

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАТИНОВЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Для увеличения ресурса работы высокотемпературного платинородий-платинового термоэлектрического преобразователя необходимо уменьшить влияние ряда факторов, непосредственно влияющих на его работоспособность:

1. Загрязнение электродов термопары металлами, восстановленными из газовой фазы при разложении окислов, из которых изготовлены изоляторы и чехлы;
2. Перенос родия, испаряющегося с платинородиевого термоэлектрода, к электроду из чистой платины;
3. Загрязнение электродов примесями, содержащимися в окружающей среде. Платина подвержена значительному коррозионному воздействию со стороны некоторых элементов, которые носят название «платиновые яды»: мышьяк, бор, фосфор, кремний, олово, цинк, сурьма и др.;
4. Недостаточная устойчивость керамического защитного чехла к термоударам.

Первый фактор зависит от качества материала изоляторов и чехлов, а также от технологии подготовки керамики перед сборкой защитного чехла. Влияние второго фактора можно устранить помещением электродов в цельную двухканальную соломку по всей длине высокотемпературной зоны, что и делается в зарубежных аналогах. Третий фактор в известных отечественных аналогах устраняется увеличением толщины наружного чехла, но это снижает его термочувствительность. В зарубежных аналогах применяют два сравнительно тонкостенных (2–3 мм) защитных чехла с воздушным зазором между ними, однако зазор увеличивает инерционность термопары. Для замедления действия трех первых факторов можно также использовать термоэлектроды возможно большего диаметра (обычно 0,5 мм), что нежелательно, так как резко увеличивается стоимость термопреобразователя.

Учитывая все эти факторы и опыт эксплуатации термопреобразователей, производившихся ПК «ТЕСЕЙ» с 2000 года, для улучшения потребительских свойств выпускаемой продукции, начиная с марта 2005 года, мы предлагаем к поставке платинородий-платиновые и платинородий-платинородиевые термоэлектрические преобразователи с чехлами из импортной керамики С795 и С799, полностью отвечающей требованиям стандарта международной электротехнической комиссии № 60672.

Отличительной особенностью керамики С799 является минимальное содержание в ней примесей (содержание окиси алюминия $\geq 99,5\%$), возможность использования при температуре 1800°C и высокая прочность. Основным преимуществом чехлов из керамики С795 является соотношение цена-качество. По своим техническим характеристикам керамика С795 очень близка к С799, а её стоимость значительно меньше. По нашему мнению чехлы из С795 наиболее оптимальный вариант практически для всех условий эксплуатации платинородий-платиновых термопреобразователей типа ТППТ (S). Чехлы из керамики С799 можно рекомендовать для термопреобразователей ТПРТ (В), эксплуатирующихся при температурах выше 1500°C , и в случаях высокой концентрации агрессивных примесей в термометрируемой среде.

Термопреобразователи конструктивных модификаций 01.20 и 01.21 по-прежнему изготавливаются с двумя защитными чехлами, но теперь они имеют меньший диаметр – наружный 20x15 мм и внутренний 10x6 мм, что существенно снизило показатель тепловой инерции. Пространство между чехлами заполнено мелкодисперсным электрокорундом. Термоэлектроды, образующие термопару, всегда помещены в цельную (длиной до 1600 мм) двух- или четырёхканальную соломку из керамики С799, предотвращающую перенос родия с электрода на электрод и практически не выделяющую вредных примесей. **Конструкция термопреобразователя, характеризующая совокупностью описанных признаков, зарегистрирована в Госреестре полезных моделей РФ, свидетельство Роспатента на полезную модель № 11392.**



Платиновый термопреобразователь ТППТ 01.20

Описанная конструкция и применение высококачественных защитных чехлов позволяет в целом ряде случаев, таких как отсутствие большого содержания вредных примесей, температуры близкие к номинальной температуре применения, использовать термопары с уменьшенным диаметром термоэлектродов по сравнению с традиционным 0,5 мм. В первую очередь без ущерба для эксплуатационных характеристик можно уменьшить диаметр положительного термоэлектрода (ПР10

По вопросам продаж и поддержки обращайтесь:

Волгоград (844)278-03-48, Воронеж (473)204-51-73, Екатеринбург (343)384-55-89, Казань (843)206-01-48, Краснодар (861)203-40-90, Красноярск (391)204-63-61, Москва (495)268-04-70, Нижний Новгород (831)429-08-12, Новосибирск (383)227-86-73, Ростов-на-Дону (863)308-18-15, Самара (846)206-03-16, Санкт-Петербург (812)309-46-40, Саратов (845)249-38-78, Уфа (347)229-48-12

Единый адрес tse@nt-rt.ru Веб-сайт: <http://tesey.nt-rt.ru>

в ТППТ и ПР30 в ТПРТ) до 0,4 мм. При этом лигатурная масса термоэлектродов, а, следовательно, и стоимость термопары снижается на 15%. Если условия эксплуатации очень близки к номинальным, возможно применение термопар, имеющих оба термоэлектрода диаметром 0,4 мм. При сравнении цены термопреобразователей производства ПК «ТЕСЕЙ» с ценой термопреобразователей других производителей, пожалуйста, обращайте внимание на лигатурную массу драгоценных металлов, содержащихся в них (см. таблицу ниже).

При наличии в высокотемпературной газовой среде абразивных твердых частиц в каналах отходящего газа и необходимости высокой термостойкости наружный чехол платиновой термопары может быть выполнен из карбида кремния Кк90 или Кк99. Для кауперов доменных печей, при наличии избыточного давления рабочей среды, защитные чехлы термопар выполняются герметичными с выводом термоэлектродов через резиновое уплотнение для исключения прорыва газов в головку в случае разрушения чехла (термопреобразователи ТППТ(ТПРТ) 01.22 с чехлом Кк90). Чехлы из карбида кремния обладают очень хорошей стойкостью к воздействию сильных кислот различной интенсивности и хорошей стойкостью к воздействию сильных щелочей.

Для большего удобства в эксплуатации мы предлагаем заказчикам платиновые термопары в металлических чехлах (модификации 01.06 и 01.16). Чехлы изготовлены из сплава ХН45Ю или сплава Kanthal APM. Новинкой 2010 года являются термопреобразователи с защитными чехлами из сплава Kanthal APM. Они рекомендуются к применению в серосодержащих атмосферах и атмосферах с высоким углеродным потенциалом, так как сплав Kanthal APM обладает высокой устойчивостью к воздействию серы, серосодержащих соединений и к науглероживанию. Внутри металлического чехла вставляется второй чехол из алюмооксидной керамики, а в него – платиновая термопара. Максимальная рабочая температура ограничена 1250°C, но для многих областей применения – это очень хорошее решение, пользующееся большим спросом. Для вакуумных печей цементации инструментального производства ОАО «АВТОВАЗ» мы изготовили малогабаритные платиновые термопары в металлическом чехле из сплава ХН78Т наружным диаметром 7 мм. Сплав ХН78Т обладает неплохой стойкостью в науглероживающей среде, поэтому рабочий ресурс термопар полностью удовлетворил заказчика. Угловые платиновые термопары в толстостенных металлических чехлах (ТППТ(ТПРТ) 01.19У) используются для контроля температуры в хлоридно-бариевых ваннах.

Для проведения бездемонтажной калибровки (см. раздел 1, стр. 1-12) предлагаются две серии модификаций – ТППТ(ТПРТ) 21.xx и 22.xx. Термопреобразователи ТППТ(ТПРТ) 21.xx изготавливаются с использованием керамической соломки, имеющей дополнительный центральный канал, который предназначен для установки контрольной термопары при проведении бездемонтажной калибровки. Термопреобразователи ТППТ(ТПРТ) 22.xx изготавливаются с двумя внутренними защитными керамическими чехлами, один из которых предназначен для установки контрольной термопары.

ОБОЗНАЧЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ТЕРМОЭЛЕКТРОДОВ И ЛИГАТУРНАЯ МАССА (РАСЧЕТНАЯ)

Обозначение	Диаметр положительного термоэлектрода (ПР10, ПР13, ПР30), мм	Диаметр отрицательного термоэлектрода (ПлТ, ПР6), мм	Лигатурная масса термоэлектродов при монтажной длине термопреобразователя 1000 мм	
			ТППТ	ТПРТ
А	0,5	0,5	8,55 г	7,87 г
В	0,4	0,5	7,06 г	6,57 г
С	0,4	0,4	5,47 г	5,04 г

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Физические характеристики материалов (стандарт МЭК 60672) определены на экспериментальных образцах, имеющих определенную форму и размеры для каждого вида испытаний. При выборе типа чехла для термопреобразователя надо учитывать, что его эксплуатационные характеристики зависят как от физических свойств керамики, так и от его геометрических размеров и качества изготовления, а также от реальных условий эксплуатации. Выбор материала не должен основываться только на данных таблиц, приведенных ниже.

Прочность на изгиб является мерой, показывающей, насколько хорошо материал сопротивляется изгибу, или какова «жесткость материала». Предел прочности равен напряжению (отношению приложенной силы к исходному сечению) при разрушении.

Модуль упругости при изгибе (отношение напряжения к деформации) равен такому нормальному напряжению, при котором относительное удлинение было бы равно единице, если бы столь большие упругие деформации были возможны. Модуль упругости при изгибе эквивалентен наклону линии, касательной к кривой напряжение-деформация, в той части этой кривой, где материал еще не деформировался.

Термоудар. Максимальная разность между температурой воды, равной 10-20°C, и температурой образца материала (стержень длиной 120 мм и диаметром 10 мм), с которой он переносится в воду, причём прочностные характеристики образца после этого не изменяются.

Основные физические характеристики керамики на основе оксида алюминия

Условное обозначение ПК «ТЕСЕЙ»			K530	K610	K795	K799
Подгруппа по МЭК 60672			C530	C610	C795	C799
Тип керамики			пористая муллито-алюмосиликатная	газоплотная муллитовая	газоплотная высокоалюмооксидная	
Содержание Al ₂ O ₃ , %			80-85	50-65	95-99	>99
Характеристика	Символ	Единицы				
Открытая пористость, max	P _a	объемные %	30	0,0	0,0	0,0
Плотность, min	ρ _a	Мг м ⁻³	2,1	2,6	3,5	3,7
Прочность на изгиб, min	σ _{fl}	МПа	30	120	280	300
Модуль упругости, min	E	ГПа	–	100	280	300
Коэффициент линейного расширения	α (30-1000°C)	10 ⁻⁶ К ⁻¹	4–7	5–7	7–9	7–9
Теплоемкость	C _p , (30-100°C)	Дж кг ⁻¹ К ⁻¹	800–1050	850–1050	850–1050	850–1050
Теплопроводность	λ (30-100°C)	Вт м ⁻¹ К ⁻¹	1,4–2,0	2–6	16–28	19–30
Термоудар	ΔT	К	350	150	140	150

Основные физические характеристики керамики из карбида кремния

Условное обозначение ПК «ТЕСЕЙ»			Kк90	Kк99
Обозначение керамики			SiSiC	RSiC
Тип керамики			газоплотная, реакционносвязанный карбид кремния	пористая, рекристаллизованный карбид кремния
Содержание SiC, %			88±92	≥ 99
Содержание свободного Si, %			8±12	0,1
Характеристика	Символ	Единицы		
Открытая пористость, max	P _a	объемные %	≤ 0,1	5
Плотность, min	ρ _a	г*см ⁻³	3,1	2,7
Прочность на изгиб при 1300 °С, min	σ _{fl}	МПа	250 – 300	90 – 110
Модуль упругости, min	E	ГПа	370	280
Коэффициент линейного расширения	α (20-1000°C)	10 ⁻⁶ *К ⁻¹	4,3	4,5
	λ (30-200°C)	Вт*М ⁻¹ *К ⁻¹	100	35
	λ (1100-1200°C)		32	26

МАТЕРИАЛЫ КЕРАМИЧЕСКИХ ЗАЩИТНЫХ ЧЕХЛОВ, используемых для изготовления платиновых термопреобразователей ПК «ТЕСЕЙ»

Материал чехла	Условное обозначение материала	Максимальная температура применения материала	Условия эксплуатации (по данным производителей чехлов)
Керамика высокоалюмооксидная, газоплотная	K ₇₉₉	1800°C	Высокотемпературные газовые среды. Газовые среды в присутствии паров щелочей, водорода и др. восстановительных газов. Расплавы стекла. Высокая механическая прочность.
Керамика высокоалюмооксидная, газоплотная	K ₇₉₅	1600°C	Высокотемпературные газовые среды. Газовые среды в присутствии паров щелочей. Расплавы стекла. Высокая механическая прочность.
Керамика муллито-алюмосиликатная, пористая	K ₅₃₀	1600°C	Любые газовые среды, при условии комплектации внутренним газоплотным чехлом. Превосходно держит термоудар.
Карбид кремния рекристаллизованный, пористый	K _{к99}	1600°C	Высокотемпературные газовые среды, присутствие абразивных частиц. Химически агрессивные среды: сильные кислоты, расплавы щелочей. Расплавы цветных металлов: олово, свинец, цинк, алюминий. Превосходно держит термоудар. Высокая механическая прочность.
Карбид кремния реакционносвязанный, газоплотный	K _{к90}	1350°C	Высокотемпературные газовые среды, присутствие абразивных частиц. Исключительная стойкость в окислительных средах. Химически агрессивные среды: сильные кислоты, расплавы щелочей. Расплавы цветных металлов: олово, свинец, цинк, алюминий. Высокая механическая прочность и износостойкость.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

1. Диапазон измеряемых температур, °С:

Тип ТП	Обозначение НСХ	Тип ТП по ГОСТ 6616-94	Диапазон измеряемых температур, °С
ТППТ	S	платинородий – платиновые ТПП 10	от 0 до 1300 (кратковременно до 1600)
	R	платинородий – платиновые ТПП 13	
ТПРТ	B	платинородий – платинородиевые ТПР	от 600 до 1600

2. Номинальная статическая характеристика (НСХ) и класс допуска

НСХ соответствуют ГОСТ Р 8.585-2001. Пределы допускаемых отклонений термо-э.д.с. от номинальных значений в зависимости от класса допуска и рабочего диапазона температур, не превышают значений, указанных в таблице:

Тип ТП	Обозначение НСХ	Класс допуска	Рабочий диапазон температур, °С	Пределы допускаемых отклонений от НСХ, °С
ТППТ	ТПП 10 (S), ТПП 13 (R)	1	от 0 до 1100	± 1,0
			св. 1100 до 1300	± (1,0+0,003(t – 1100))
		2	от 0 до 600	± 1,5
			св. 600 до 1300	± 0,0025· t
ТПРТ	ТПР (B)	2	от 600 до 1600	± 0,0025· t
		3	от 600 до 800	± 4,0
			св. 800 до 1600	± 0,005· t

где t – температура измеряемой среды, °С.

3. Рабочий диапазон температур

Рабочий диапазон температур термопреобразователей определяется типом термочувствительного элемента, а также свойствами материала, используемого для защитного чехла.

Тип ТП	Рабочий диапазон температур, °С	Номинальная температура применения, °С	Примечания
ТППТ	от 0 до 1250	1100	в защитных чехлах из сплава ХН45Ю
	от 0 до 1300	1100	в керамических защитных чехлах и Kanthal APM
ТПРТ	от 600 до 1250	1100	в защитных чехлах из сплава ХН45Ю
	от 600 до 1300	1100	в защитных чехлах Kanthal APM
	от 600 до 1400	1300	в керамических защитных чехлах из карбида кремния
	от 600 до 1600	1300	в защитных чехлах из алюмооксидной керамики

4. Уровень сигнала термопары в рабочем диапазоне температур:

- ТППТ – термо-э.д.с. в пределах от 0 до 13,2 мВ, в диапазоне температур от 0 до 1300°С;
- ТПРТ – термо-э.д.с. в пределах от 1,79 до 11,3 мВ, в диапазоне температур от 600 до 1600°С

5. Показатель тепловой инерции

Значения показателя тепловой инерции термопреобразователей приведены далее для конкретных модификаций и определены в соответствии с ГОСТ 6616-94

6. Устойчивость к механическим воздействиям

ТП имеют вибропрочное и вибростойкое исполнение; группа исполнения L3 по ГОСТ Р 52931-2008

7. Климатическое исполнение

УХЛ2 по ГОСТ 15150-69, но для работы при температурах от минус 40 до 60°С, относительной влажности 95% при температуре 35°С (группа С4 по ГОСТ Р 52931), атмосферного давления от 66 до 106,7 кПа (группа Р2 по ГОСТ Р 52931).

8. Степень защиты от воздействия воды и пыли по ГОСТ 14254-96

IP40 – для ТП с клеммными головками из алюминиевого сплава и наружными чехлами К₅₃₀ и К_{К99};

IP65 – для ТП с клеммными головками из алюминиевого сплава, за исключением ТП с чехлами К₅₃₀ и К_{К99}

9. Надежность

вероятность безотказной работы за 8000 ч при номинальных значениях температур применения – не менее 0,85

10. Маркировка

Маркировочные шильдики термопреобразователей выполнены на самоклеющейся пленке из полиэстера. Материал шильдика устойчив к воздействию температур от –40 до 120°С, обладает хорошей стойкостью к воздействию растворителей, ультрафиолета, грязи.

УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

1. Установка ТП, монтаж и проверка их технического состояния при эксплуатации должны проводиться в соответствии с техническим описанием ТП и инструкциями на оборудование, в комплекте с которым они работают.
2. При установке ТП в горизонтальном или наклонном положении без защитной арматуры во избежание прогиба и вибрации ТП при эксплуатации потребитель должен обеспечить дополнительное крепление.
3. Разрушение керамического чехла приводит к быстрому разрушению термоэлектродов. Поэтому необходимо при установке и эксплуатации избегать ударов термопреобразователей. Это указание относится и к термопреобразователям с внешними металлическими чехлами (модификации ТППТ 01.06, 01.16, 01.19, 01.19У, 21.06), так как внутренний защитный чехол выполнен из керамики.
Во избежание разрушения керамического чехла из-за большого градиента температуры при погружении в рабочую среду скорость разогрева термопреобразователя не должна превышать 150°С/мин.
4. Температура на клеммной головке при эксплуатации не должна быть выше 120°С. Превышение указанной температуры приводит к разрушению маркировочного шильдика, идентифицирующего изделие и его производителя. При температуре свыше 150°С происходит разрушение герметизирующей прокладки клеммной головки. Необходимо также учитывать температуру применения удлинительных проводов, которые используются для подключения термопреобразователя в измерительную цепь.
5. Работоспособность узлов коммутации ТП (головки) в зависимости от материала, Т_{мах}:
200°С – для клеммных головок из алюминиевого сплава.
6. Для обеспечения заявленной производителем точности измерений градиент температуры в зоне коммутации термопреобразователя (на клеммной головке, терморпном разъеме или переходной втулке) не должен превышать 40°С. Данное требование соответствует стандарту ASTM E1129-98 «Технические условия на соединительные устройства терморпар». В российской системе стандартов требования к соединительным устройствам терморпар отсутствуют.

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ



* – типовое исполнение:
 ТППТ, ТППТ(R) – по 2-му классу допуска;
 ТПРТ – по 3-му классу допуска.

Примечание: параметры указанные в круглых скобках являются дополнительными и могут отсутствовать в маркировке

По вопросам продаж и поддержки обращайтесь:

Волгоград (844)278-03-48, Воронеж (473)204-51-73, Екатеринбург (343)384-55-89, Казань (843)206-01-48, Краснодар (861)203-40-90, Красноярск (391)204-63-61, Москва (495)268-04-70, Нижний Новгород (831)429-08-12, Новосибирск (383)227-86-73, Ростов-на-Дону (863)308-18-15, Самара (846)206-03-16, Санкт-Петербург (812)309-46-40, Саратов (845)249-38-78, Уфа (347)229-48-12

Единый адрес tse@nt-rt.ru

Веб-сайт: <http://tseey.nt-rt.ru>