

**Термодиагностика качества теплоизоляции
производственного нагревательного оборудования**

***Thermodiagnosics of a thermal insulation quality
of industrial heating equipment***

Гринчук П.С., Стетюкевич Н.И., Шевцов В.Ф.
Grinchuk P.S., Stetyukevich N.I., Shevcov V.F.

На основе методов контактных и бесконтактных измерений и методики тепловизионной диагностики выполнены обследования теплового состояния теплоизоляции нагревательных печей. Предложены рекомендации по использованию разработанных методов для диагностики терморазрушения футеровки. Проведены измерения коэффициента теплопроводности высокотемпературных теплоизоляционных волокнистых материалов. Полученные результаты работы использованы для подготовки технического предложения по модернизации нагревательного оборудования.

An examination of the thermal insulation state of heating furnaces were executed on the basis of methods of contact and contactless measurements and thermal imaging diagnostic techniques. The recommendations for use of the developed methods for diagnosis of thermal destruction of the lining were offered. The measurements of thermal conductivity of high temperature insulation fibrous materials were carried out. The obtained results are used for the preparation of technical proposals for the modernization of heating equipment.

Печи и другие нагревательные установки состоят из стальной конструкции и внутренней футеровки, выполненной из огнеупоров. В процессе эксплуатации футеровка изнашивается в результате термических и механических нагрузок. Футеровка является заменяемым элементом печи и должна периодически обновляться в плановые ремонты. Стойкость огнеупора не является простой функцией температуры его плавления, обычно сопоставляемой с температурой в печи, а обусловлена течением сложных процессов, зависящих, помимо температуры, еще и от целого ряда взаимосвязанных факторов. Наружный кожух печи, как правило, является незаменимым элементом и от него зависит безопасная эксплуатация печи, его разрушение сильно влияет на процессы дальнейшей деградации теплоизоляции.

Наиболее эффективным способом технического диагностирования такого оборудования является тепловизионный контроль. Тепловизионные системы позволяют проводить как внешнюю оценку рас-

пределения температуры на наружной поверхности печи, ее кожуха, так и внутренний контроль. Основным документом обследования является термограмма поверхности печи с аномалиями температуры.

На термоизображениях поверхности печи фиксируются местные участки перегрева, трещины, утонения футеровки печей. Температурные изменения наружной обшивки (кожуха) позволяют оценить степень износа футеровки и необходимость ремонта печи.

При анализе результатов тепловизионного контроля также сопоставляются данные текущего и предыдущих измерений, степень неравномерности износа огнеупорной футеровки.

Испытательное оборудование, используемое авторами, включает: тепловизор *ИРТИС-2000*, пирометр *Нимбус-760*, измеритель плотности тепловых потоков и температуры *ИТП-МГ4.03/5(1) «Поток»*.

На термоизображениях поверхности печи фиксируются местные участки перегрева, трещины, утонения футеровки печей (Рисунок 1). Температурные изменения наружной обшивки позволяют оценить степень износа футеровки и необходимость ремонта печи.

При анализе результатов тепловизионного контроля сопоставляются данные текущего и предыдущих измерений, степень неравномерности износа огнеупорной футеровки. Равномерное распределение температуры на термограмме позволяет судить об общем износе футеровки. На сегодняшний день нет нормативных документов, предписывающих обязательный тепловой контроль металлургических печей и критериев дефектов.

Можно считать, что участки кожуха,

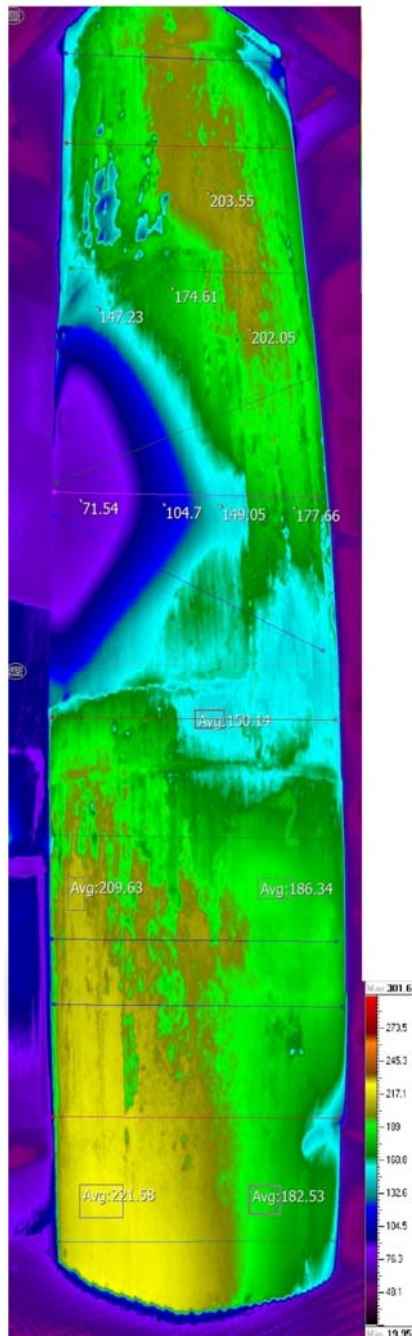


Рисунок 1 – Термограммы участков топочной трубы конвективной сушилки фрезерного торфа.

имеющие температуру выше 150 °С, могут быть отнесены к проблемным зонам. В дальнейшем должен быть проведен анализ причин, повлекших увеличение температуры на этих участках.

В качестве основы тепловизионной диагностики состояния теплоизоляции нагревательного оборудования авторами использованы разделы разработанной методики выполнения измерений [1]. Данный подход положен в основу методов диагностики терморазрушения футеровки нагревательных печей и на их базе выполнены обследования теплового состояния теплоизоляции нагревательных печей предприятий ОАО «БАТЭ» (г. Борисов), «АВТОГИДРОУСИЛИТЕЛЬ» (г. Борисов). Примеры результатов обследования представлены на Рисунке 2.

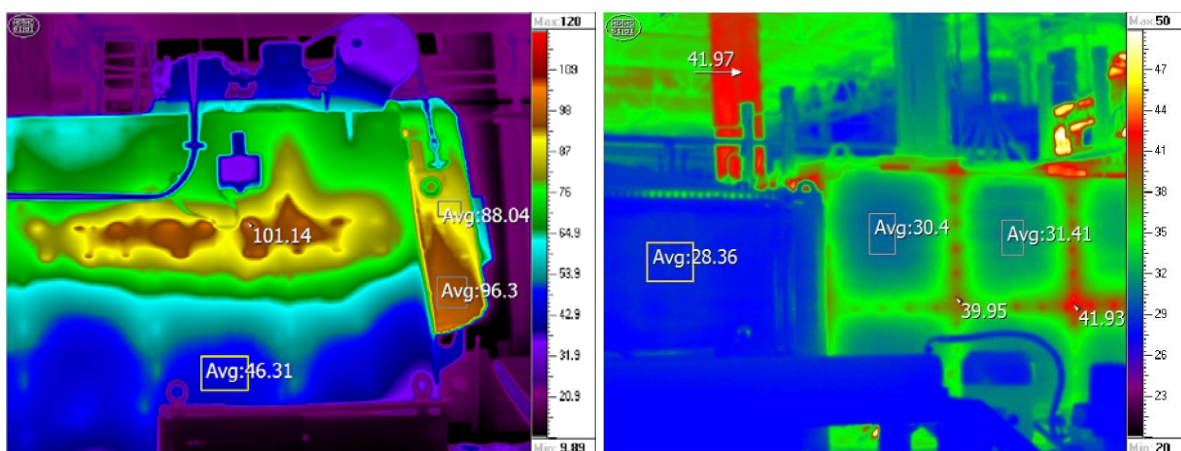


Рисунок 2 – Термограммы внешней поверхности нагревательных печей, показывающие внешнее тепловое состояние ограждающих конструкций печей.

На наружной поверхности защитного кожуха печи имеют место локальные перегревы. Вероятно, имеет место дефект футеровки (сквозные отверстия в местах крепления металлических штырей в кирпичной футеровке печи). Со временем это приведет к серьезному разрушению футеровки и большим тепловым потерям. При обследовании термического оборудования термокузнечного участка инструментального цеха был обнаружен характерный для печей данной конструкции дефект – сильный перегрев обшивки в области заслонки: 160°C.

Ограждающие конструкции нагревательного оборудования являются многослойными и включают внешний металлический корпус, разрушение которого сильно влияет на процессы дальнейшей деградации теплоизоляции. Поэтому тепловое обследование включает диа-

гностику состояния металлических поверхностей ограждающих конструкций нагревательного оборудования [2].

Авторами проведена отработка способов контактного и бесконтактного измерения температуры поверхностей металлических конструкций в условиях эксплуатации сушильного оборудования торфобрикетных заводов. Пример результатов измерений представлен на Рисунке 3.

Тепловая изоляция является одним из основных компонентов ограждающих конструкций нагревательных печей. Разработка технологий изготовления и применения теплоизоляции, исследование ее теплофизических и эксплуатационных свойств являются актуальными задачами. Для решения задач, связанных с выбором и прогнозированием теплофизических характеристик высокотемпературной теплоизоляции, необходимы термоиспытания образцов при изменении их плотности. С целью исследования зависимости эффективной теплопроводности от температуры и плотности материала разработан и апробирован экспериментальный стенд для определения эффективного коэффициента теплопроводности волокнистых материалов в зависимости от их структуры и эксплуатационных параметров [3].

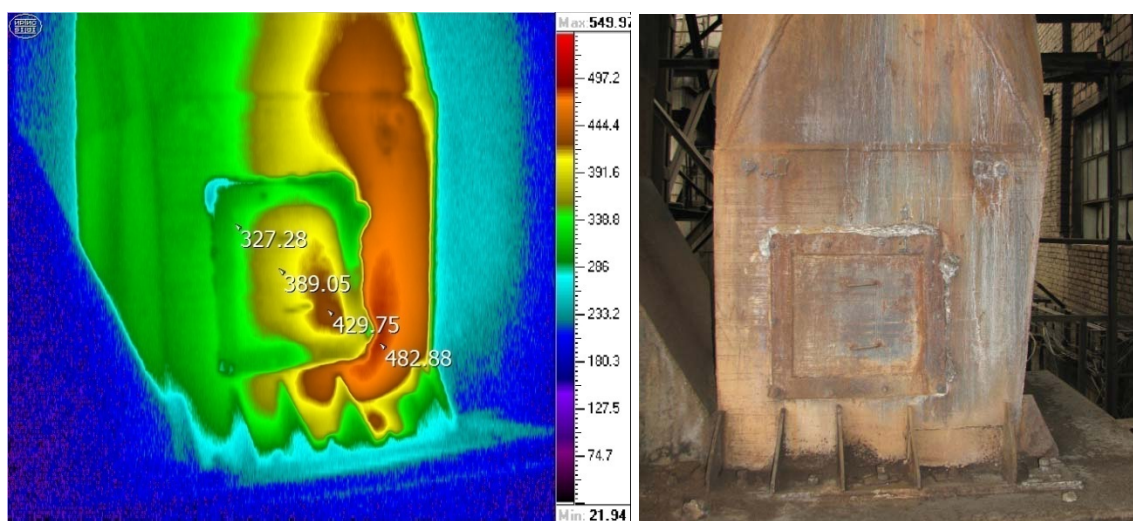


Рисунок 3 – Термограмма участка топочной трубы конвективной сушилки фрезерного торфа с указанием температур в выделенных точках.

Проведены испытания образцов волокнистых, гранулированных и микроструктурированных теплоизоляционных материалов при термонагрузении методом лучистого нагрева в диапазоне 900÷1200 К. В качестве объекта исследований был выбран волокни-

стый теплоизоляционный материал Cerablanket с классификационной температурой 1260 °С производства компании ThermalCeramics с кажущейся плотностью 128 кг/м³. В настоящее время это один из наиболее распространенных материалов, применяемых для футеровки термических печей. В качестве температуры горячей стенки для всех экспериментов была выбрана температура 800 °С. Такой уровень температур используется в печном оборудовании для термообработки черных металлов. Обработка полученных результатов представлена на Рисунке 4.

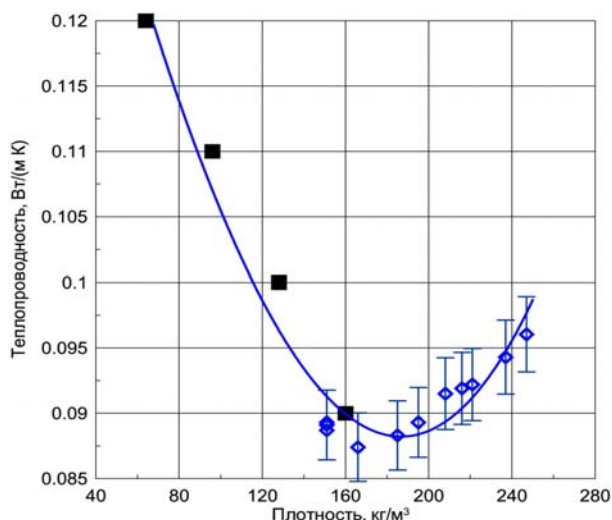


Рисунок 4 – Волокнистые модули Cerablanket, предназначенные для монтажа футеровки, и зависимость эффективной теплопроводности материала Cerablanket от плотности: синие маркеры – результаты измерений, черные – справочные данные производителя [3].

Эффективная теплопроводность находилась по разности температур внутренней и наружной поверхностей материала. Отметим, что на внутренней поверхности материала температура во всех экспериментах поддерживалась равной 800 °С, а на наружной стороне в условиях естественной конвекции температура варьировалась в зависимости от плотности материала в пределах 70-90 °С. Данные измерений авторов были дополнены табличными данными производителя материала с плотностями 64, 96, 128 и 160 кг/м³, полученными для температуры 400 °С. Это соответствует средней температуре образцов в проведенных в данной работе испытаниях. Для исследованного материала и температурных условий минимум коэффициента эффективной теплопроводности достигается при плотности 186 кг/м³ и со-

ставляет 0,089 Вт/(мК), для плотности 64 кг/м³ коэффициент теплопроводности этого же материала составляет 0,12 Вт/(мК).

Заключение. На основе методов контактных и бесконтактных измерений и методики тепловизионной диагностики выполнены обследования теплового состояния теплоизоляции нагревательных печей. Проведены измерения коэффициента теплопроводности высокотемпературных теплоизоляционных волокнистых материалов. Предложены рекомендации по использованию разработанных методов для диагностики терморазрушения футеровки нагревательного оборудования. Дополнительной практической значимостью проведения тепловизионного обследования печей является возможность параллельно решать задачи энергоэффективности эксплуатации диагностируемого оборудования.

Литература

1. МВИ.МН 4420-2012 Тепловизионная диагностика теплового состояния ограждающих конструкций зданий и сооружений. Методика выполнения измерений. Нормативное производственно-практическое издание. РУП «Издательский дом «Беларуская навука» Минск 2013. 16 стр.
2. Стетюкевич Н.И., Шевцов В.Ф., Фираго В.А., Хилько М.В. Влияние неопределенности излучательной способности на результаты термографического контроля // Тезисы докладов и сообщений. XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену. 10-13 сентября 2012 г. Минск. Том 1, Часть 1, С. 292-293.
3. Гринчук П.С., Стетюкевич Н.И., Шевцов В.Ф., Исследование эффективного коэффициента теплопроводности волокнистых теплоизоляционных материалов при изменении их плотности // Тепло- и массоперенос – 2013: Сб. науч. тр. / Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, 2014. С. 289-294.

Статья поступила в редакцию 11.12.14