

Кабельные термоэлектрические преобразователи КТХА, преимущества и опыт эксплуатации на ОАО «РУСАЛ Саяногорск».

А.В. Каржавин¹, Д.В. Петров¹, С.В. Чуриков²

¹ООО «ПК «ТЕСЕЙ», г. Обнинск, Калужской обл., пр. Ленина 75А, тел./факс: (48439) 6-15-41, 6-20-50,
<http://www.tesey.com>, E-mail: otr@tesey.com

²ОАО «РУСАЛ Саяногорск», Республика Хакасия, г. Саяногорск, Промплощадка, тел.: (39042) 7-34-78,
E-mail: Churikov@sayan.rusal.ru

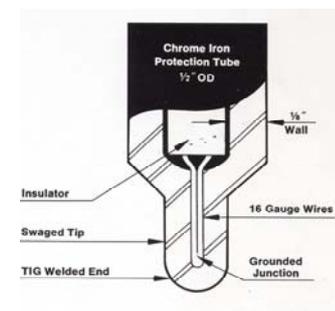
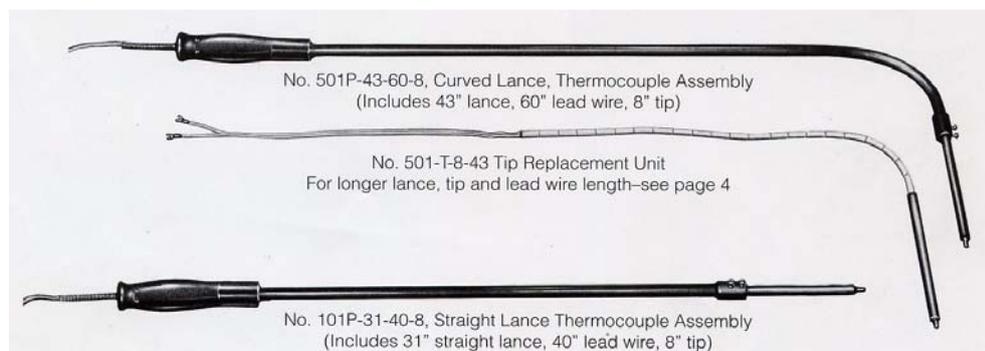
Производственная компания «Тесей» образована в 1992 году и специализируется на изготовлении термоэлектрических преобразователей, термометров сопротивления и защитной арматуры к ним. За последние три года выпускалось не менее 70 тысяч единиц продукции ежегодно, причем за последний год произведено более 55 тысяч термоэлектрических преобразователей, более 21 тысячи термометров сопротивления и более 13 тысяч изделий защитной арматуры, что является одним из лучших показателей в РФ.

В 2006 году после участия специалистов ПК «Тесей» в конференции «Алюминий Сибири - 2005» при непосредственном участии технологов ОАО «РУСАЛ Саяногорск» мы приступили к совершенствованию конструкции термопреобразователя для измерения температуры электролита в производстве первичного алюминия.

При модернизации конструкции термопреобразователя были рассмотрены известные конструкции датчиков:

- преобразователи термоэлектрические No. 101P, No. 501P, выпускаемые компанией «MARSHALL»;
- преобразователи термоэлектрические КТХА 02.08, выпускаемые ООО «Тесей»;
- преобразователи термоэлектрические ТХА-01, выпускаемые ГосНИИ НПО «Луч».

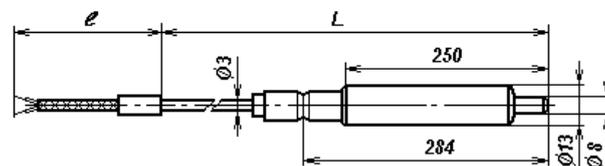
Конструкция термоэлектрических преобразователей фирмы «MARSHALL» представляет собой чехол из высокохромистой стали, в рабочем конце которого закованы термоэлектроды [1].



Преобразователи достаточно широко используются в металлургической промышленности, так как обладают достаточно хорошей стойкостью к расплаву электролита. По нашим данным на разных электролизерах (предприятиях) датчики такой конструкции выдерживают от 500 до 1200 замеров. Стойкость термопреобразователей обусловлена применением высокохромистой стали и толщиной стенки защитного чехла. В то же время сложность обработки такой стали и большая материалоемкость приводит к увеличению стоимости, что ограничивает повсеместное использование термопреобразователей такой же конструкции. Стоимость одного измерения при использовании термопреобразователей фирмы «MARSHALL» составляет от 1,2÷до 3 рублей.

Для удешевления стоимости одного измерения в 1998 году фирмой «Тесей» была предложена альтернатива термопреобразователям фирмы «MARSHALL». Термопреобра-

зователи КТХА 02.08, КТНН 02.08 производства ООО «ПК «Тесей» изготавливаются из термопарного кабеля с минеральной изоляцией КТМС диаметром 2 мм. Защитный наконечник длиной около 300 мм изготовлен из трубы 13x2.5 и имеет узел крепления к измерительной штанге. Торцевая часть преобразователя выполнена с утонением до диаметра 6 мм. [2].



КТХА 02.08 или КТНН 02.08

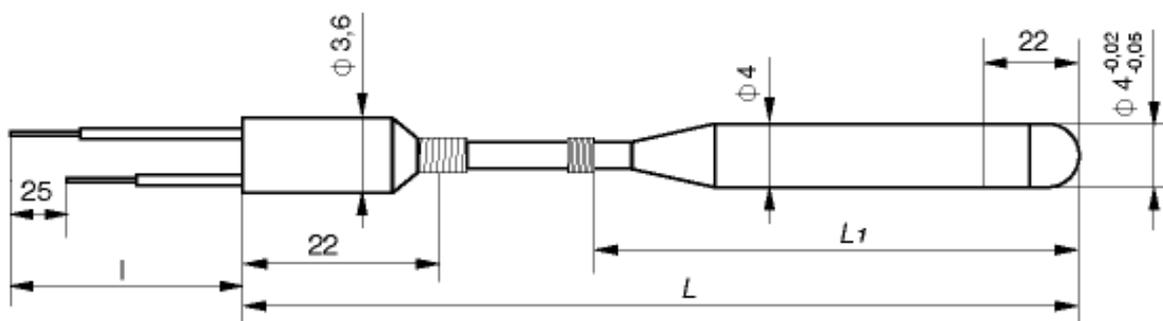
Указанные преобразователи термоэлектрические предназначены для кратковременного измерения температуры расплавленного электролита в ваннах электролизеров.

Недостатком термопреобразователей типа 02.08 является ограниченное число возможных замеров, связанное с применением стали менее стойкой к расплаву электролита, чем высокохромистая сталь. В тоже время основная цель разработки (уменьшение стоимости одного измерения) была достигнута за счет уменьшения материалоемкости.

По нашим данным стоимость одного замера с применением термопреобразователей ПК «Тесей» составляла от 1,6 до 2 рублей, количество замеров при этом варьировалось в пределах 500÷660 замеров. Усовершенствование конструкции привело к увеличению количества замеров, стоимость одного замера снизилась до 1,3 рубля.

Термопреобразователи аналогичной конструкции «АКМИТ», под торговой маркой «Асситир II» представлены на российском рынке фирмой «ССРИ». Отличием термопреобразователя КТХА 02.08 от термопреобразователей «АКМИТ» является более длинная утоненная рабочая часть.

Известны преобразователи термоэлектрические ТХА-01 [3] предназначенные для термоконтроля основного технологического оборудования реакторных установок АЭС с реакторами типа ВВЭР и РБМК. НПО «Луч» изготавливает термопреобразователи ТХА-01 из термопарного кабеля диаметром 1,5 мм с минеральной изоляцией КТМС.



При этом концевая часть преобразователя оснащена защитным наконечником, выполненным из капилляра 4×0,5 мм. Указанные преобразователи термоэлектрические могут быть использованы в металлургической промышленности, однако их использование методом погружения осложнено отсутствием узла крепления к измерительной штанге. Кроме того, наличие зазора между оболочкой кабельной термопары и внутренней поверхностью капилляра создает дополнительное термическое сопротивление, что увеличи-

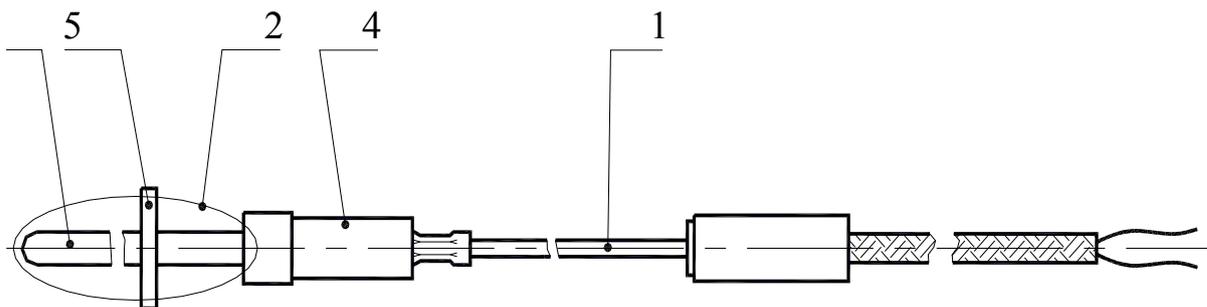
вает показатель тепловой инерции. Малая толщина стенки защитного чехла (наконечника) обуславливает недостаточно высокую стойкость в расплаве электролита.

Поэтому следующей задачей являлось создание термоэлектрического преобразователя, лишённого указанных недостатков.

Для решения поставленной задачи предлагается термоэлектрический преобразователь для измерения температуры методом кратковременного погружения в термометрируемую среду. Термопреобразователь представляет собой кабельную термопару, рабочая часть которой помещена в защитный чехол, выполненный в виде металлического стержня с глухим отверстием. Защитный чехол оснащён узлом крепления к измерительной штанге.

При этом кабельная термопара имеет наружный диаметр рабочей части 1÷2 мм, а защитный чехол имеет внутренний диаметр, равный наружному диаметру рабочей части термопары. Кроме того, допускается, обеспечивать соединение рабочей части кабельной термопары и внутреннего диаметра защитного чехла по посадке с зазором. При этом зазор между защитным чехлом и рабочей частью кабельной термопары может быть заполнен мелкодисперсным наполнителем.

Выполнение термоэлектрического преобразователя с указанными конструктивными элементами и их взаимным расположением позволяет значительно сократить время одного замера температуры за счёт снижения инерционности преобразователя. При этом увеличивается количество измерений, несмотря на снижение толщины стенки наконечника по сравнению с термопреобразователем КТХА 02.08.



На прилагаемом чертеже приведена конструкция термопреобразователя, получившего обозначение КТХА 02.15 или КТНН 02.15, где 1- кабельная термопара, 2 - рабочая часть, 3 - защитный чехол, 4 - узел крепления к измерительной штанге, 5 - ограничительное кольцо. Термоэлектрический преобразователь при помощи узла крепления 4 присоединяют к измерительной штанге (на чертеже не показана) и погружают защитный чехол 3 в термометрируемую среду на 30÷35 секунд так, чтобы термопарный кабель 1 не имел контакта со средой. Указанного времени достаточно для наступления теплового равновесия между рабочим спаем термопары и термометрируемой средой. Ограничительное кольцо 5 позволяет контролировать глубину погружения и не допускать попадания защитного чехла в расплав алюминия. Вторичный прибор автоматически запоминает максимальное значение температуры, достигнутое в процессе замера.

В период с ноября 2006 г. по май 2007 г было испытано более 100 штук термопреобразователей КТХА 02.15. Термопреобразователи такой конструкции при опытной эксплуатации выдерживали до 1200 измерений, при эксплуатации в рабочем порядке в среднем 1000 измерений. Количество измерений проведенных термопреобразователем обусловлено соотношением между скоростью термического срабатывания (толщиной стенки защитного чехла) и стойкостью защитной стали чехла в расплаве электролита.

Стоимость одного измерения при использовании термопреобразователей КТХА 02.15 составляет не более 1 рубля. Конструкция термопреобразователя КТХА 02.15 в настоящее время включена в номенклатурный каталог продукции ПК «Тесей».

На конструкцию термопреобразователя 02.15 подана заявка на полезную модель № 2007113881 с приоритетом от 13.04.07 г.

В таблице 1 представлены данные сравнительных испытаний термоэлектрических преобразователей фирм «MARSHALL», «ССПИ» и «Тесей». Термометрируемая среда – расплавленный электролит с температурой $950 \div 1060$ °С.

Применение термопреобразователей КТХА 02.15 позволит:

1. Сократить прямые расходы ОАО «РУСАЛ Саяногорск» примерно на 200 тысяч рублей в год за счет удешевления стоимости термопреобразователей исходя из проведения ≈ 760 измерений в день.

2. Сократить общее время измерения температуры электролита на электролизерах завода более чем на 300 чел.*смен. Уменьшить на это время нахождение электролизников-замерщиков при открытых створках электролизера, т.е. под воздействием неблагоприятных факторов.

3. Улучшить экологическую ситуацию на заводе за счет снижения времени разгерметизации каждого электролизера на 3-4 часа в год, снижения выбросов вредных веществ.

В дальнейшем мы планируем провести промышленные испытания конструкции 02.15 с чувствительным элементом - термопарой нихросил-нисил для увеличения точности и стабильности измерений.

Термопара нихросил-нисил ТНН (тип N) была разработана в лаборатории материаловедения Министерства обороны Австралии в 60-х годах, как термопара, имеющая большую стабильность по сравнению с термопарой хромель-алюмель.

Материалы термоэлектродов нихросил и нисил демонстрируют существенно лучшую стабильность термо-э.д.с. по сравнению со сплавами ХА за счет увеличения концентрации хрома и кремния в никеле, а также введения в нисил магния, которые перевели процесс окисления материала термоэлектродов из внутреннего межкристаллитного в поверхностный. Образующаяся на термоэлектродах защитная пленка окислов подавляет дальнейшее окисление. Увеличение содержания хрома в нихросиле до 14.2 % фактически устранило обратимую нестабильность, характерную для хромеля. Однако, некоторые исследователи [4] все же наблюдали обратимую нестабильность термопары НН, но ее максимум смещался к температуре 700 °С (в хромеле – 400 °С). Эта нестабильность определяется не структурными превращениями малого порядка, а скорее микроструктурой металлического зерна сплава, наличием примесей, в частности, образованием и распадом в нихросиле карбидов хрома, а также интерметаллидных фаз в нисиле, в зависимости от температуры [5]. Отжиг термоэлектродов при 1100 °С в течение 1-2 ч с последующим охлаждением на воздухе снимает все обратимые изменения. Абсолютная величина обратной нестабильности, в целом, меньше, чем в термопаре ХА.

Более подробно с материалами об изобретении, исследовании, внедрении термопары нихросил - нисил можно ознакомиться в обзоре «Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие», ПК «Тесей» [6].

Данные сравнительных испытаний термоэлектрических преобразователей фирм «MARSHALL», «ССПИ» и «Тесей»

Таблица 1.

	No. 101P No. 501P «MARSHALL»			AKMIT 8-43 «ССПИ»	КТХА 02.08 «ТЕСЕЙ»				КТХА 02.15 «ТЕСЕЙ»
	2	3	4	4	1	2	3	4	4
Завод, дата испытаний: 1 – «Волховский АЗ, май 2003 г. 2 – «КрАЗ», август 2003 г. 3 – «ИрКАЗ-СУАЛ», июнь 2004 г. 4 – «РУСАЛ-Саянорск», 2006÷2007 г.									
Среднее время срабатывания (хол./гор.) $\tau_{0,95}$, сек	-	-	$\frac{118}{100}$	$\frac{110}{92}$	-	-	-	$\frac{72}{62}$	$\frac{35}{30}$
Среднее количество измерений до выхода из строя*	1200	575	700	800	525	660	612	800	1000
Средний уход характеристики за время эксплуатации Δt, °С	-	11	7÷9	2÷4	-	7÷9	2,5	1÷3	1÷3
Стоимость термопреобразователя с НДС при сопоставимых размерах, руб. (в ценах 2006 г.)	1490	1490.	1100	1350	1040	1040	1040	1040	950
Прямая стоимость одного измерения**, руб./изм. (в ценах 2006 г.)	1,24	2,59	1,57	1,69	1,98	1,58	1,7	1,3	0,95

Химический состав термоэлектродов термопар ХА(К) и НН(N)

Таблица 2.

Материал	Химический состав (%)							
	Cr	Si	Mn	Al	Co	Mg	Ni	Fe
хромель	9,5	0,4					основа	0,3
алюмель		1,0	3,0	2,0	0,4	0,015	основа	
нихросил	14,2	1,4					основа	
нисил		4,4				0,10	основа	

ЛИТЕРАТУРА:

1. Каталог L.H.MARSHALL COMPANY, стр. 2÷5;
2. Каталог ООО «ПК «Тесей», 2007 год;
3. Каталог ФГУП НПО «Луч», 2002 год, стр. 2÷5;
4. Bentley R.E. Thermoelectric Hysteresis in Nichrosil and Nisil. J. Physics E: Science Instrumentation, 20(1987), pp.1368-1373.
5. Bentley R.E. Thermoelectric Hysteresis in Nickel-based Thermocouple Alloys. J. Physics D: Applied Physics, 22, 1989, pp.1902-1907.
6. Каржавин А.В. и др. Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие / Обнинск, 2004