

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В последние годы в стране активно развивается применение новых способов диагностики и неразрушающего контроля. Среди наиболее перспективных — автоматизированные технологии тепловой дефектометрии.

Надежность технологий диагностики. Как отмечалось в статье о роли внутреннего аудита в развитии энергоменеджмента [1], «при любых обстоятельствах система показателей безопасности, надежности, эффективности и качества энергоснабжения, как целое, остается обязательным условием стабильности хозяйственной деятельности и должна быть положена в основу всех решений по формированию, функционированию и развитию энергокомплекса предприятия».

В указанной выше статье рассматривался метод функционально-энергетического анализа предприятия, позволяющий осуществить планомерную комплексную оптимизацию энергопотребления с позиций обеспечения экономичности, качества и надежности энергоснабжения.

В реализации этих подходов очень важное место занимают технологии контроля за энергоэффективностью и методы получения объективной информации о техническом состоянии контролируемого энергооборудования, инженерных коммуникаций и строительных сооружений.

При этом во главу угла должна быть поставлена проблема надежности используемых методов контроля и достоверности их результатов.

Например, оперативная регистрация энергопотребления с помощью АСКУЭ в общем случае считается более надежной, чем ручная регистрация показаний счетчиков в оперативном журнале. Человеческий фактор играет здесь зачастую отрицательную роль. Проверить, насколько вовремя и верно списаны с приборов учета их показания, можно, только оказавшись в момент контроля вместе с дежурным персоналом.

Не более надежной видится и ситуация с большинством старых «испытанных» способов диагностики технического состояния (с точки зрения контролируемости результата испытаний), проведение которых к тому же требует, как правило, длительного отключения контролируемого объекта от энергоснабжения.

Чтобы удостовериться в том, что испытания, к примеру, электрооборудования проводились на самом деле, а не на бумаге, а если проводились, то проведены качественно, существует единственный путь — повторное проведение этих испытаний, с последующим сопоставлением результатов. Однако вследствие дороговизны и нежелательности обесточивания объекта этот способ может рассматриваться скорее как гипотетический. Тем более когда речь идет об испытаниях электрооборудования повышенным напряжением или трубопроводов — повышенным давлением.

Высокая стоимость, необходимость длительного вывода из эксплуатации, опасность переходных процессов в моменты включения-отключения и экстремальные испытательные нагрузки приводят

еще и к тому, что традиционные испытания, как правило, проводятся до чрезвычайности выборочно: например, только по высоковольтным ячейкам, в то время как щитовые распределительной сети, проверка которых могла бы предотвратить возгорания из-за неисправной проводки, остаются без внимания.

В последние годы в России весьма активно развивается применение новых способов диагностики и неразрушающего контроля. И среди наиболее перспективных можно отметить **автоматизированные технологии тепловой (тепловизионной) дефектометрии**, построенные на базе теплового метода диагностики, адекватных математических моделей и решения обратных задач.

В отличие от традиционно предлагаемой дефектоскопии, лишь выявляющей дефекты, дефектометрия определяет их численные характеристики и, таким образом, позволяет перейти к классификации степени нарушения.

Указанные технологии и комплекс диагностического оборудования обеспечивают максимальную информативность и достоверность результатов неразрушающего контроля и должны найти распространение на предприятиях в качестве средств контроля, диагностики и мониторинга технического состояния и остаточного ресурса самого широкого спектра основных фондов.

Многофункциональность новых технологий диагностики. Наряду с надежностью, информативностью и достоверностью автоматизированной технологии тепловой дефектометрии одной из

особенностей является ее многофункциональность или комплексность получаемого результата. Например, одно испытание трансформатора рассматриваемым методом способно за несколько часов и под рабочей нагрузкой провести выявление и квалификацию дефектов:

- в изоляции элементов магнитопровода (нарушения, приводящие к возникновению дополнительных магнитных потоков рассеяния, образованию газов в масле и повышению его температуры);
- в обмотках (разбухание или смещение изоляции, межвитковые замыкания, повышенное сопротивление в проводах и контактах);
- в системе охлаждения (нарушение герметичности, наличие застойных зон циркуляции масла и т.д.)

Причем одним испытанием заменяется целый ряд традиционных испытаний:

- испытание бака трансформатора на плотность;
- проверка устройств охлаждения;
- проверка средств защиты масла от воздействия окружающего воздуха;
- измерение сопротивления изоляции элементов магнитопровода;
- измерение сопротивления изоляции обмоток;
- измерение сопротивления обмоток постоянному току;
- оценка состояния переключающих устройств (в части действующих контактных соединений).

Это делает многофункциональные технологии весьма привлекательными не только с позиций информативности и достоверности, но и с экономической точки зрения.

Помимо диагностики электрического и тепломеханического оборудования тепловая дефектометрия позволяет получать очень надежные результаты при оценке технического состояния строительных конструкций.

Контроль качества строительных конструкций — от определения состояния и остаточного ресурса до анализа энергоэффективности и разработки инженерных решений

по санации обследуемых объектов — одна из существенных и актуальных проблем для любого предприятия. В настоящее время **качеству строительных объектов на предприятиях уделяется необоснованно мало внимания, хотя оно напрямую связано с проблемами энергоэффективности (теплотери через наружные ограждающие конструкции) и надежности теплоснабжения (скорость остывания здания).**

Авторы статьи принимали участие в обследовании более 300 зданий, как находящихся в эксплуатации, так и вновь построенных. Более чем в 50% случаев были выявлены значительные нарушения технологии ремонтно-строительных работ и отступления от проекта по качеству тепловой защиты. В подвалах и цоколях даже новых зданий определены источники потенциальных разрушений из-за дефектов гидроизоляции, диффузии воды через стены, недостаточного воздухообмена и т.д. Это позволило своевременно выработать и провести мероприятия по снижению темпов износа строительных конструкций и вместе с тем добиться эффективного сокращения теплотребления на отопление зданий.

В области диагностики строительных объектов эффект многофункциональности описываемых технологий раскрывается особенно неожиданно.

При тепловой дефектометрии качества строительных конструкций выявляются:

- **аномальные зоны тепловых потерь и дефекты**, связанные с нарушением внутренней структуры строительных материалов и герметичности швов;
- **общее (связанное с тепловой нагрузкой) приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции здания** и его отклонение от энергоэффективного нормативного или проектного уровня (например, для стен здания норматив фактического приведенного сопротивления в зависимости от требуемого удельного расхода тепловой энергии в различных климатических зонах России ус-

тановлен в пределах 2,1—5,6 м² °С/Вт);

- **местное приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции здания** и связанные с ним **качество и толщина теплоизоляции;**
- **положение точки росы;**
- **глубина промерзания;**
- **промежуток времени, в течение которого возможно функционирование здания при аварийном отключении теплоснабжения.**

Организация тепловой дефектометрии. Спектр объектов, которые могут с высокой эффективностью диагностироваться на основе анализа их температурных полей, практически не ограничен. Это обусловлено тем, что либо функционирование объектов связано с температурными режимами, либо их внутренняя структура оказывает заметное воздействие на характеристики температурного поля, что дает возможность по анализу его аномалий судить об изменениях внутренней структуры материала в целом или его отдельных зон.

При этом регистрация и анализ изменения температуры контролируемого объекта во времени и по его поверхности позволяют определять наличие дефектов или повреждений в обследуемом объекте, признаки нештатных ситуаций при эксплуатации, реальные теплотехнические характеристики ограждающих конструкций.

После определения фактических значений данных характеристик необходим этап разработки программы санации, т.е. наилучших инженерных решений по приведению проконтролированных объектов в соответствие с нормативными требованиями.

Более того, и это следует особо отметить, каждый раз **перед разработкой проекта ремонта, реконструкции, восстановления нормативно-технических характеристик объекта комплексная предварительная диагностика для определения его фактического состояния является обязательной.** И нужно ли говорить, что лучшим вари-

антом такой диагностики будет включение в ее программу тепловых дефектометрических испытаний.

Последовательность технологических операций, выполняемых при проведении тепловой дефектометрии, можно проиллюс-

трировать на примере тепловизионной диагностики электрооборудования следующей таблицей:

№	НАИМЕНОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ
1	Подбор и изучение эксплуатационно-технической документации, заводских чертежей, исполнительной и монтажной схем на диагностируемое электрооборудование и сети электроснабжения. Анализ технических характеристик объекта, особенностей монтажа и режимов электропотребления по технической и другой полученной от заказчика документации. Выбор времени проведения испытаний и условий измерений, точек и способов контроля диагностируемого электрооборудования.
2	Подготовка к работе измерительных приборов, их калибровка. Проведение инструктажа по ТБ.
3	Внешний осмотр состояния поверхности и монтажа, комплектности элементов и узлов оборудования, выявление соответствия технической документации и исполнительной схеме.
4	Уточнение точек измерения и тепловизионной съемки, определение требуемого количества термограмм. Фотографирование объекта с выбранных точек.
5	Составление схемы измерений и тепловизионной съемки объекта. Оформление протокола внешнего осмотра, измерений и замечаний.
6	Измерение параметров окружающей среды (температуры, относительной влажности, скорости движения окружающего воздуха) для определения начальных условий диагностики с регистрацией в протоколе.
7	Визуальный контроль подключения выходных устройств диагностируемого электрооборудования к рабочей нагрузке, а силовых входов — к сети электроснабжения (для диагностики необходимо выделение тепла с поверхности объекта при работающей нагрузке).
8	Измерение в точке подключения электрооборудования к сети электроснабжения наличия фазного напряжения с регистрацией в протоколе, а также действующего значения линейного тока и многократная запись измерений его в течение испытаний с регистрацией в протоколе.
9	Бесконтактное измерение температуры с помощью тепловизора или ИК-сканера по всей площади поверхности диагностируемого электрооборудования с нескольких точек обзора и регистрация температурных полей на термограммах.
10	Проверка полноты и точности оформления протокола внешнего осмотра, измерений и замечаний.
11	Запись термограмм, фотоизображений и измеренных параметров в память компьютера. Составление на ЭВМ панорамных термограмм и фотоизображений объекта. Обработка результатов измерений исходных параметров. Контроль адекватности результатов измерений выбранной методике диагностики.
12	Приведение измеренных значений контролируемых параметров к стандартным условиям в соответствие с паспортными характеристиками оборудования и эксплуатационными особенностями. Сравнение термограмм с конструктивными особенностями и техническими характеристиками оборудования на основе технической документации на объект и приведенных значений измерений. Выявление и локализация тепловых аномалий на поверхности диагностируемого электрооборудования. Определение степени дефектности электрооборудования и характеристик выявленных дефектов в результате анализа обнаруженных тепловых аномалий.
13	Решение задачи минимизации погрешности.
14	Распечатка термограмм. Распечатка фотографий, привязка термограмм к фотографиям и монтаж панорамной термограммы. Выделение контрольных точек на панорамной термограмме и на фотоизображении.
15	Подготовка на ЭВМ предварительного отчета для внутренней экспертизы. Анализ отчета, внутренний контроль качества измерений и расчетов. Разработка и выдача рекомендаций по приведению объекта в соответствие с нормативными требованиями. Выпуск отчета-протокола, согласование с техническими службами и утверждение его руководителем.

Одно перечисление операций, думается, доказывает, что для получения надежных результатов тепловой дефектометрии недостаточно приобрести пусть даже самый лучший тепловизор. Необходим квалифицированный персонал, аттестованный на применение соответствующих методик, знакомый с техническими особенностями диагностируемого оборудования и режимами его эксплуатации.

Однако несмотря на то, что собственно тепловизионная съемка в процессе диагностики занимает весьма скромное место, именно регистрация температурных полей объекта с помощью термограмм в сочетании с фотографированием позволя-

ет четко зафиксировать как состояние объекта в момент испытаний, так и сам факт их проведения.

Особенности тепловой дефектометрии строительных конструкций. Как уже отмечалось, перед разработкой проекта утепления фасадов эксплуатируемых и восстанавливаемых зданий старого фонда должна проводиться тепловая дефектометрия. Цель этих испытаний:

- определение реального сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций как в целом по зданию, так и отдельных участков;
- определение плоскости промерзания также в целом по зданию и на отдельных участках;

- определение интервала времени, в течение которого здание может находиться без отопления при отключении системы теплоснабжения, например вследствие аварии.

Рисунок 1 иллюстрирует взаимосвязь качества конструкции (теплопотери через стены) и величины приведенного сопротивления теплопередаче. Например, увеличение сопротивления теплопередаче стен до требуемых норм 2-го этапа энергосбережения — $3,16 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ по сравнению с распространенными в настоящее время характеристиками теплозащиты — $1 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ позволит снизить теплопотери через стены на 70%.

Анализ движения фронта промерзания (или оттаивания) влаги, со-

держатся в наружных ограждениях здания, и координаты точки

В качестве примера, иллюстрирующего разработанный метод, на

Зависимость относительных теплотерь от приведенного сопротивления теплопередаче

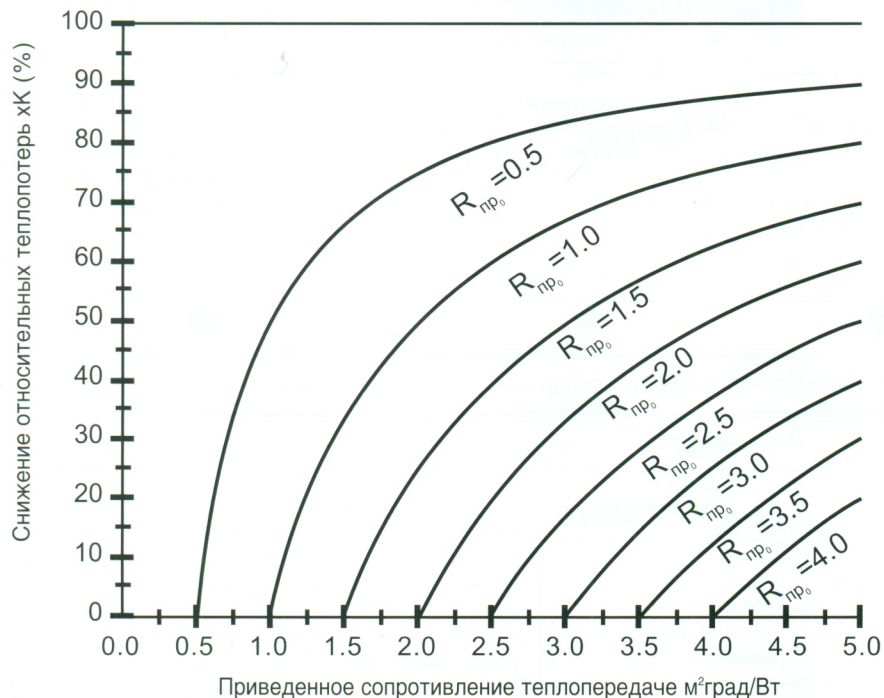


Рис. 1. Графики зависимости теплотерь от начального значения сопротивления теплопередаче

росы также имеют большое практическое значение, так как непосредственно связаны с вопросами долговечности и надежности ограждающих конструкций, формирования их реального тепловлажностного режима и сопротивления теплопередаче. Последний фактор определяет эффективность энергосбережения здания. А в зоне перемещения фронта промерзания вследствие знакопеременных климатических нагрузок создаются крайне неблагоприятные условия эксплуатации материала, которые выражаются в чередовании замерзания и оттаивания, что постепенно приводит к снижению прочности, разрушению теплоизоляции, а в конечном счете и к разрушению конструкции.

Анализ процесса промерзания рассматривается как задача, в которой изменение агрегатного состояния (переход воды в лед) происходит при определенной температуре T_k . То есть имеется четкая изотермическая граница, отделяющая область затвердевшего льда и жидкости.

рис. 2 приведен график движения фронта промерзания для двух видов стен: кирпич и пенополистирол. Температура на внешней поверхности стены принимается

рассмотрен в течение 24 часов. К исходу 24 часов глубина промерзания кирпича составляет 180 мм, а глубина промерзания пенополистирола – 130 мм.

Одной из крайне важных характеристик зданий является интервал времени, в течение которого здания может находиться без отопления, например при отключении системы теплоснабжения вследствие ее аварии. В течение планового эксплуатационного интервала времени необходимо успеть провести ремонтные работы или провести дренирование систем теплотребления для исключения размораживания.

В основе технологии определения планового эксплуатационного интервала времени лежит математическая модель, описывающая процесс нестационарной теплопередачи в наружных ограждающих и внутренних конструкциях, цокольном этаже и чердачном помещении здания с учетом граничных и начальных условий и внутренних источников энергии. В предлагаемой постановке тепловое состояние здания при возможной аварии в зимний период определяется расчетно-экспериментальным методом. Он включает совместное решение системы дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности в частных производных и связывающей их системы обычно-

Движение границы промерзания в однородной стене из кирпича и пенополистирола с учетом эффектов скачка теплоемкости границе

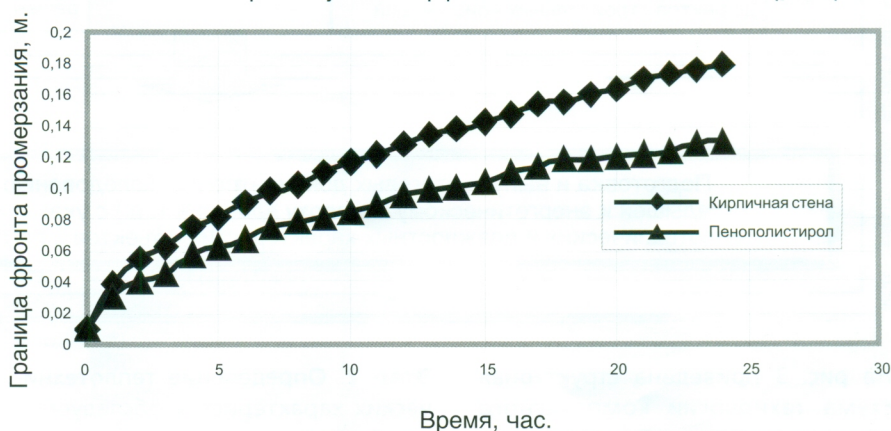
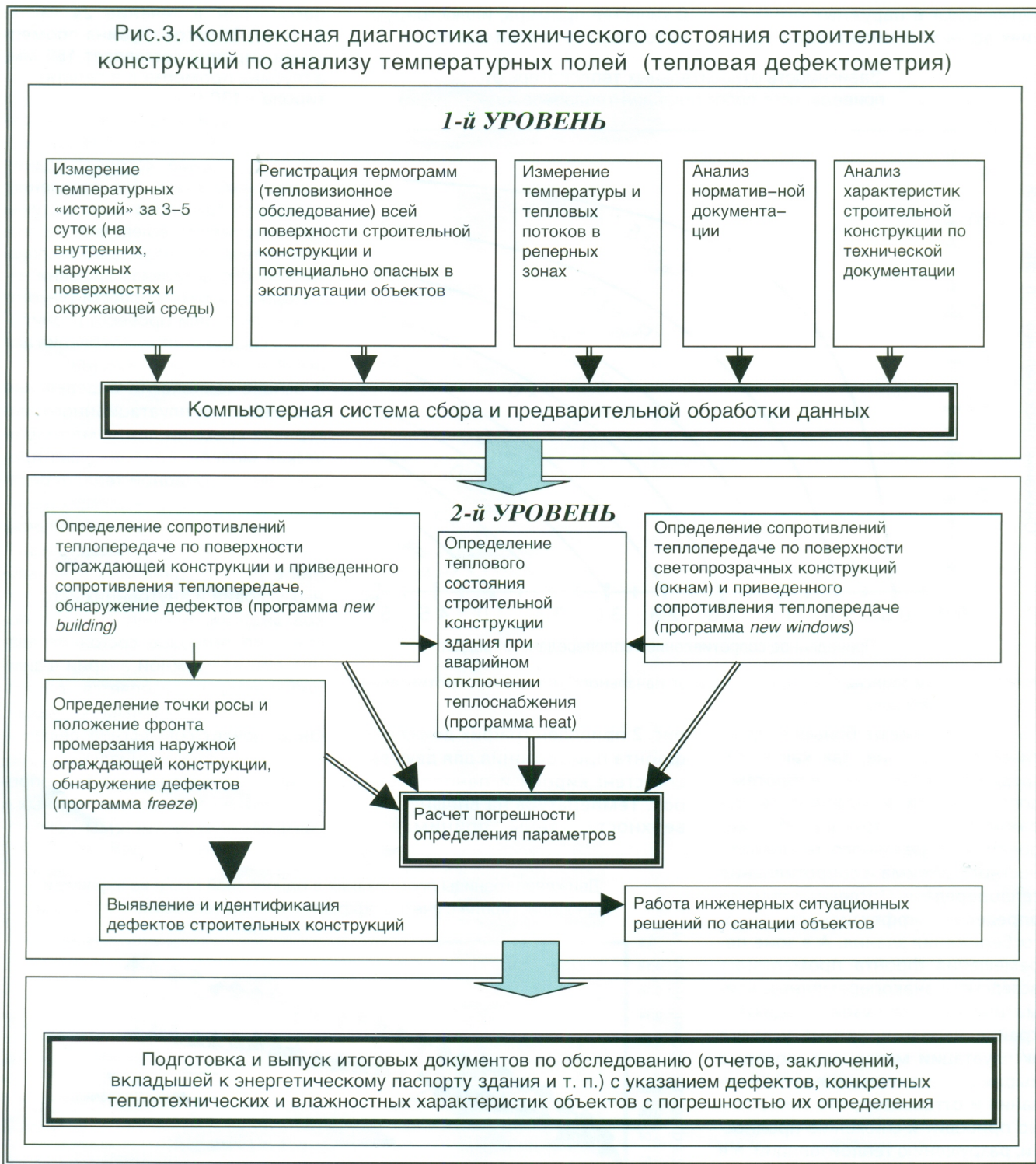


Рис. 2. Графическое представление границы промерзания по толщине стены

равной $T_n=-20^{\circ}\text{C}$, температура внутренней поверхности — $T_0=20^{\circ}\text{C}$, температура замерзания влаги — $T_k=0^{\circ}\text{C}$. Процесс промерзания

внутренних дифференциальных уравнений теплового баланса с учетом соответствующих граничных и начальных условий.

Рис.3. Комплексная диагностика технического состояния строительных конструкций по анализу температурных полей (тепловая дефектометрия)



На рис. 3 приведена структурная схема технологии комплексного обследования зданий и строительных конструкций. Она включает три основных этапа:

Этап 1. Регистрация первичной информации с контролируемого объекта в реальных условиях его эксплуатации.

Этап 2. Определение теплотехнических характеристик обследуемого объекта.

Этап 3. Подготовка отчетных материалов и заключений с оформлением вкладыша к энергетическому паспорту здания.

Обеспечение качества тепловой дефектометрии. В настоящее

время тепловизионные обследования получили уже довольно широкую известность. Однако до сих пор речь идет в основном о дефектоскопии. Определение количественных характеристик дефекта может декларироваться, но на практике фирмы, занимающиеся такими обследованиями, просто «подгоня-

ют» свои заключения по классификации выявленных дефектов под допустимый для заказчика (а иногда и требуемый) результат.

Исследования показали, что без дополнительных контактных измерений и специальных моделей приведения к стационарным нормируемым условиям погрешность измерений, например приведенного сопротивления теплопередаче, может достигать 300%. Ясно, что при такой точности выводы о характере дефекта могут быть любыми, а последствия использования этих выводов — катастрофическими.

Наименьшая и при этом вполне удовлетворительная погрешность, укладываемаяся в требования ГОСТа (15%), обеспечивается при использовании способа неразрушающего контроля качества объекта, основанного на сочетании контактных и бесконтактных измерений со специальным аппаратом анализа их результатов, запатентованного Технологическим институтом «ВЕМО».

Методики тепловизионной диагностики различного оборудования и строительных конструкций, разработанные на основе этого способа неразрушающего контроля, аттестованы Госстандартом России и дают погрешность не более 10%. А это уже та метрология, которая позволяет точно диагностировать характер выявленных дефектов, надежно определять их количественные параметры.

Таким образом, можно рекомендовать для обеспечения необходимого качества при применении тепловизионной диагностики руководствоваться хотя бы тремя простыми правилами:

- 1) средства измерения должны иметь функцию длительной архивации показаний, достаточную надежность и точно установленную погрешность, что не всегда удостоверяется поверочным актом;
- 2) тепловизионная лаборатория должна пройти аттестацию системы экспертизы промышленной безопасности;
- 3) персонал лаборатории должен использовать методики теплови-

зионной диагностики, аттестованные Госстандартом РФ, и сдать квалификационные экзамены на их применение.

Если эти требования соблюдены, то можно не сомневаться, что энергоменеджмент предприятия получит действенную помощь и обеспечит выход на новый уровень безопасности, надежности, эффективности и качества работы своего энергетического хозяйства.

Применение многофункциональной тепловой дефектометрии на порядок весомее традиционных испытаний, хотя оно и не претендует на полное исключение их использования из практики.

Т.Е. ТРОИЦКИЙ-МАРКОВ,
председатель Комитета

по методологии саморегулируемой организации профессиональных энергоаудиторских компаний (ОПЭК);
Д.В. СЕННОВСКИЙ,

эксперт Комитета по методологии саморегулируемой организации профессиональных энергоаудиторских компаний (ОПЭК)

О.Н. БУДАДИН, докт. техн. наук,
директор по науке
Технологического института энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО»;

Литература:

1. Т.Е. Троицкий-Марков. «Внутренний энергоаудит как база организации надежного и эффективного энергоменеджмента на предприятии». «Энергослужба предприятия». 2004, №3, с. 40—43.
2. О.Н. Будадин, З.Г. Салихов, Е.В. Абрамова, Т.Е. Троицкий-Марков, «Особенности тепловизионной диагностики электрооборудования». «Энергослужба предприятия». 2004, №1, с. 6—9.
3. «Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом». Свидетельство об ат-

тестации Госстандарта РФ №09/442-2001. «ВЕМО» 04.00.00.000 ДМ (с изменениями 2004 г.)

4. «Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом (летний вариант)». Свидетельство об аттестации Госстандарта РФ №02/442-2002. «ВЕМО» 05.00.00.000 ДМ (с изменениями 2004 г.)
5. «Методика диагностики и определения текущего положения точки росы и плоскости промерзания наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом». Свидетельство об аттестации Госстандарта РФ №51/442-2004. «ВЕМО» 10.00.00.000 ДМ.
6. «Методика диагностики и энергетических обследований светопрозрачных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом». Свидетельство об аттестации Госстандарта РФ №52/442-2004. «ВЕМО» 09.00.00.000 ДМ.
7. «Методика тепловизионной неразрушающей диагностики электрооборудования». Свидетельство об аттестации Госстандарта РФ №022/442-2003. «ВЕМО» 08.00.00.000 ДМ (с комментариями).
8. «Методика тепловизионной диагностики дымовых труб и газоходов». Свидетельство об аттестации Госстандарта РФ №11/442-2002. «ВЕМО» 07.00.00.000 ДМ.
9. «Технологический регламент по теплотехническим обследованиям, неразрушающему контролю и диагностике технического состояния тепловыделяющих объектов автоматизированным бесконтактным тепловизионным методом». Свидетельство об аттестации Госстандарта РФ №06/442-2001. «ВЕМО» 3.00.00.000 ДМ.



Энергослужба **предприятия**

НОВОСТИ ОБЗОРЫ АНАЛИЗ ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

№4 (10)/2004

СОБЫТИЕ
Форум РСВЕХРО-2004
стр. 4

ОБОРУДОВАНИЕ
Безмасляные компрессоры
стр. 20

РЫНКИ
**Трубопроводная
арматура**
стр. 32