3.3 СКИН-система на основе стабилизированной конструкции**	
7.3.4 СКИН-система на основе регулируемой конструкции**	
7.4 Инструкции по монтажу СКИН-системы**	
7.5 Инструкции по вводу в эксплуатацию СКИН-системы**	
7.6 Инструкции по техническому обслуживанию, ремонту или модификации **	
Приложение А. Методы проверки конструкции индукционно-резистивного нагревателя с ИРП (Приложение D)	
Приложение Б (справочное) Требования к системам распределенного электронагрева для условий эксплуатации, соответствующих Division 1 и Division 2**	
ПРИЛОЖЕНИЕ ДВ Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем IEEE/CSA 844.1/CSA C22.2 No.293.1-2017 IEEE/CSA ***	
Библиография	
<p>*Данные разделы исключены, так как их положения частично размещены в других разделах настоящего стандарта.</p> <p>**Включение в настоящий стандарт раздела / подраздела обусловлено необходимостью соответствия межгосударственным стандартам серии <u>ГОСТ 31610</u>.</p> <p>***Включение в настоящий стандарт раздела / подраздела обусловлено необходимостью соответствия межгосударственным стандартам <u>ГОСТ 1.5</u>.</p>	

БИБЛИОГРАФИЯ

- | | |
|---|---|
| [1] ГОСТ Р 55191-2012
(МЭК 60270:2000) | Национальный стандарт Российской Федерации.
Методы испытаний высоким напряжением.
Измерения частичных разрядов. |
| [2] NFPA 70® | National Electrical Code® (NEC®1)) (Национальные
правила установки электрооборудования) |
| [3] CSA C22.1 | Canadian Electrical Code, Part 1 (Канадский
электрический свод правил. Часть 1) |

УДК

МКС 29.260.20

MOD

Ключевые слова: СКИН-система, индукционно-резистивный проводник, температура, требования к оборудованию, рабочее напряжение

Руководитель исполнителя:

Технический директор ООО «ССТэнергомонтаж»

С.А. Гадуа

Исполнитель:

Руководитель отдела поддержки проектных продаж
Минкин И.В.