

*В.М. Боровков, В.В. Исаев,
Н.Н. Шаповалов, А.В. Шишкин.*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДЫМОВЫХ ТРУБ

С-Петербург, ГТУ, кафедра Промышленной Теплоэнергетики

Высотные дымовые (газоотводные) трубы в процессе эксплуатации подвергаются большим термическим и газодинамическим нагрузкам. На внутренней поверхности трубы конденсируется влага. Любые дефекты во внутреннем кислотозащитном (футеровочном) слое, зачастую связанные с ними щели и отверстия во внешней оболочке, образующие зоны инфильтрации и вытекания конденсата, кавернозность, облесение и растрескивание стенок приводят к сравнительно быстрому механическому разрушению трубы. Поэтому безопасная эксплуатация дымовых труб требует периодического контроля их состояния и своевременного обнаружения дефектов на ранней стадии развития.

Неоднородность температуры наружной поверхности трубы, обусловленная различием теплофизических свойств и проницаемости ее стенок, а также трещиноватость, шероховатость и кавернозность поверхности являются прямыми диагностическими признаками, характеризующими состояние дымовых труб, вплоть до их механической прочности [1, 3].

Указанные диагностические признаки определяют большую эффективность и перспективность применения тепловой съемки для обследования труб. Дистанционная инфракрасная диагностика труб непосред-

ственно в процессе их эксплуатации дает документальный материал, позволяющий судить не только о техническом состоянии наружной поверхности, но и обо всей толще оболочки трубы [2].

Тепловизионная съемка с использованием современной сканирующей аппаратуры является весьма высокоточным и производительным методом [4]. Чувствительность к перепаду температуры составляет $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и менее, угловое геометрическое разрешение — до $0.3''$.

Теоретические и экспериментальные разработки, значительный практический опыт и объем выполняемых ежегодно, с 1996 года, работ позволяют говорить о большой эффективности применения тепловизионной съемки при обследовании дымовых труб.

В качестве характеристики состояния поверхности труб нераационально использовать регистрируемую на тепловом изображении яркость или пропорциональную ей термодинамическую температуру поверхности $T(x, y, t)$, зависящую от координат x и y и от времени t . Дело в том, что при суточном изменении температуры атмосферного воздуха $Tв(t)$, величины коэффициента теплоотдачи $\alpha(t)$, зависящем от скорости ветра и влажности, регистрируемые значения яркости или $T(x, y, t)$ будут иметь разные во времени значения, в какой-то мере случайные.

Из-за изменения теплофизических свойств различных участков оболочки трубы: термического сопротивления R , плотности ρ , теплоемкости C , влагонасыщенности и проницаемости, а также величины $\alpha(t)$, зависящей от характеристик поверхности, соотношение значений яркостной температуры на поверхности трубы будет различным в разные моменты времени. Поэтому и регистрируемая на тепловом снимке яркостная картина будет изменяться со временем, а зоны повышенных или пониженных значений яркости на изображении поверхности трубы могут загадочным образом менять свое положение и форму.

В качестве базовой характеристики теплофизических свойств оболочки трубы используется относительная величина $F(x, y)$, определяемая соотношением фактических и номинальных значений параметров: R , α , ρC , и температурой наружного воздуха $Tв(t)$. Термическое сопротивление — R и произведение ρC являются эффективными характеристиками стенки трубы. Эффективная теплопроводность стенки может значительно превышать кондуктивную теплопроводность материала из-за наличия конвективного и молекулярного переноса тепла при существенной проницаемости стенки и ее влагонасыщенности.

Замечательным свойством относительной характеристики теплообмена $F(x, y)$ является ее стабильность. При отсутствии прямого солнечного нагрева трубы и малых изменениях коэффициента теплоотдачи α со временем, величина $F(x, y)$ практически не зависит от времени.

Значения яркости, регистрируемые в конкретное время наблюдения на цифровом тепловом изображении обследуемой поверхности трубы, можно непосредственно пересчитать в значения характеристики $F(x, y)$. Основой такого пересчета служит линейность аппаратной зависимости между температурой поверхности твердого тела и регистрируемой яркостью.

Дистанционное инфракрасное обследование дымовых труб по способу обработки материалов тепловой съемки включает в себя общую оценку однородности теплофизических характеристик оболочки трубы, выделения зон (как правило — крупных) с повышенными или пониженными значениями яркости, и конкретное обнаружение дефектов и их предвестников, как во внутреннем футеровочном слое, так и в наружном.

И то, и другое осуществляется по цифровому тепловому изображению (массиву значений) $F(x, y)$.

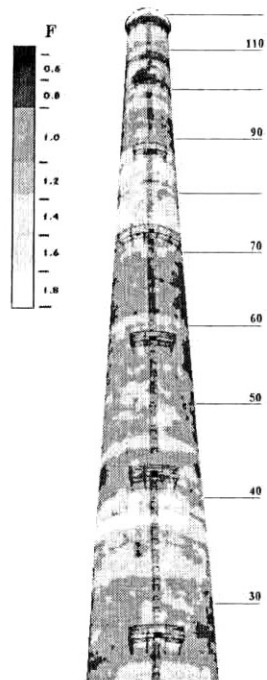


Рис. 1. Тепловое изображение бетонной трубы Новгородской ТЭЦ.

Зоны, соответствующие значениям $F(x, y) > 1$, обусловлены повышенной величиной температуры поверхности трубы и повышенным тепловым потоком. Причиной тому является меньшее термическое сопротивление из-за большой проницаемости, разрушения слоя футеровки или теплоизоляции, а также дефекты в наружном слое, позволяющие просачиваться тепловому воздуху или конденсату на поверхность трубы.

Зоны, соответствующие значениям $F(x, y) < 1$, связаны с трещиноватостью, кавернозностью поверхности трубы, ее повышенной влажностью или обледенением. В этом случае температура поверхности существенно уменьшается.

Дефектные участки оболочки дымовых труб весьма контрастно проявляются на тепловом изображении.

На Рис. 1 приведено тепловое изображение высотной (120 м) бетонной трубы Новгородской ТЭЦ. Обширные зоны по всему периметру бетонных колец и локальные пятна и полосы, светло-серого и белого цвета в соответствии со значением $F(x, y)$, обусловлены намоканием и проседанием теплоизоляционного слоя, час-

тичным разрушением слоя футеровки. Области темного цвета соответствуют кавернозной, частично разрушенной наружной поверхности трубы, в основном по швам бетонирования (на высоте 25, 27, 60, 65, 100, 105 метров). На высоте 35, 40 и 60 метров на поверхность трубы вытекает конденсат, и в зимнее время образуются сосульки.

В кирпичных дымовых трубах не применяется дополнительный внутренний теплозащитный слой. Поэтому таких обширных зон повышенной температуры и теплового потока, как на бетонных трубах с влажным и просевшим теплоизолирующим слоем, — не наблюдается. Участки значений $F(x, y) > 1$ связаны с частичным, фрагментарным разрушением внутреннего футеровочного слоя, вплоть до его обрушения.

Наружный кирпичный слой труб в процессе эксплуатации довольно часто оказывается подвержен разрушению. Образуются протяженные трещины, поверхность кладки становится “изъеденной”, кавернозной, увлажненной. Зоны с пониженными значениями $F(x, y)$ могут быть довольно крупными.

На основе данных дистанционной инфракрасной диагностики можно обнаружить дефекты дымовых труб или локализовать зоны для более детального обследования, определить площадь поврежденных участков и объем необходимых ремонтных работ.

Рис. 2, А иллюстрирует результаты выявления зон намокания и оседания внутреннего теплоизолирующего слоя 90-метровой бетонной трубы котельной г. Тосно с помощью тепловой съемки. Дефектные участки отмечены светло-серым и белым цветом. На основе полученных данных был проведен ремонт (восстановление) теплоизоляции. Контрольное тепловизионное обследование трубы после ее ремонта (Рис. 2, Б) показало хорошее качество тепловой изоляции.

Тепловизионная съемка дымовых труб является оперативным, точным и документальным методом обследования, позволяющим “увидеть” и зарегистрировать неисправности и дефекты, кото-

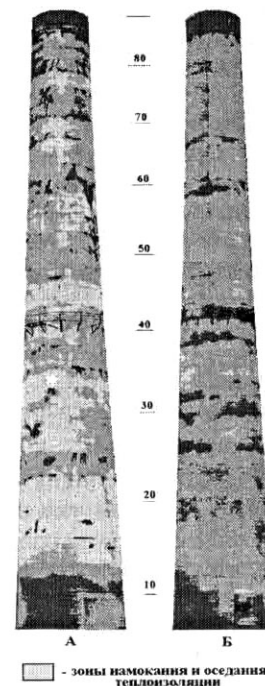


Рис. 2. Результаты выявления зон намокания и оседания внутреннего теплоизоляционного слоя 90-метровой бетонной трубы котельной г. Тосно. А — до ремонта, Б — после ремонта.

рые проявляются только в процессе работы трубы. Она дает возможность оценить состояние не только наружной поверхности, но и всей толщи оболочки трубы, в том числе отдельно каждого слоя.

На базе дистанционного инфракрасного обследования можно осуществлять оперативный надзор за состоянием труб, указывать места для проведения ремонта, оптимизировать ремонтные работы и контролировать их результаты.

Список литературы

1. В.В. Бабаев, В.Ф. Будымка, Т.А. Сергеева, М.А. Домбровский. Теплофизические свойства горных пород. М. Недра, 1987.
2. В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. Теплопередача М, "Энергия", 1969.
3. Петров В.А. Башкарев А.Я., Веттегрень В.И. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов. СПб, Политехника, 1993, 475 с.
4. Ф.Х. Ялышев Оптические методы контроля зданий и сооружений, Л, Стройиздат, 1988.