

Измерение высоких температур в печах.

Мелочей быть не может



Высокие температуры (от 400–500 °С) в промышленности чаще всего измеряют термоэлектрическими преобразователями – термопарами. Но случается, что при установке и эксплуатации таких датчиков не соблюдаются рекомендации производителей. Термопары быстро выходят из строя, перестают соответствовать заявленным метрологическим характеристикам. В данной статье приведены результаты моделирования и эксперимента, проведенных на термопреобразователях, выпускаемых компанией ОВЕН. Сравнивались различные варианты установки датчика на печь при нескольких значениях измеряемых температур, в результате чего выработаны рекомендации для долгой бесперебойной эксплуатации термопар.

Компания ОВЕН, г. Москва

Общая информация о термопарах

Термопара – один из наиболее распространенных датчиков температуры, применяемых в промышленности. В общем случае датчик представляет собой две проволоки из разнородных металлов, спаянных с обоих концов. Один спай – «горячий» – погружается в среду с измеряемой температурой, другой – «холодный» – находится при постоянной температуре (обычно 0 °С). В этом замкнутом контуре возникнет термоэлектродвижущая сила (ТЭДС), и она будет зависеть только от разницы температур спаев. Встроив в этот контур милливольтметр, можно измерять термоЭДС, которая в данном случае будет зависеть только от изменения температуры «горячего» спая, так как «холодный» спай находится в изотермических условиях. Сразу оговоримся, что приведенная выше схема – это общее определение термопары, и так трудоемко измеряли ее ТЭДС только исследователи. Сейчас все гораздо проще: «холодный» спай нет необходимости поддерживать при постоянной температуре, поправку делает вторичный прибор – измеритель или контроллер, который также выполняет роль милливольтметра.

Термопара, помещенная внутри защитной арматуры, снабженная головкой для подключения удлинительного кабеля или кабельным выводом, имеет право называться термоэлектрическим преобразователем (рис. 1),

но в обиходе для краткости такие датчики все равно называют термопарами.

Современные производители предлагают широчайший ассортимент термоэлектрических преобразователей практически под любую задачу. Различные материалы чехлов – стали, сплавы, керамика, полимеры – защищают термоэлектроды от агрессивных и высокотемпературных сред. Различные выходные сигналы – нативный (мВ), аналоговые (0(4)...20 мА, 0...10 В), цифровые (HART, RS-485, Foundation Fieldbus и др.) – позволяют встраивать эти датчики в любые системы автоматизации.

Огромный выбор модификаций датчиков температуры зачастую вынуждает обращаться за дополнительными консультациями к техническим специалистам компании-производителя: нужно учесть все «подводные камни» применения датчика, специфику его монтажа, подобрать дополнительное оборудование и т. п. Ошибка в подборе первичных преобразователей может дорого обойтись. Бывают случаи, когда из-за неверного подбора датчика идет в брак вся термообрабатываемая продукция. Например, долго не прослужат термопары типа ХА (хромель-алюмель) при установке на печь, в атмосфере которой содер-

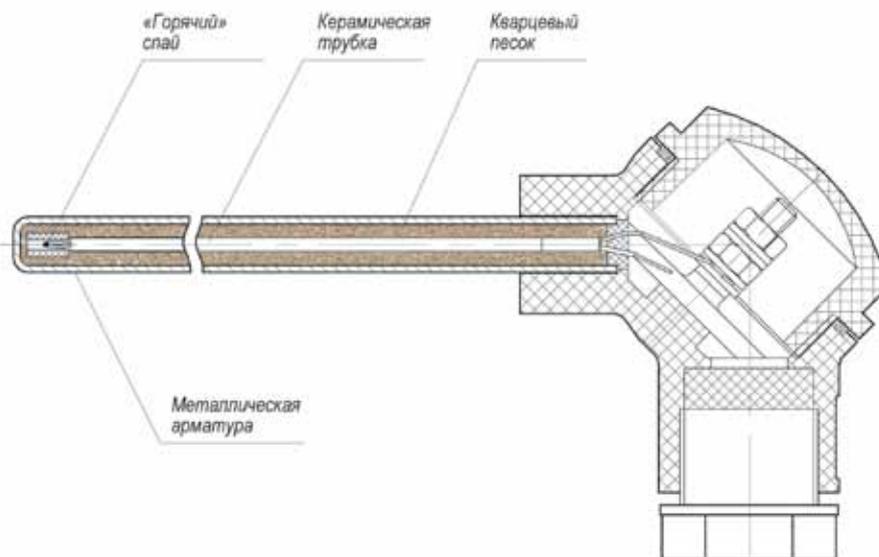


Рис. 1. Термоэлектрический преобразователь

жится 2–3% кислорода: селективное окисление хрома в хромеле приведет к уменьшению его ТЭДС и коррозии термоэлектрода («зеленая гниль»). При использовании термопар ХА, ХК (хромель-копель), НН (нихросил-нисил) в восстановительной атмосфере (где присутствуют, в частности, монооксид углерода СО или водород Н₂) необходимо надежно защитить термоэлектроды от негативного воздействия среды. Например, можно выбрать термопреобразователи на основе КТМС (кабель термопарный с минеральной изоляцией в стальной оболочке).

Датчики с кабельным выводом на основе КТМС – одни из самых простых по конструкции. Но в подборе и эксплуатации таких датчиков также имеются тонкости, которые необходимо учитывать. Об этом – в сегодняшней статье.

В качестве примера рассмотрим термопару на основе КТМС с кабельным выводом ОВЕН ДТПХхх4. Чаще всего такие модели термопреобразователей (рис. 2, 3) устанавливаются на печи различных производств – от обжига кирпича до металлургии. С их помощью измеряют температуры садки, атмосферы печи, входящих газов в дымовом тракте.

Монтажная (погружная) часть L представляет собой гибкий КТМС, внутри которого в заглушенном конце расположен «горячий» спай. КТМС может быть различного диаметра D: от 1,5 до 4,5 мм. Выбор диаметра зависит от размера монтажного отверстия, необходимости изгиба, уровня измеряемых температур. Кабельный вывод l такого датчика обычно изготавливается из термопарного кабеля в силиконовой оболочке, который служит для подключения термопары ко вторичному прибору и обычно находится снаружи объекта измерения при относительно невысокой температуре (до 200 °С).

Номинально-статические характеристики (НСХ) таких датчиков по ГОСТ 8.585 – ТХА (К), ТХК (L), ТЖК (J), ТНН (N). Наиболее высокую температуру можно измерять термопарами с НСХ типов К и N – 900...1250 °С. Последняя температура измерения справедлива только для типа N. Также в конструктиве такого датчика присутствует тонкостенная металлическая трубка диаметром



Рис. 2. Общий вид датчика температуры с кабельным выводом на основе КТМС ОВЕН ДТПХхх4

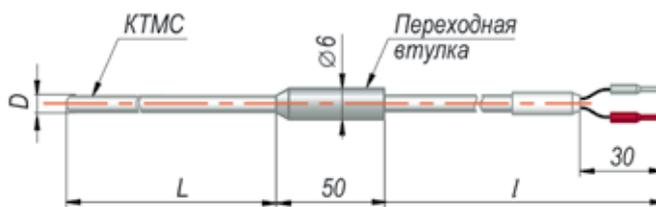


Рис. 3. Конструктивное исполнение ОВЕН ДТПХхх4

6 мм и длиной 50 мм – так называемая переходная втулка (рис. 3). Внутри нее находится соединение выводов термоэлектродов КТМС с термоэлектродами термопарного силиконового кабеля.

При монтаже на объект измерения (например, печь) допускается погружать термопару на всю длину монтажной части L, но при условии, что при эксплуатации датчика температура на переходной втулке не должна превышать 200 °С. Если это условие будет нарушено, то силиконовая изоляция начнет деформироваться и оплавляться, оголяя термоэлектроды и разрушая соединение «КТМС – кабельный вывод». При подборе и монтаже датчика обязательно нужно учитывать это условие. Иногда просчет в определении температуры на переходной втулке влечет за собой выход из строя десятков дорогостоящих датчиков, остановки печей и миллионные убытки. Трудность в том, что на температуру переходной втулки влияет несколько условий: максимальная температура в печи, толщина стенки

печи, материал футеровки печи, температура окружающего печь воздуха, тип монтажа датчика (горизонтальный или вертикальный) и самое важное – расстояние от внешней поверхности печи до переходной втулки.

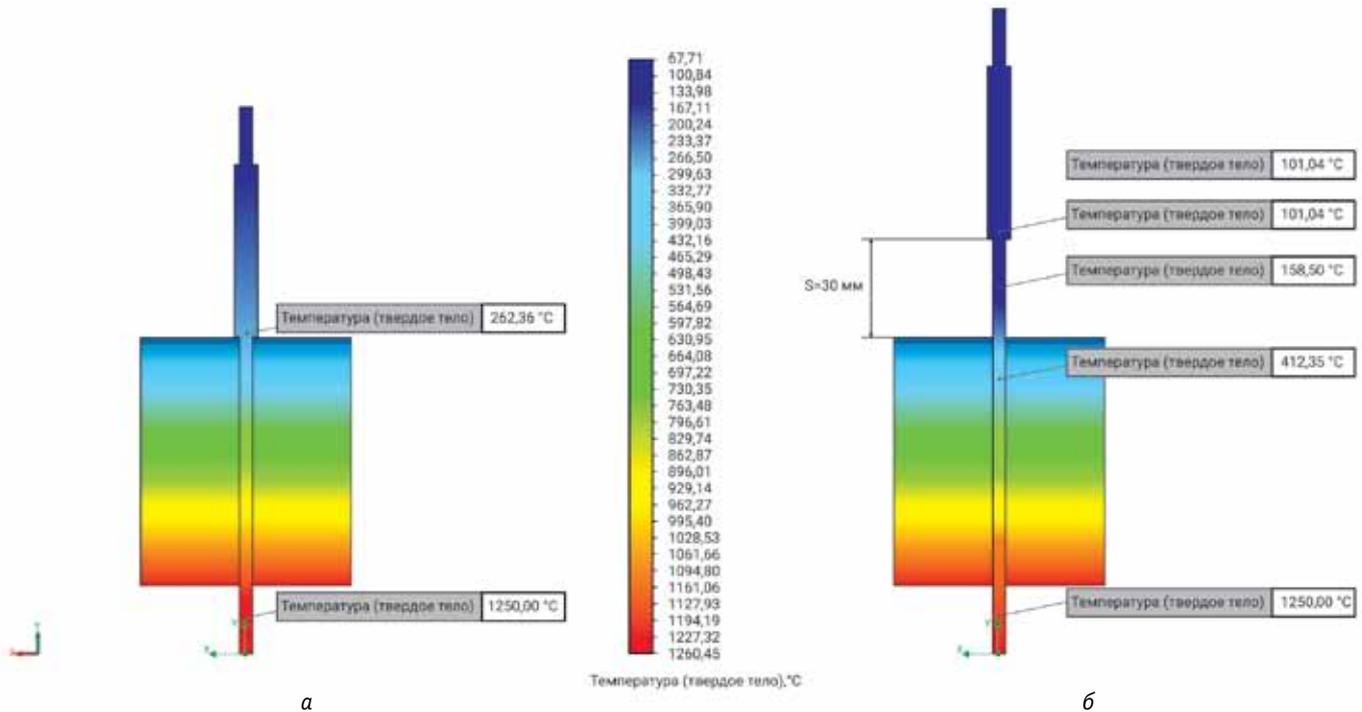
Моделирование нагрева

Инженерами компании ОВЕН были смоделированы максимально жесткие условия по температуре эксплуатации такой модели датчика: температура в рабочем пространстве печи 1250 °С, в печь погружена термопара типа N с диаметром монтажной части 3 мм, материал оболочки КТМС – Microbell. Монтаж вертикальный, в отверстие в своде печи.

Материал свода печи – шамотно-волоконистые плиты ШВП-350. Снаружи они покрыты металлическим тонкостенным кожухом. Температура окружающей среды 60 °С. Симуляция проводилась в программно-техническом комплексе Solid Works, который позволяет проводить тепловые расчеты и строить модели нагрева твердых тел.

Таблица 1. Два варианта моделирования условий эксплуатации датчика

Параметр	Значение	
	Модель 1	Модель 2
Толщина свода печи, мм	50	70
Длина монтажной части L, мм	80 (в печи 30 мм + 50 мм на футеровку)	130 (в печи 30 мм + 70 мм на футеровку + 30 мм за пределами печи)



а

б

Рис. 4. Варианты моделирования условий эксплуатации датчика:
а – модель № 1. Распределение температур по длине датчика, датчик полностью погружен в печь;

б – модель № 2. Распределение температур по длине датчика, втулка отодвинута от стенки печи на расстояние S отступа = 30 мм

В табл. 1 представлены два варианта моделирования условий эксплуатации датчика:

- ▶ модель № 1 – переходная втулка расположена вплотную к внешней поверхности печи (кожуху);
- ▶ модель № 2 – переходная втулка расположена на расстоянии $S = 30$ мм от внешней поверхности печи (кожуха).

На рис. 4а представлен температурный градиент по длине датчика при полном погружении в печь. Таким образом, при данных условиях эксплуатации втулка нагреется практически до 300 °С, что недопустимо.

На рис. 4б видно, как меняется температура монтажной части датчика по мере удаления от раскаленного рабочего пространства печи в случае большей толщины футеровки и удаления втулки всего лишь на 30 мм от стенки; на самой втулке температура практически 100 °С, что вполне допустимо. При таких условиях эксплуатации термопреобразователь прослужит годы.

Эксперимент на реальной печи

Затем инженеры ОВЕН провели эксперимент на реальной печи при наиболее распространенных температурах термообработки: 700,

900 и 1000 °С. Объект измерения – трубчатая печь МТП-2 М-50-500. Маркировка испытываемой термопары – ДТПК444-09.200/3,0С.1, диаметр монтажной части 4,5 мм, длина $L = 200$ мм. Общий вид стенда для проведения эксперимента приведен на рис. 5.

Условия эксперимента: изначально термопара ДТПК444 полностью до переходной втулки была погружена в предварительно разогретую печь, монтаж – горизонтальный. Темпера-

тура переходной втулки измерялась с помощью малогабаритной термопары ДТПЛ011, спай которой был прижат к втулке и закреплен кремнеземной нитью (рис. 6а). Оба датчика были подключены к двухканальному измерителю ОВЕН ТРМ202.

Затем в ходе эксперимента глубина погружения в печь данного датчика была уменьшена на 10 мм, то есть переходная втулка была отодвинута от стенки печи на это расстояние (рис. 6б). Каждые 10 минут темпе-



Рис. 5. Стенд для эксперимента: общий вид

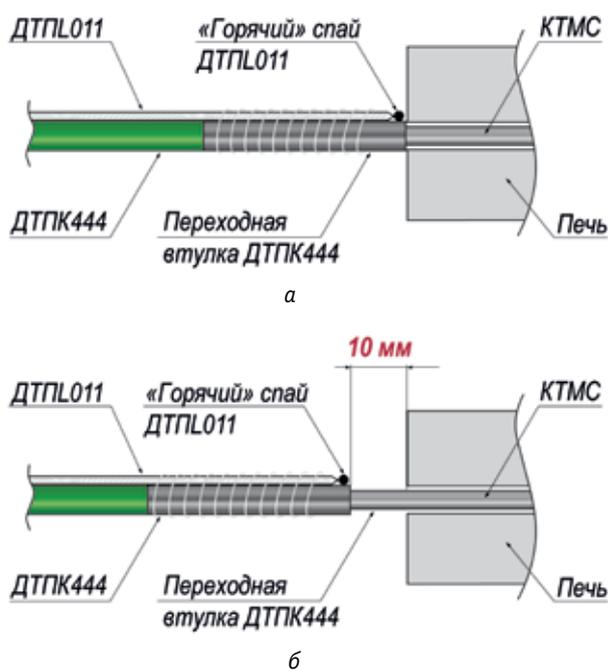


Рис. 6. Этапы эксперимента: а – термопара ДТПК444 полностью («до упора») погружена в печь; б – втулка термопары ДТПК444 отодвинута от стенки печи на 10 мм

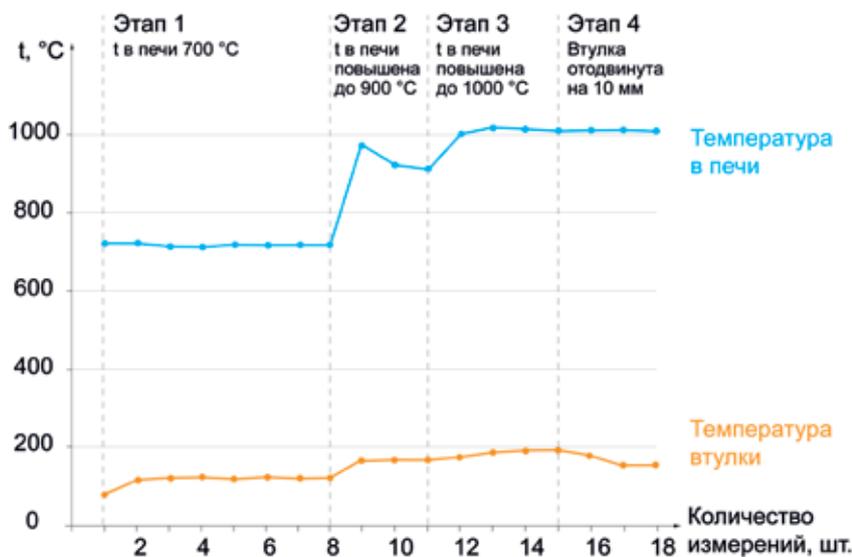


Рис. 7. График изменения температур в печи и на переходной втулке

ратура в печи и температура втулки фиксировались. Результаты эксперимента приведены на графике (рис. 7).

Всего было произведено 18 измерений: первые 8 – при температуре в печи 700 ± 10 °С, втулка придвинута вплотную к стенке печи. Температура втулки практически стабилизировалась на уровне 120 °С.

Следующие три измерения (№№ 9, 10 и 11) температура в печи составляла 900 °С, температура втулки при этом повысилась до 180 °С.

Затем, с измерения № 12 по № 18, печь была разогрета до 1000 °С, но до измерения № 15 втулка была также придвинута вплотную. На графике ясно видно, что температура переходной втулки при таких температурах и монтаже достигла 195 °С, практически критической температуры, выше которой наступит разрушение силиконовой изоляции.

Но если немного уменьшить глубину погружения датчика, отодвинув переходную втулку всего лишь на

10 мм от стенки, при той же температуре рабочего пространства печи в 1000 °С температура на втулке опустится до приемлемых 150 °С. Это можно заметить на графике (измерения №№ 16, 17 и 18).

Выводы и рекомендации

Моделирование и эксперимент, показывающие характер нагрева термоэлектрических преобразователей ДТПХхх4 на основе КТМС, проводились с целью установить зависимость температуры конструктивного элемента, переходной втулки, температура которой при эксплуатации датчика не должна превышать 200 °С, от температуры в печи и расстояния между втулкой и наружной поверхностью печи. Нагрев втулки выше 200 °С недопустим по причине разрушения изоляции (чаще всего силиконовой) термопарного провода, обжаренного внутри втулки и служащего для подключения термопар данной конструкции ко вторичным приборам.

По результатам и моделирования, и эксперимента можно сделать несколько важных выводов для практической термометрии:

- ▶ при измерении температуры более 1000 °С стационарно установленными на объекте датчиками не рекомендуется придвигать плотную к стенкам агрегата их коммутационные элементы (переходные втулки, коммутационные головки) во избежание перегрева и выхода их из строя;

- ▶ при выборе термопреобразователя необходимо предусматривать «запас» по длине монтажной части датчика;

- ▶ «запас» длины монтажной части может быть совсем небольшим, в общем случае – 10...20 мм. Этого расстояния S отступа будет достаточно, чтобы избежать перегрева коммутационного элемента.

А.С. Сидорцев, менеджер по продукту «Датчики температуры»,
В.А. Злобин, инженер-конструктор, компания ОВЕН, г. Москва,
тел.: +7 (495) 641-1156,
e-mail: sales@owen.ru,
сайт: www.owen.ru