

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ И СВОЙСТВ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ (ВКЛЮЧАЯ НАНООБЪЕКТЫ)

В.Н. Чернышов¹, В.П. Шелохвостов², Э.В. Сысоев¹,
М.В. Макачук², А.В. Чернышов¹

*Кафедры: «Криминалистика и информатизация правовой
деятельности» (1); elters@crimeinfo.jesby.tstu.ru;
«Материалы и технология»(2),
ГОУ ВПО «ТГТУ»*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: неразрушающий контроль; тепловое воздействие; теплофизические свойства.

Аннотация: Разработан комплекс новых методов измерений теплопроводности и температуропроводности многослойных строительных конструкций и изделий. Предложены методы технологического контроля при синтезе строительных материалов и модификации их нанообъектами. Данные методы позволяют определять (оценивать) теплофизические свойства изделий с учетом различных дестабилизирующих факторов, в том числе и тепловых потерь в окружающую среду, и повышают воспроизводимость свойств изделий и точность результатов измерений искомых характеристик. Рассмотрены перспективы применения предложенных методов в различных технологических процессах для контроля качества материалов и готовых изделий.

Современный уровень развития производства в важнейших и ответственных отраслях техники требует проведения постоянно усложняющихся измерительных экспериментов. Особое место среди них занимают неразрушающие методы контроля и технической диагностики, характеризующиеся высокой сложностью физического эксперимента, требованием детального математического описания физических процессов в контролируемых объектах измерения, необходимостью проведения корректного метрологического анализа результатов измерений. С учетом расширяющегося модифицирования материалов нанообъектами область этих методов контроля распространяется на технологию производства конструкций и изделий из наномодифицированных материалов.

Одними из основных показателей качества большинства из синтезируемых новых конструкционных, электроизоляционных, строительных и теплозащитных материалов являются теплофизические свойства (**ТФС**). Во многом они определяются структурными состояниями, создаваемыми на стадии синтеза с участием нанообъектов. По этой причине целесообразно использовать неразрушающие методы контроля (**НК**) параметров структуры и теплофизические свойства нанообъ-

ектов, используемых для получения наномодифицированных материалов. Эти методы позволяют с высокой оперативностью, надежностью и производительностью осуществлять контроль технологических процессов, а также ТФС материалов и готовых изделий из них.

Сложность и большой объем экспериментальных исследований по определению качества, долговечности и надежности синтезированных материалов и готовых изделий из них требуют как совершенствования традиционных, так и создания новых эффективных методов и средств контроля.

В настоящее время в целях экономии топливно-энергетических ресурсов при резко возросшей стоимости энергоносителей в строительной теплотехнике широко используются многослойные ограждающие конструкции (стенные панели, наружные перекрытия, стыковые соединения, перегородки, полы, элементы кровли и т.д.), через которые идут основные теплопотери зданий и сооружений. Расширяется практика использования при этом нанообъектов в качестве модифицирующих добавок, в несколько раз меняющих контролируемые параметры в ту или другую сторону в зависимости от их концентрации и технологических параметров. В этой связи актуальным является как определение соответствия теплозащитных свойств (в основном по сопротивлению теплопередаче и теплопотерям) нормативным документам СНиП, так и соответствия установленному технологическому процессу.

Таким образом, при разработке, производстве, испытании и эксплуатации качественных многослойных строительных конструкций (изделий) необходимо иметь информацию о ТФС наномодифицированных строительных материалах, о теплозащитных свойствах всей конструкции и отдельных ее слоев, так как эти свойства в данном случае являются параметрами, определяющими качество таких изделий.

Решение актуальнейших задач НК ТФС многослойных строительных конструкций и изделий было реализовано при разработке комплекса новых методов и реализующих их систем [1], приведенных в данной работе. Рассматриваемый комплекс представлен шестью группами методов. Одна из разработанных групп касается тестирования нанокомпонентов при изготовлении наномодифицированных строительных материалов, другие пять групп относятся к определению ТФС готовых изделий и конструкций.

1. *Контактный метод НК ТФС трехслойных строительных конструкций* состоит в одновременном использовании начальной стадии нестационарного (импульсно-динамического) и квазистационарного тепловых режимов в исследуемом многослойном изделии [2, 3].

На каждую из наружных поверхностей многослойной конструкции симметрично устанавливаются по одному зонду (рис. 1), в плоскости контакта первого из которых расположены дисковый нагреватель (ДН) и два линейных нагревателя ЛН1 и ЛН2, закрепленные на заданном расстоянии от центра ДН. В этом же центре контактной плоскости помещена термопара Тп1. В контактной плоскости на заданном расстоянии x_1 от линейных источников ЛН1 и ЛН2 помещены рабочие термодпары ТР1 и ТР2, а во втором зонде на этом же расстоянии от ЛН3 и ЛН4 помещены ТР3 и ТР4. Вспомогательные термодпары ТВ1 и ТВ2 в первом зонде и ТВ3, ТВ4 во втором зонде помещают на расстояниях, близких соответственно к толщине первого R_1 и третьего R_3 слоев исследуемого изделия. В плоскости контакта второго термодзонда расположен датчик теплового потока Tq , а также в центре круга датчика теплового потока вмонтирована вторая термопара Тп2.

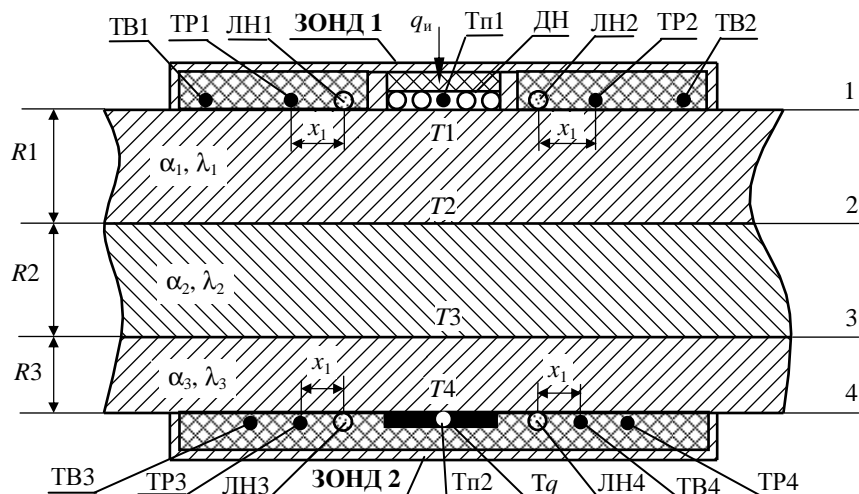


Рис. 1. Схема расположения нагревателей и термодатчиков в методе НК ТФС трехслойных строительных конструкций

Определение ТФС наружных слоев конструкций осуществляют в соответствии с алгоритмом измерения, сущность которого заключается в следующем. Вначале осуществляют тепловое воздействие одиночным тепловым импульсом заданной мощностью q_n , которая составляет не более 10...15 % от мощности $Q_{терм}$, при которой температура на линии действия источника тепла достигнет 0,6...0,8 значения температуры термодеструкции исследуемого материала, и определяют время релаксации $\tau_{рел}$ температурного поля в точке поверхности исследуемого тела, расположенной на заданном расстоянии x_1 от линии действия источника тепла. Затем определяют минимальную частоту следования тепловых импульсов в соответствии с зависимостью

$$F_{min} = k/\tau_{рел},$$

где k – коэффициент, задаваемый в диапазоне от 2 до 5. Осуществляют тепловое воздействие от линейного источника тепла, увеличивая частоту тепловых импульсов до момента, когда на ТВ1 и ТВ2 первого зонда или ТВ3 и ТВ4 второго зонда появится избыточная температура, величина которой будет составлять 0,1...0,2 К. При этом определяют максимальную частоту тепловых импульсов F_{max1} , F_{max2} соответственно для первого и второго наружных слоев, то есть определяют возможные диапазоны частот тепловых импульсов, при которых внутренний слой исследуемого изделия практически не оказывает влияния на температурные поля в наружных слоях при действии линейных импульсных источников тепла. Затем осуществляют тепловое воздействие от линейных источников тепла первого зонда, увеличивая частоту тепловых импульсов в соответствии с определенной зависимостью. Увеличение частоты следования тепловых импульсов осуществляют до тех пор, пока установившееся квазистационарное значение температуры в точке контроля достигнет наперед заданного значения $T_{зад1}$, то есть

$$\Delta T_i = T_{зад1} - T(\tau_i) = 0.$$

Установившееся значение температуры в точке контроля достигается тогда, когда очередной тепловой импульс из серии импульсов, подаваемых линейным источником, изменяет температуру в этой точке на величину, меньшую порога чувствительности ϵ контрольно-измерительной аппаратуры ($\epsilon \leq 0,01$ °С). Определяют

частоту тепловых импульсов F_{x1} , после чего в соответствии с той же начинают увеличение частоты тепловых импульсов до тех пор, пока значение избыточной контролируемой температуры в той же точке x_1 не достигнет второго, наперед заданного значения $T_{зад2}$. Определяют при этом частоту тепловых импульсов F_{x2} и по полученным данным определяют искомые ТФС обоих наружных слоев [2, 3].

Для определения ТФС материалов внутреннего слоя конструкции включают ДН и осуществляют подвод к поверхности конструкции удельного теплового потока через круг до тех пор, пока на противоположной поверхности конструкции не появится тепловой поток. Измеряют при этом величину теплового потока q_x , а также температуру на поверхности многослойной конструкции с помощью термомпар Тп1, Тп2. Используя полученные данные, определяют ТФС внутреннего слоя [2, 3].

Основным преимуществом разработанного метода НК ТФС по сравнению с известными методами является возможность с большой точностью и достоверностью контролировать ТФС трехслойных строительных изделий без нарушения их целостности и эксплуатационных характеристик.

2. Метод бесконтактного НК ТФС двухслойных строительных конструкций влияет на результаты измерения степени черноты исследуемых объектов и прозрачности промежуточной среды между исследуемыми объектами и приемно-излучательными блоками [4, 5].

Над исследуемым двухслойным изделием I вначале с одной стороны помещают точечный источник тепловой энергии 2 и два термомприемника 3 и 4 , сфокусированных на поверхность, подверженную тепловому воздействию (рис. 2).

В качестве точечного источника тепловой энергии используется лазер, сфокусированный на поверхность исследуемого образца. Источник энергии 2 и термомприемник 3 жестко связаны друг с другом и представляют собой измерительный зонд. Термомприемники, установленные на высоте z от поверхности исследуемого образца, жестко связаны соответственно с экранами 5 и 6 , расположенными с зазорами от поверхности образца на высоте z_0 . Термомприемник 3 установлен от источника 2 на расстоянии R_1 , при котором с учетом экрана 5 , расположенного от поверхности образца на высоте z_0 , обеспечивается отсутствие влияния источника энергии на результаты измерений температуры из-за прямого воздействия на термомприемник частично отраженного от поверхности исследуемого объекта лазерного луча.

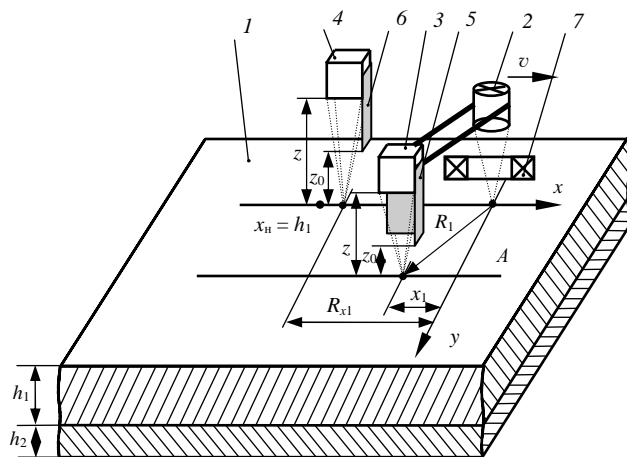


Рис. 2. Схема расположения источника теплового излучения и термомприемников в бесконтактном методе НК ТФС двухслойных строительных конструкций

Вначале перемещают термодатчик 4 над исследуемым образцом и измеряют им температуру на поверхности исследуемого объекта. Синхронно с этим, используя высокоточный электрический термометр, измеряют температуру окружающей среды. В результате этого, используя отношение средней температуры, измеренной термодатчиком на поверхности объекта, к средней температуре окружающей среды, определяется коэффициент k , учитывающий значения степени черноты ϵ поверхности исследуемого образца и прозрачности β окружающей среды, разделяющей поверхность исследуемого образца и приемно-излучательные блоки измерительной системы. Далее фокусируют термодатчик 4 в точку поверхности x_n , расположенную на линии движения источника и на расстоянии от пятна нагрева, равном толщине слоя изделия h_1 . Включают источник энергии мощностью $q_{ит}$ и постепенно смещают термодатчик 4 из точки x_n по линии движения к источнику тепла в соответствии с определенной зависимостью. Изменение расстояния (перемещение) между точкой измерения температуры термодатчиком и точкой подвода теплоты осуществляют до тех пор, пока измеряемая избыточная температура $T_1(x)$ станет равной значению измеряемой первым термодатчиком температуры $T_2(R_1)$. При этом измеряют значение расстояния R_{x1} между вторым термодатчиком и точкой подвода теплоты.

Затем, увеличив мощность источника в два раза, повторяют вышеописанную процедуру изменения расстояния между точкой измерения температуры вторым термодатчиком и точкой подвода теплоты и по полученным данным определяют искомые ТФС по следующим зависимостям [4, 5]:

$$a = \frac{v(R_1 - x_1)}{2 \ln \left[\frac{R_{x1}}{R_1} \right]}; \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{k q_{ит} (\sqrt{2} - 1)}{\pi T_1(x) [2\sqrt{2}R_{x1} - R_{x2}]}. \quad (2)$$

Особенностью разработанного метода является то, что в нем, в отличие от известных методов, определяется коэффициент k , учитывающий значения степени черноты ϵ поверхности исследуемого образца и прозрачности β окружающей среды. Кроме того, более точно учитываются изменения величин тепловых потерь с поверхности исследуемого объекта в окружающую среду при изменении мощности источника тепла в два раза. Это позволяет почти полностью устранить их влияние на результаты измерений, что в итоге существенно повышает метрологический уровень разработанного метода. Предложенный метод позволяет практически полностью исключить влияние коэффициента излучения ϵ на результаты измерений, так как в нем используется отношение сигналов с двух термодатчиков и по условиям измерений $T_1(x) = T_2$, то есть на результаты измерений практически не влияет значение коэффициента излучения ϵ и его зависимость от температуры. Погрешность измерения температуры в большей степени влияет на вычисление температуропроводности a , чем погрешность измерения расстояния R_x , так как значение этого расстояния на три порядка меньше значения измеряемых температур, а так как в предложенном способе

$$T_1(x) / T_2 = 1,$$

то значение коэффициента температуропроводности a практически не зависит от погрешности термоприемников, что также уменьшает погрешность его определения. Использование измерительного зонда (второго термоприемника), в сравнении с известными методами, позволяет сократить число проводимых измерительных процедур, что приводит к уменьшению времени определения теплофизических свойств материалов.

3. *Бесконтактный адаптивный метод НК ТФС двухслойных строительных конструкций* [6] имеет высокую точность и полную гарантию сохранения целостности и эксплуатационных характеристик исследуемых объектов в условиях ограниченной априорной информации об их свойствах, обусловленных адаптацией энергетических параметров теплофизического эксперимента и коррекцией результатов измерения на тепловые потери в окружающую среду, степень черноты поверхности исследуемых объектов и коэффициент прозрачности среды.

Над исследуемым изделием 1 помещают точечный источник тепловой энергии 2 и два термоприемника 3 и 4 , сфокусированных на поверхность, подверженную тепловому воздействию (рис. 3). Перемещение термоприемника 3 осуществляется по оси x , а термоприемника 4 – по параллельной ей прямой A . Регулирование величины теплового воздействия на поверхность исследуемого образца осуществляется оптическим затвором 5 , который осуществляет частотно-импульсную модуляцию лазерного луча.

Вначале как во втором методе определяют коэффициент k , зависящий от степени черноты ϵ поверхности исследуемого образца и прозрачности β окружающей среды. Далее включают источник энергии и оптический затвор с начальной минимальной частотой F_{\min} модуляции лазерного луча, фокусируют термоприемник 3 в точку на линии движения источника тепла на расстоянии от пятна нагрева h_1 , равном толщине исследуемого слоя, и начинают перемещение измерительного зонда над исследуемым изделием с постоянной скоростью v .

Увеличивают частоту подачи тепловых импульсов до величины, при которой в контролируемой точке h_1 появится избыточная температура, величина которой будет составлять $0,1 \dots 0,2$ К. При этом определяют максимальную частоту тепловых импульсов F_{\max} , ниже которой второй слой изделия практически не будет оказывать влияния на тепловой процесс в исследуемом слое и при этом будет обеспечиваться сохранение целостности исследуемых объектов.

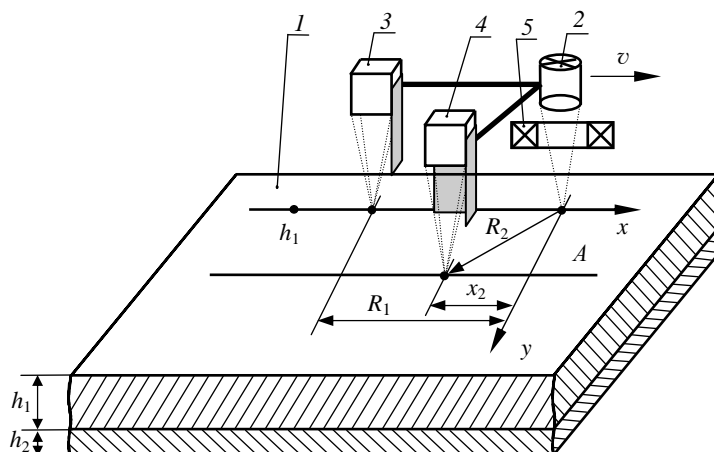


Рис. 3. Схема расположения точечного источника тепла и термоприемников в адаптивном по мощности теплового воздействия бесконтактном методе контроля ТФС двухслойных изделий

Затем смещают точку фокусировки термоприемника 3 по линии движения источника на расстояние R_1 от пятна нагрева, причем расстояние R_1 берется равным $(0,2 \dots 0,3) h_1$, а термоприемник 4 в точку, расположенную на расстоянии R_1 от источника тепла на линии A .

Далее постепенно увеличивают частоту прерывания лазерного луча F , начиная с F_{\min} , в соответствии с определенной зависимостью.

Изменение частоты подачи тепловых импульсов F от источника тепла осуществляют до тех пор, пока измеряемая в точке контроля R_1 избыточная температура $T_{R1}(F_i)$ станет равной заданному значению температуры $T_{\text{зад}}$. При этом измеряют значение частоты F_1 и значение избыточной температуры $T(R_2)$ в точке контроля, расположенной на расстоянии R_2 от центра пятна нагрева. Затем, увеличив заданное значение избыточной температуры $T_{\text{зад}}$ в два раза, повторяют вышеописанные процедуры измерения. В результате определяют значение параметра F_2 , при котором выполняется вышеуказанное соотношение контролируемых избыточных температур. Используя полученные данные, определяют искомые ТФС по следующим зависимостям [6]:

$$a = \frac{v(R_2 - x_2)}{2 \ln \left[\frac{T_{\text{зад}} R_1}{T(R_2) R_2} \right]}; \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{k F_2 \tau_{\text{имп}} q_{\text{ит}} (\sqrt{F_2/F_1} - 1)}{2\pi R_1 T_{\text{зад}} [(F_2/F_1)^{3/2} - 2]}, \quad (4)$$

где $\tau_{\text{имп}}$ – длительность одного теплового импульса, с.

Отличительной особенностью разработанного метода от известных бесконтактных методов является то, что в расчетной формуле для определения теплопроводности вводится поправка, более точно учитывающая изменения величин тепловых потерь с поверхности исследуемого объекта в окружающую среду при изменении мощности источника тепла в n раз. Это позволяет устранить влияние на результаты измерений тепловых потерь с поверхности исследуемых объектов в окружающую среду, что в итоге существенно повышает метрологический уровень разработанного метода.

4. Комбинированный оперативный метод НК ТФС трехслойных строительных конструкций [7, 8].

Для повышения, в первую очередь, оперативности и производительности контроля ТФС многослойных (трехслойных) строительных конструкций предлагается комбинированный подход, в котором ТФС наружных слоев определяются бесконтактным нестационарным методом (второй метод), а ТФС внутреннего слоя – контактным методом с использованием квазистационарного теплового режима (первый метод).

Основным преимуществом разработанного метода по сравнению с известными является повышение оперативности контроля трехслойных изделий за счет использования комбинации контактного и бесконтактного тепловых воздействий на исследуемый объект. Оперативность контроля обусловлена тем, что при определении ТФС наружных слоев трехслойного изделия используется бесконтактный метод измерения параметров теплофизического эксперимента. Кроме того, при бесконтактном определении ТФС наружных слоев изделий исключается из результатов измерений погрешность от влияния контактных термосопротивлений, величина которых, как показывает практика теплофизических измерений, составляет не менее 15...25 %, носит случайный характер, зависит от многих параметров контактирующих тел, поэтому практически не может быть учтена путем ве-

дения поправок или коррекцией результатов измерений. Сканирование над большими участками исследуемых наружных слоев измерительным зондом, состоящим из лазерного источника тепла и термоприемника, позволяет получить значительно большее, чем в известных методах, количество информации об объекте исследования, что существенно повышает достоверность и точность результатов измерения искомым ТФС.

Существенным преимуществом разработанного комбинированного метода НК ТФС трехслойных изделий является использование адаптивных процедур при оптимизации энергетических параметров теплофизического эксперимента, что, во-первых, исключает возможность разрушения исследуемых объектов из-за нагрева их до температур плавления, горения и т.д., во-вторых, повышает точность и достоверность искомым ТФС.

5. *Бесконтактный метод НК ТФС двухслойных строительных конструкций* основан на использовании неподвижного измерительного зонда.

Особенностью всех методов НК ТФС материалов, использующих подвижный измерительный зонд (источник излучения в совокупности с термоприемниками), является то, что в процессе измерений при его движении над поверхностью образца происходит изменение свойств исследуемого объекта (шероховатости, степени черноты) в зависимости от местоположения пятна нагрева, обусловленное тем, что свойства поверхности материала, как правило, не являются однородными по всей его площади. Таким образом, данная особенность не позволяет в полной мере компенсировать тепловые потери, вызванные отражением луча лазера от поверхности образца, поскольку по мере движения пятна нагрева коэффициент поглощения в каждой из точек, лежащих на траектории теплового воздействия, будет постоянно изменяться. Еще один общий недостаток рассматриваемых методов – наличие механически подвижных узлов, имеющих различные люфты, дребезг, которые вносят дополнительные погрешности в результаты измерений.

Для устранения этих недостатков, присущих рассмотренным выше методам измерения ТФС материалов, разработан новый метод, сущность которого заключается в следующем [9]. Над исследуемым образцом 1 помещают неподвижный точечный источник тепла (лазер) 2 и термоприемники 3, 4 (рис. 4). Причем термоприемник 4 установлен от источника 2 на расстоянии R_2 , которое меньше значения толщины h_1 верхнего слоя строительной конструкции. Этим обеспечивается такой режим нагрева, при котором исследуемый верхний слой конструкции можно считать полубесконечным в тепловом отношении телом, так как на тепловой режим в этом случае не будет практически оказывать влияние второй (нижний) слой строительной конструкции.

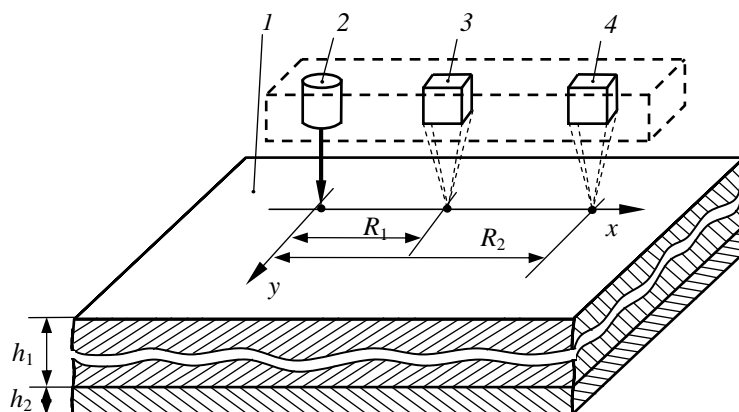


Рис. 4. Схема расположения точечного источника энергии и термоприемников относительно исследуемой двухслойной строительной конструкции

Вначале как во втором методе определяют коэффициент k . Далее включают источник тепла 2 и производят нагрев. В заданный момент времени τ_1 термодатчиками 3, 4 производят измерение избыточных температур T_1, T_2 в точках контроля, расположенных на расстояниях R_1 и R_2 соответственно от центра пятна нагрева. Затем продолжают нагрев до тех пор, пока в некоторый момент времени τ_x термодатчик 4 не зафиксирует увеличение избыточной температуры в точке R_2 до величины

$$T_{2\text{зад}} = mT_2,$$

где коэффициент $m = [1,05 \dots 1,15]$. Используя измеренные параметры T_1, T_2 и τ_x определяют искомые ТФС по следующим зависимостям [9]:

$$a = \frac{1}{\pi\tau_1} \left(\frac{R_1 R_2 (T_1 - T_2)}{R_1 T_1 - R_2 T_2} \right)^2; \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{k q_{\text{ит}} \left(\frac{\tau_x}{\tau_1} - 1 \right)}{4\pi R_2 \left[\frac{\frac{\tau_x}{\tau_1} T_2}{\left(1 - \frac{R_2}{\sqrt{\pi a \tau_1}} \right)} - \frac{T_{2\text{зад}}}{\left(1 - \frac{R_2}{\sqrt{\pi a \tau_x}} \right)} \right]}. \quad (6)$$

Отличительной особенностью этого метода является то, что в нем используются неподвижно закрепленные источник излучения и термодатчики. Это позволяет устранить погрешности, присущие методам с подвижным измерительным зондом, и в большей степени уменьшить влияние тепловых потерь в окружающую среду на результаты измерений искомого ТФС, что существенно повышает метрологический уровень разработанного метода. Кроме того, отсутствие высокоточных механически подвижных узлов позволяет значительно уменьшить стоимость устройства, реализующего предложенный метод. Таким образом, использование неподвижного измерительного зонда позволяет повысить точность контроля и расширить функциональные возможности предложенного метода по диапазонам и классам исследуемых материалов.

6. *Группа резонансных методов обнаружения* (или тестирования) наноконструкций модифицированных материалов по физическим параметрам и структурным изменениям среды представлена несколькими разработками [10, 11].

Метод обнаружения и идентификации нанобъектов в технологических средах по структурным изменениям среды [10] заключается в том, что технологическая среда подвергается воздействию когерентного излучения, несущего инфракрасные характеристики исследуемых нанобъектов (модулированное лазерное излучение), в спектре поглощения определяют положение максимума полосы поглощения, его пиковую интенсивность, полуширину полосы поглощения. По возросшей интенсивности в положении максимума полосы поглощения и уменьшению ширины полосы пропускания в сравнении с не модифицированной средой определяют присутствие контролируемых нанобъектов и готовность наномодификатора. Метод реализуется с использованием разработанного устройства, показанного на рис. 5.

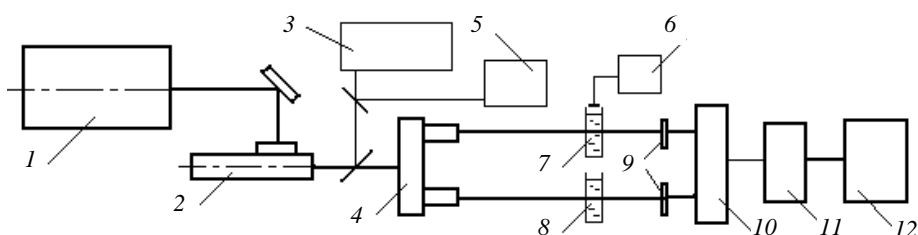


Рис. 5. Схема комплекса для спектрального анализа:

1 – лазер накачки; 2 – лазер с переменной длиной волны; 3 – спектрометр; 4 – делитель;
 5 – гониометр; 6 – дифракционная решетка; 7 – кювета с исследуемым раствором;
 8 – кювета с дистиллированной водой (эталон); 9 – фотоприемники; 10 – АЦП;
 11 – процессор; 12 – компьютер

В альтернативном методе обнаружения и определения концентрации нанобъектов в сложных растворах [11] также используются резонансные явления. Обнаружение нанобъектов в аналогичном модификаторе осуществляется путем изменения системы нанобъект–вода–генератор–усилитель до состояния резонанса. При этом резонансное состояние достигается двумя способами. Изменением структурного состояния системы нанобъект–вода до возникновения резонанса при взаимодействии с электрическим током I постоянной характеристики ($I = \text{const}$) или же при возникновении автоколебаний в кондуктометрической цепи при взаимодействии генератора–усилителя и подготавливаемого модификатора (вода + нанобъект). Определение концентрации нанобъектов в модификаторе осуществляется по величине резонансного максимума при его кондуктометрическом исследовании.

Полученная среда используется в дальнейшем технологическом процессе производства строительных материалов и элементов конструкций, например железобетонных. При этом прочностные характеристики увеличиваются в 1,3...1,6 раза за счет единообразной подготовки модификатора (вода + наноконпонент), контролируемой предложенными методами.

Созданные методы реализованы в виде микропроцессорных информационно-измерительных систем, позволяющих тестировать вводимые наноконпоненты, определять весь комплекс ТФС строительных материалов и изделий с достаточной для технологического контроля точностью и оперативностью.

Проведенные экспериментальные исследования разработанных методов и систем НК ТФС многослойных строительных конструкций и изделий показали корректность основных теоретических выводов, положенных в их основу.

Созданные методы и системы НК ТФС многослойных строительных конструкций и изделий внедрены в производство во многих строительных организациях различных городов России. Использование этих микропроцессорных систем в строительстве позволяет создавать оптимальную дополнительную теплоизоляцию ограждающих конструкций зданий и сооружений, чем обеспечиваются условия энергосбережения в градостроительном комплексе России.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль теплозащитных свойств многослойных строительных изделий / А.В. Чернышов [и др.]. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 112 с.
2. Пат. 2245538 Российская Федерация, G01N25/18. Способ неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов многослойных конструкций / Чернышов А.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2003113032/28 ; заявл. 05.05.2003 ; опубл. 27.01.05, Бюл. № 3. – 10 с.

3. Чернышов, А.В. Метод неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов многослойных конструкций / А.В. Чернышов, В.Н. Чернышов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2002. – Т. 8, № 1. – С. 128–133.

4. Пат. 2208778 Российская Федерация, G01N25/18. Способ бесконтактного контроля теплофизических свойств материалов / Чернышов А.В., Сысоев Э.В., Чернышов В.Н. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2001101230/28 ; заявл. 12.01.2001 ; опубл. 20.07.2003, Бюл. № 20. – 8 с.

5. Чернышов, А.В. Бесконтактный метод неразрушающего контроля ТФХ материалов и изделий с анализом погрешностей на аналитической основе / А.В. Чернышов // Вестн. Метрол. акад. – 2004. – Вып. 12. – С. 18–22.

6. Пат. 2211446 Российская Федерация, G01N25/18. Способ бесконтактного контроля теплофизических свойств материалов и устройство для его осуществления / Чернышов А.В., Сысоев Э.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2001117813128 ; заявл. 26.06.2001 ; опубл. 27.08.2003, Бюл. № 24. – 14 с.

7. Чернышов, А.В. Метод оперативного неразрушающего контроля теплофизических характеристик многослойных строительных материалов и конструкций / А.В. Чернышов, А.А. Чуриков // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2005. – Т. 11. – № 1. – С. 60–66.

8. Чернышов, А.В. Метод неразрушающего контроля ТФС многослойных изделий при одновременном контактном и бесконтактном тепловых воздействиях на исследуемые объекты / А.В. Чернышов // Вестн. Метрол. акад. – 2005. – Вып. 15 – С. 32–37.

9. Пат. 2251098 Российская Федерация, G01N25/18. Способ бесконтактного неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов. / Сысоев Э.В., Чернышов В.Н., Попов Р.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2003133331/28 ; заявл. 17.11.2003 ; опубл. 27.04.2005, Бюл. № 12. – 11 с.

10. Пат. 2292035 Российская Федерация, G01N25/18. Способ обнаружения и идентификации химических и биологических объектов в растворах высокого разбавления по структурным изменениям среды / Шелохвостов В.П., Шеришорин Д.А., Макачук М.В., Шелохвостов Р.В., Чернышов В.Н. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2004117292/28 ; заявл. 07.06.2004 ; опубл. 20.01.2007, Бюл. № 2. – 6 с.

11. Пат. 2327149 Российская Федерация, G01N25/18. Способ обнаружения и определения концентрации нанообъектов в сложных растворах (варианты) / Макачук М.В., Шелохвостов В.П., Чернышов В.Н., Образцов Д.В.; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2006130908/28 ; заявл. 28.08.2006 ; опубл. 20.06.2008, Бюл. № 17. – 4 с.

Non-Destructive Control and Technical Diagnostics of Parameters and Properties of Examined Objects (Including Nano-Objects)

V.N. Chernyshov¹, V.P. Shelokhovostov², E.V. Sysoev¹, M.V. Makarchuk², A.V. Chernyshov¹

*Departments: “Criminal Law and Computerization of Legal Activity” (1); elters@crimeinfo.jesby.tstu.ru;
“Materials and Technology” (2), TSTU*

Key words and phrases: non-destructive control; thermal influence; thermo-physical properties.

Abstract: The paper presents the set of new methods of detecting nano-objects, heat conductivity and thermal diffusivity measurements of multi-layer construction structures and goods. These methods enable to control the process of modification and technology, determine and assess thermo-physical properties of goods taking into account a variety of destabilizing factors including heat losses into the environment. It allows improving the reproducibility of goods properties and accuracy of the results of the unknown characteristics measurements. The proposed methods have great prospects of application in different production processes for material and finished goods quality control.

Nichtzerstörende Kontrolle und technische Diagnostik der Parameter und der Eigenschaften der untersuchenden Objekte (inklusive die Nanoobjekte)

Zusammenfassung: Es ist den Komplex von neuen Methoden des Auffindens der Nanoobjekte, der Messung der Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturleitfähigkeit der vielschichtigen Baukonstruktionen und Erzeugnissen erarbeitet. Die Methoden erlauben den Prozeß der Modifikation in der Technologie zu kontrollieren und die wärme-physikalischen Eigenschaften der Erzeugnisse mit Rücksicht auf die verschiedenen entstabilisierenden Faktoren, inklusive die Wärmeverluste in die Umwelt, zu bestimmen.

Das erlaubt die Reproduzierbarkeit der Erzeugnißeigenschaften und die Genauigkeit der Meßresultaten der gesuchten Charakteristiken zu erhöhen. Die vorgeschlagenen Methoden haben große Perspektive der Anwendung in den verschiedenen technologischen Prozessen für die Kontrolle der Qualität der Stoffe und der Fertigerzeugnissen.

Contrôle non-destructif et diagnostic technique des paramètres et des propriétés des objets étudiés (y compris des nanoobjets)

Résumé: Est élaboré le complexe de nouvelles méthodes de la découverte des nanoobjets, des mesures du transfert de la chaleur et de la conductibilité de la température des articles et des constructions du bâtiment. Les méthodes permettent de contrôler le processus de la modification dans la technologie, de définir (évaluer) les propriétés thermophysiques des articles compte tenu des facteurs déstabilisants différents, y compris des pertes de la chaleur dans l'environnement.

Cela permet d'augmenter la reproduction des propriétés des articles et la précision des résultats des mesures des caractéristiques recherchées. Les méthodes proposées ont de grandes perspectives de l'application dans de différents processus pour le contrôle de la qualité des matériaux et des articles finis.

Авторы: *Чернышов Владимир Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Криминалистика и информатизация правовой деятельности»; *Шелухостов Виктор Прокопьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технология»; *Сысоев Эдуард Вячеславович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Криминалистика и информатизация правовой деятельности»; *Макарчук Максим Валерьевич* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Материалы и технология»; *Чернышов Алексей Владимирович* – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Криминалистика и информатизация правовой деятельности», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Пудовкин Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиоэлектронные средства бытового назначения» ГОУ ВПО «ТГТУ».