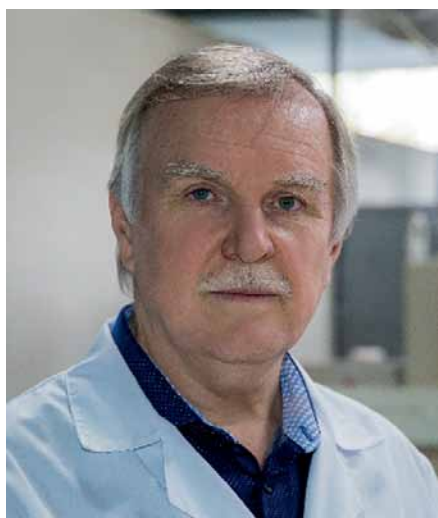


Термоэлектрический метод измерения температуры на службе высоких технологий



В статье представлены решения компании ООО «Обнинская термоэлектрическая компания» для измерения экстремально высоких температур: высокотемпературные термопреобразователи на основе вольфрамниевых термопар, системы мониторинга температуры в промышленных печах, термозонд для кратковременных замеров температуры расплавов металлов и солей, специальный теплозащитный контейнер. Также представлено новое запатентованное изобретение: устройство для калибровки высокотемпературных термопар.

ООО «Обнинская термоэлектрическая компания», г. Обнинск



▲ Автор статьи – А. А. Улановский, к. т. н., директор ООО «ОТК»

Термоэлектрический эффект Зеебека — возникновение разности потенциалов между горячим и холодным концами двух разнородных металлов, соединенных между собой на горячей стороне, — известен уже 200 лет. Величина возникающего напряжения пропорциональна разности температур между горячим и холодным спаями датчика-термопары. С середины XIX века их начали активно применять в термометрии для измерения темпе-

ратуры контактным методом. На сегодняшний день это наиболее простой и надежный способ измерения в самом широком диапазоне: от криогенной температуры кипения жидкого кислорода ($-183\text{ }^{\circ}\text{C}$) до температуры газовых потоков ракетного двигателя ($2500\text{ }^{\circ}\text{C}$).

ООО «Обнинская термоэлектрическая компания» (ООО «ОТК») является единственным предприятием в России, которое производит средства измерения температуры в диапазоне от -196 до $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и может обеспечить их метрологическую аттестацию. Компания специализируется в области высокотемпературной термомет-

рии, производит датчики температуры для агрессивных жидких и газообразных сред, расплавов металлов, солей и стекла.

Типы выпускаемых термопреобразователей соответствуют межгосударственному стандарту ГОСТ 6616-94, российскому ГОСТ Р 8.585-2001 и международному стандарту МЭК 60584-1:2013 (рис. 1). Две конструкции защищены патентами РФ на изобретение.

Термозонд для кратковременных замеров температуры расплавов металлов и солей (рис. 2) является запатентованной разработкой ООО «ОТК». Он полностью автономен, но может запоминать измеренные значения тем-



Рис. 1. Термопреобразователи производства ООО «ОТК»

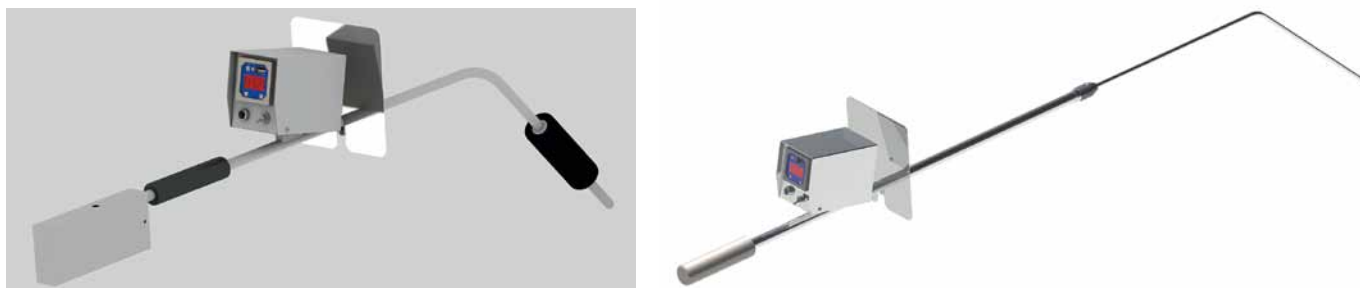


Рис. 2. Термозонды для кратковременных измерений температуры расплавов металлов и солей

пературы во внутренней памяти вторичного прибора.

Чувствительным элементом термозонда могут служить вольфрамрениевая или хромель-алюмелевая термопара, а также термопары из драгоценных металлов. Имеются стандартное (с защитным чехлом чувствительного элемента) и малоинерционное исполнения (с открытым рабочим спаем термопары или кабельной термопарой – для расплавов цветных металлов).

ООО «ОТК» занимается решением специальных задач термометрии, включая оптимизацию технологических процессов промышленных печей на основе высокоточных автономных систем мониторинга температуры, определяющих поле температур внутри печи или в изделии в реальном времени процесса термообработки. Компания является единственным в России поставщиком самых передовых высокотемпературных систем мониторинга температуры для процессов нагрева и термообработки металла,

керамики, стройматериалов, а также лакокрасочных покрытий и пищевых продуктов. Первичные датчики и отдельные теплозащитные контейнеры для систем мониторинга ООО «ОТК» производит самостоятельно.

Система мониторинга температуры (рис. 3 и 4) представляет собой автономное регистрирующее устройство в теплозащитном контейнере, к которому подключено до 20 термопар, размещенных в объеме печи или на изделии. Система предназначена для получения информации о поле температур в печи или в изделиях, проходящих через туннельную печь, а также помещенных в камерную печь.

Преимущества использования системы мониторинга температуры:

- ▶ точная информация о температуре материала позволяет задать оптимальные условия работы нагревательной печи и оптимизировать длительность процесса;
- ▶ реализована возможность определять неравномерность нагрева изделия,

которая вызывает термические напряжения, неравномерную структуру материала и может стать причиной брака;

- ▶ система гарантирует, что изделия обрабатываются в соответствии с технологией нагрева или термообработки (в течение заданного времени при заданной температуре);

- ▶ использование системы мониторинга при отжиге и термообработке позволяет провести контроль всех фаз термообработки, включая закалку в воде или масле;

- ▶ горячие и холодные места в печи определяются достаточно быстро – до того, как они становятся причиной проблем;

- ▶ снижаются объем брака, энергетические затраты, затраты на ремонт, экономится топливо;

- ▶ программное обеспечение позволяет документировать процессы нагрева и термообработки по требованиям стандартов ISO 9000, а также аттестовать печь по аэрокосмическо-

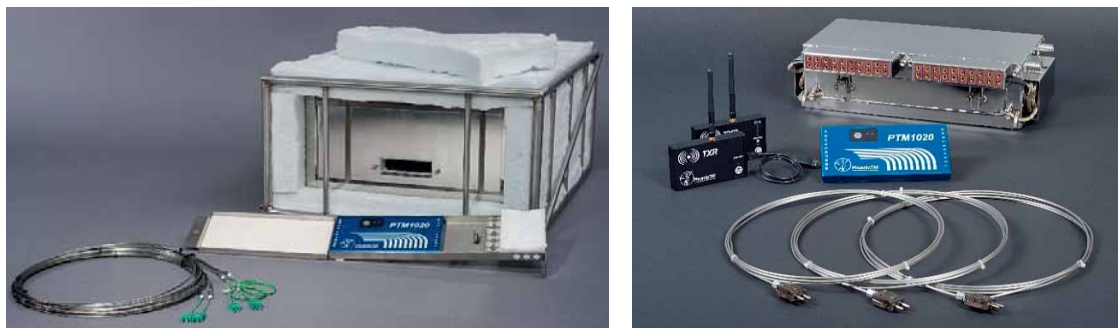


Рис. 3. Системы мониторинга температуры



Рис. 4. Система мониторинга температуры после выхода из печи

му стандарту AMS 2750 или стандарту автопрома CQI-9.

Основа системы — электронный регистратор температуры, который имеет до 20 каналов для подключения высокотемпературных термопарных датчиков. Регистратор защищен от воздействия высокой температуры специальным теплозащитным контейнером, который позволяет регистратору находиться в печи до 9 часов при температуре 1300 °С или до 150 часов при температуре 250 °С. Регистратор помещается в печь вместе с изделием и регистрирует в реальном времени температурный профиль в объеме камерной печи или регистрирует профиль температуры по всей длине проходной печи по каждому каналу по мере прохождения через печь. Системы мониторинга разработаны для всех областей применения с диапазоном температур от –100 до 1500 °С.

Термопреобразователи и системы мониторинга поставляются на крупнейшие предприятия металлургического и машиностроительного комплексов РФ, а также в Казахстан, Узбекистан, Беларусь, Киргизию. Имеются заказы в Германии и США.

Высокотемпературные термопреобразователи на основе вольфрамрениевых термопар являются уникальным торговым предложением предприятия на российском рынке средств измерений температуры. Их серийное производство в РФ было фактически восстановлено компанией в 2003–2008 годы. Данный проект был реализован при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (г. Москва, ныне Фонд содействия инновациям), а также Министерства экономического развития Калужской области. Без такой поддержки само развитие предприятия было бы невозможно. За 20 лет работы компании ее проекты поддерживались Фондом и областным Агентством инновационного развития пять раз. И все они так или иначе связаны с высокотемпературной термометрией.

Самый большой грант Фонда содействия инновациям был выигран по конкурсу в 2018 году на проект по разработке датчиков на основе вольфрамрениевых термопар с диапазоном рабочих температур от 1700 до 2500 °С, а также их метрологического обеспечения. 20 млн руб. из государственного

бюджета и 6 млн руб. из бюджета компании были потрачены не зря. Создано опытное производство датчиков температуры для ультравысоких температур. Совместно со специалистами ВНИИ оптико-физических измерений разработана и смонтирована на предприятии установка для калибровки вольфрамрениевых термопар в диапазоне температур от 1700 до 2200 °С. Верхний предел рабочего диапазона ограничен только работоспособностью керамических изоляторов термопар, которые становятся проводниками при высокой температуре. Данная установка — это единственное в России на сегодняшний день средство калибровки вольфрамрениевых термопар в серийном производстве.

В течение трех месяцев после регистрации заявки Роспатент РФ принял положительное решение о выдаче патента на изобретение ООО «ОТК» «Устройство для калибровки высокотемпературных термопар» (диапазон температур 1200–2200 °С). Авторы изобретения — сотрудники предприятия. Изобретение используется в составе установки для калибровки, которая была аттестована специалистами ВНИИ метрологии им. Д. И. Менделеева (г. Санкт-Петербург) с помощью эталонного пирометра излучения первого разряда. Установка воспроизводит заданные значения температуры с высокой точностью и имеет максимальное отклонение 3,5 градуса от показаний эталонного пирометра в точке 2200 °С при допустимых 5,5 °С.

Установка характеризуется относительной простотой обслуживания и эксплуатации, небольшой электрической мощностью по сравнению

с вакуумными установками и эталонными моделями абсолютно черных тел. Допускается одновременная калибровка до 10 термопар. Стоимость калибровки в расчете на одну термопару в несколько раз меньше, чем при использовании вакуумных установок. Конструкция высокотемпературной печи установки допускает использование в рабочем пространстве реперных точек плавления карбидов металлов: Rh-C (1657 °С), Pt-C (1738 °С), Cr₃C₂-C (1811 °С), Ru-C (1953 °С), Ir-C (2290 °С), а также Re-C (2474 °С) — последнего достижения в области мировой высокотемпературной метрологии. Калибровка одиночной термопары может быть проведена с погрешностью, не превышающей одного-двух градусов в рабочем диапазоне температур.

Метрологическая лаборатория ООО «ОТК» аттестована в Российской системе калибровки (реестр № 001473) на право калибровки термопреобразователей всех типов по ГОСТ 6616-94 и цифровых вторичных приборов для измерения и регулирования температуры. Для любого термопреобразователя может быть получена индивидуальная статическая характеристика в рабочем диапазоне температур или в диапазоне, указанном потребителем, выписан сертификат о калибровке. Калибровка проводится с использованием программы автоматической калибровки термопреобразователей (ПАКТ), зарегистрированной в государственном реестре программ для ЭВМ (свидетельство № 2016614991 от 12.05.2016).

Внешний вид установки для калибровки высокотемпературных приборов и ее аттестат № 2411/0042-2020 от 13.01.2020 приведены на рис. 5.



Рис. 5. Установка для калибровки высокотемпературных термопар (УКТ-2200)

На предприятии действует система менеджмента качества, сертифицированная в системе «Русский регистр» и международной сети IQNet по стандарту ISO 9001:2015. С 2016 года офис и производство располагаются в новом здании в зоне инновационного развития города Обнинска.

Продукция «ОТК» нужна всем, у кого производство связано с высокими температурами. Девиз компании «Чем выше температура, тем ближе мы к вам» как нельзя лучше подходит нашим партнерам — предприятиям аэрокосмического комплекса, металлургии, машиностроения, композиционных материалов.

Заказы поступают от предприятий Росатома: ОКБ «Гидропресс» в Подольске, комбината «Маяк» в Челябинской области, института энерготехники НИКИЭТ в Москве, НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, ВНИИТФ им. академика Е. А. Забабина, НИТИ им. А. П. Александрова, НИКИМТ, Чепецкого механического

завода, ПО «Север» и многих других. Высокотемпературные датчики заказывают также ведущие авиационные предприятия Объединенной двигателестроительной корпорации: Казанское и Уфимское моторостроительные объединения, ПК «Салют» (Москва), «ОДК-Пермские моторы», «ОДК-ОМО» (Омск), «ОДК-Климов», «ОДК-Сатурн», АО «Рыбинские моторы» и Авиационная корпорация «Рубин». Вольфрамрениевые термодатчики производства ООО «ОТК» работают на стартовом комплексе космодрома «Восточный». Установлены долговременные отношения с ЦЭНКИ (Центр эксплуатации наземной космической инфраструктуры).

В планах компании — занять лидирующие позиции в России в области производства высокотемпературных датчиков температуры, используя на практике результаты научных исследований. Также в перспективе — создание Центра по исследованиям в области высокотемпературной термо-

метрии. Аналогов такому центру нет. Реализация планов возможна в рамках федерального проекта «Инновационный научно-технологический центр (ИНТЦ) МГУ «Воробьевы горы» при содействии Агентства инновационного развития Калужской области.

Создание центра высокотемпературных измерений позволит вернуть ведущие позиции РФ в данной области. Надежные измерения температуры в диапазоне 1700–2500 °С позволяют решить множество задач в сфере ядерной безопасности, а также задач, стоящих перед разработчиками новой авиационной и ракетно-космической техники. Контроль экстремальных температур важен и для наземной инфраструктуры запуска ракет и космических аппаратов, испытаний ракетных и авиационных двигателей. Обнинская термоэлектрическая компания уверенно смотрит в будущее и готова участвовать в решении самых сложных задач высокотемпературной термометрии.

А. А. Улановский, к. т. н., директор,
ООО «Обнинская термоэлектрическая
компания», г. Обнинск,
тел.: +7 (484) 397-9915,
e-mail: otc@otc-obninsk.ru,
сайт: www.otc-obninsk.ru

РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ РОБОТИЗАЦИИ
18.09 — 22.09 2023

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ РОБОТИЗАЦИИ
20.09 — 22.09 2023

В РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ РОБОТИЗАЦИИ —
это единственное в России мероприятие, посвященное всем аспектам роботизации и включающее:

- ★ Международный Форум роботизации;
- ★ Выставку робототехнических инноваций;
- ★ Конференцию по актуальным вопросам роботизации;
- ★ Студенческие соревнования Robotics skills;
- ★ Семинары, мастер-классы, роботизированные представления.

Главная тематика Международного Форума роботизации-2023 —
Реформирование рынка роботизации России и кооперация с дружественными странами — первые результаты, барьеры и возможности

Место проведения: КЦ «ПетроКонгресс» (Лодейнопольская ул., 5), г. Санкт-Петербург