

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Основное направление применения термографии в неразрушающем контроле связано с такими областями как энергетика, промышленность и здравоохранение. Изучение строительных конструкций термографическими методами ограничивается выявлением тепловых потерь ограждающих конструкций. Однако, диапазон применения термографии в сфере неразрушающего контроля строительных конструкций, зданий и сооружений может быть существенно расширен. Съёмка в инфракрасном диапазоне может быть очень эффективной, для выявления мест конденсации влаги в зданиях и сооружениях, определения участков нарушения гидроизоляции, а также, например, для определения обводненности вмещающих грунтов подземных сооружений через их обделки.

Тоннели и станции метрополитена представляют собой благоприятную среду для проведения, как исследований локальных участков, так и тепловизионного мониторинга общего состояния конструкций и гидроизоляции. На станциях сохраняется приблизительно постоянная температура воздуха вне зависимости от сезона. В ночное время не наблюдается интенсивного движения воздушных потоков, а материал обделок – преимущественно чугун – имеет большой коэффициент теплопередачи. Кроме того, тепловизионная съёмка обладает такими преимуществами, как дистанционность и малая трудоёмкость работ, что особенно важно в условиях большой протяжённости тоннелей и станций. Современные тепловизоры позволяют получить цветную картину распределения температурного поля по конструкции высокого разрешения, повысить чувствительность измерений вплоть до 0,02 °С.

Инфракрасная термография может выполняться пассивным и активным методами. При работе активным методом объект исследований подвергается принудительному нагреву. Поскольку в случае с обделками подземных сооружений получить равномерный нагрев конструкции не представляется возможным, можно применить локальный нагрев участка конструкции с последовательным перемещением как источника тепла, так и инфракрасной приёмной системы. Пассивный метод заключается в измерении естественного теплового поля. При этом система обнаружения (тепловизор) последовательно перемещается вдоль конструкции (например, стенки тоннеля). Полученные термограммы, приведенные к единому температурному диапазону, могут быть сведены в общую систему для получения карты распределения температуры по поверхности конструкции. Тепловая карта наблюдаемой зоны отражает связь между теплообменом в изучаемой среде (в нашем случае в конструкции) и ее строением. На практике производится наблюдение тепловых явлений на поверхности, вызванное распространением тепла по материалу, благодаря чему можно получить информацию о процессах, происходящих в заобделочном пространстве.

Успешная реализация метода зависит от большого числа параметров, которые должны быть оптимизированы для каждого конкретного случая:

- коэффициент излучения изучаемой поверхности (должны учитываться: тип обделки – чугун, бетон, вторичная рубашка, оштукатуренная поверхность, плитка (керамическая, мраморная) и т.д.);
- строение обделки (чугунные тубинги с тампонажем в заобделочное пространство; бетонные блоки; монолитный бетон; отделочные материалы на станциях и т.п.); Некорректно сравнивать результаты съёмки на обделках, имеющих разное строение;
- фокусировка теплового потока (желательно осуществлять фокусировку в линию, согласуя ее со строчным анализатором);
- обеспечение ортогональности оптической оси прибора к обследуемой поверхности;
- расстояние между изучаемой поверхностью и приёмной системой должно быть, по возможности, одинаково.

В свою очередь коэффициент излучения объекта обуславливает выбор спектрального диапазона, наиболее благоприятного для измерений. В современных тепловизорах принято использовать один из двух диапазонов – 3-5 мкм и 8-12 мкм, либо оба диапазона совместно (двухспектральный анализ). Спектральный диапазон зависит от таких важных факторов, как тепловой контраст и пропускание солнечного излучения атмосферой. В подземных условиях, связанных с измерениями на коротких дистанциях, влияние последнего фактора несущественно, если проводить работы в условиях действующего метрополитена. В других условиях необходимо полностью исключить влияние таких факторов, как запыленность, туман, высокая влажность, т.е. все оптические помехи.

Тепловой контраст на поверхности протяженных объектов (тоннелей и станций) зависит от теплопроводности и удельной теплоемкости материалов, слагающих их отделку. Максимальные значения разности температур достигаются при нарушении гидроизоляции сооружений, когда изменяется влажность материала на поверхности отделки. На рис.1 приведены фотографии конструкций на станции «Маяковская» Московского метрополитена в видимом и инфракрасном диапазоне. Очевидно, что термографическая съемка дает контрастную картину по выявлению нарушений гидроизоляции (более темные оттенки соответствуют более низкой температуре, а черные – протечкам грунтовых вод). При этом возникает возможность проведения мониторинга за состоянием гидроизоляционной мембраны подземных сооружений. Возможность обнаружения скрытых дефектов отделки при измерениях пассивным методом, к сожалению, представляется чрезвычайно сложной. Применение же активного метода целесообразно лишь на локальных участках из-за больших затрат времени на нагревание отделки до эффективной температуры.

Фиксация тех или иных изменений в тепловом состоянии конструкций относительно друг друга позволяет в итоге провести качественную оценку их состояния. Например, это может быть заключение о наличии воды, обводненных грунтов за отделкой без анализа параметров вмещающих грунтов. На рис. 2 приведены результаты тепловизионной съемки боковых тоннелей и межколонных прогонов на станции «Маяковская» совмещенные с планом станции (более темные оттенки соответствуют более низкой температуре). Полученные результаты совпадают с общей картиной распределения протечек грунтовых вод на станции.

Возможно также проведение контроля качества ремонтных работ отделок подземных сооружений на всех стадиях путем режимных тепловизионных наблюдений их поверхности. Очень наглядным может быть мониторинг за проведением тампонажных работ при создании противофильтрационных завес в заобделочном пространстве. На рис.3 приведены результаты тепловизионной съемки эскалаторного тоннеля на станции «Маяковская» проведенной в конце 2006 года. Результаты съемки приведены к единому температурному диапазону и совмещены с разверткой верхнего полупериметра тоннеля. В верхнем прямоугольнике – результаты съемки до проведения тампонажных работ (более темные оттенки соответствуют более низкой температуре). В нижнем прямоугольнике – результаты съемки в процессе выполнения тампонажных работ на завершающей стадии. Результаты съемки контролировались бурением шпуров. Отмечена хорошая сходимости результатов – понижение температуры приурочено к скоплению грунтовых вод за отделкой. После проведения тампонажа – температура поверхности выровнялась, и по результатам бурения поступление воды прекратилось.

При количественной оценке первым и основным требованием, предъявляемым к тепловизору, является необходимость обеспечения измерений заданной характеристики теплового состояния обследуемого объекта. В первую очередь необходимо обеспечить достоверное измерение температуры конструкции в отдельных точках или температурного поля на поверхности. При обнаружении температурных аномалий для их

идентификации необходимо провести анализ конструктивных особенностей данного участка отделки с выявлением причин отклонений.

На первых этапах применения тепловизионной техники в подземных условиях, перспективным и реальным становится получение по термограммам качественной картины состояния конструкций подземных сооружений с точки зрения целостности гидроизоляции и обводненности заобделочного пространства.

По мере накопления опыта представляется возможным, осуществить постепенный переход к оценке количественных параметров для каждого конкретного типа отделки, создание библиотеки температурных образов (метод термографической аналогии), характеризующих то или иное состояние конструкции или заобделочного пространства.

Картографирование температуры может стать решающим фактором в деле принятия решений по заблаговременному ремонту конструкций и водоподавлению в заобделочном пространстве. Авторы уверены: у термографии большое будущее.

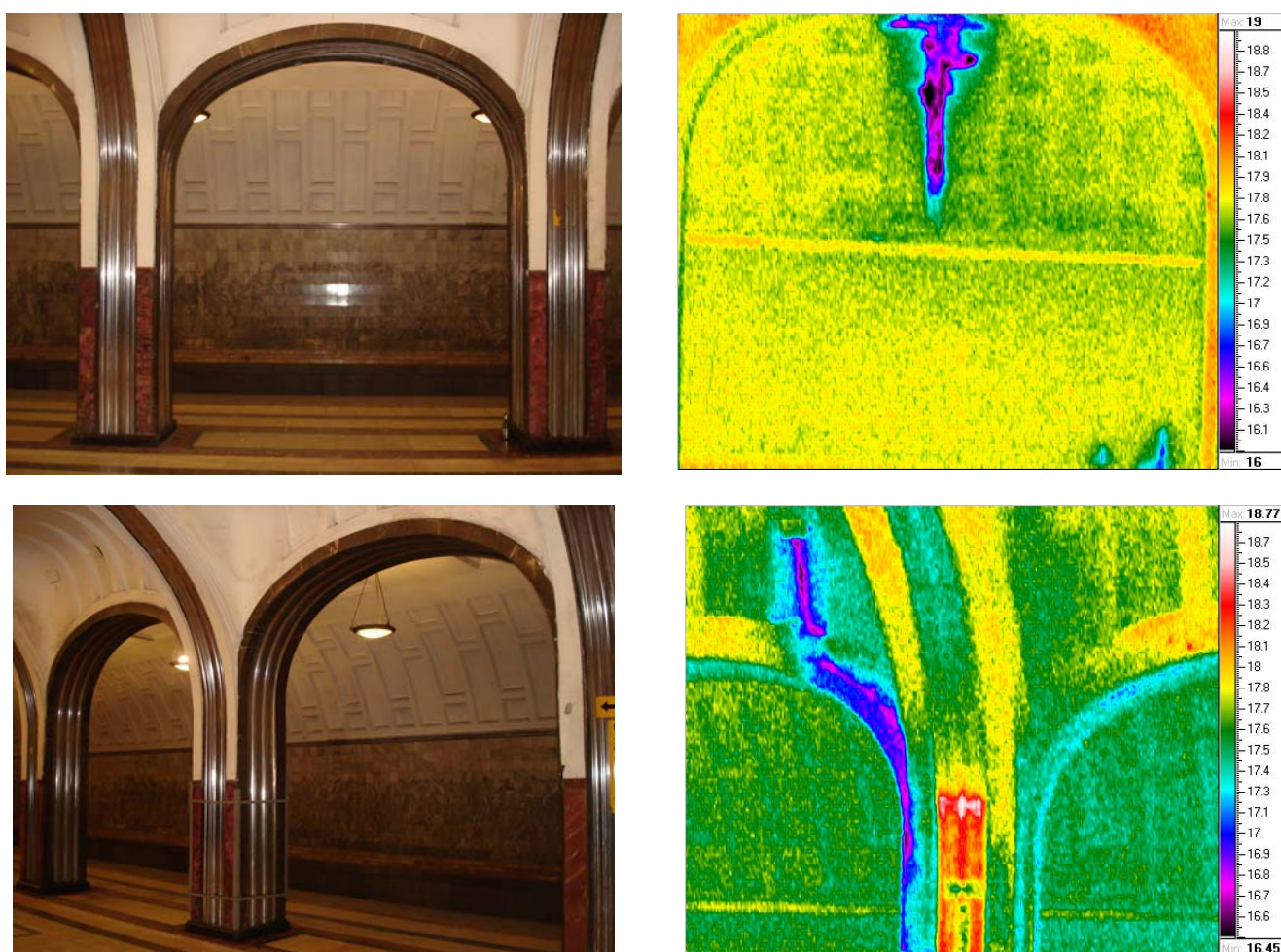


Рис. 1. Станция «Маяковская» Московского метрополитена. Фотографии в видимом и в инфракрасном диапазоне. Отчетливо выделяются участки изменения влажности материала, вследствие нарушения гидроизоляции

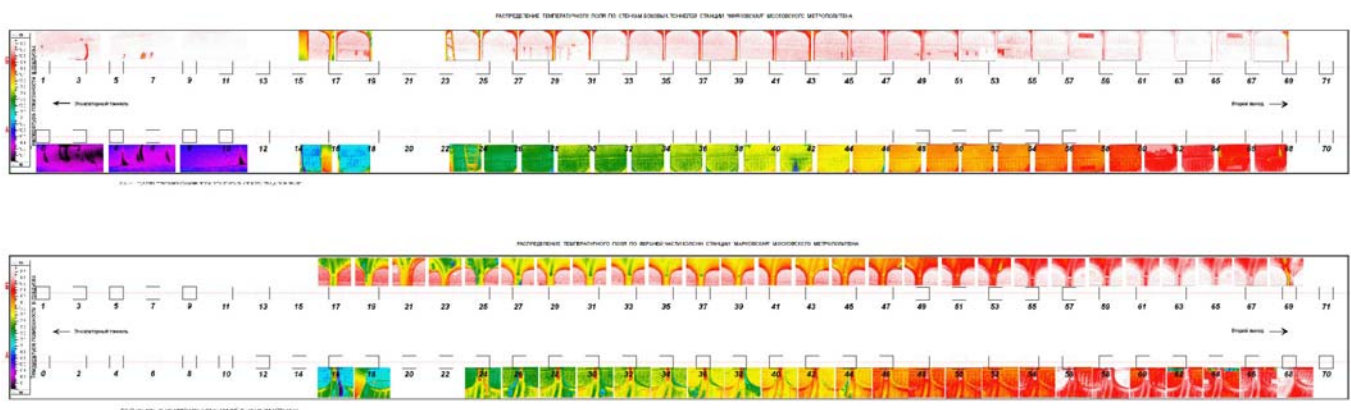


Рис. 2. Станция «Маяковская» Московского метрополитена. Результаты тепловизионной съемки стенки боковых тоннелей (вверху) и верхней части колонн и прогонов (внизу) наложенные на план станции.

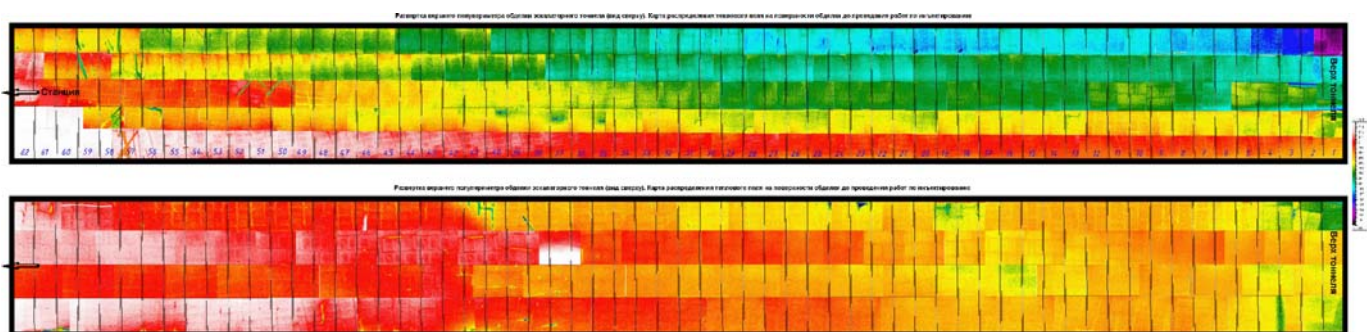


Рис. 3. Станция «Маяковская» Московского метрополитена. Развертка верхнего полупериметра эскалаторного тоннеля, с наложенными на нее результатами тепловизионной съемки, до выполнения работ по тампонажу за обделку (вверху) и в процессе выполнения работ на завершающей стадии (внизу)

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж. Госсорг Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. // - М. Мир, 1988.-498 с.
2. В.А.Дроздов, В.И.Сухарев Термография в строительстве. // -М., Стройиздат, 1987.- 240 с.